

EDITORIAL

CARTA DEL EDITOR

- 5 Fortalecimiento a la ciencia, la tecnología y la innovación

ARTICULOS ORIGINALES

MECATRÓNICA

- 6 **Control de señales EMG para el movimiento de un brazo robótico de tres grados de libertad**

G Aguirre Vargas, A Flores Abad, N Alba Baena, JC Acosta Guadarrama,
I Canales Valdiviezo

SISTEMAS

- 16 **Identificación de parámetros de un sistema de dos masas basado en la adquisición de datos con FPGA**

SA Calzada Martínez, MJ Nandayapa Alfaro, Á Flores Abad, OO Vergara Villegas

SUSTENTABILIDAD

- 23 **Reducción de variación de uso de materiales en unidad de negocios de dispositivos implantables**

S Carrillo, N Alba Baena, F Estrada, MH Tamer Salcido, JJ Valenzuela Corral

- 34 **Logística inversa y sustentabilidad: revisión de literatura**

K Estrada Jerez, V Torres Argüelles, A Máynez, MT Escobedo Portillo

- 46 **Sistema de información en el proceso de logística inversa, revisión de literatura**

V Cordero Balind, V Torres Argüelles, A Hernández Gómez, G Ibarra Mejía
SS Solís, D Zúñiga de León

RECONOCIMIENTO DE PATRONES

- 60 **Reconocimiento de rasgos fenotípicos faciales mediante visión artificial utilizando análisis de componentes principales e histogramas descriptivos**

A Domínguez, N Alba Baena, R Vidal, JE Aguilera González, CV Esquivel Rivera

- 70 **Reconocimiento de objetos en una plataforma robótica móvil**
L García Tena, H Sossa, A Alvarado, O Vergara, VM Hinostroza Zubia,
FJ López Benavides

MANUFACTURA

- 83 **Reducción de piezas defectuosas en máquina de prensado de tablillas electrónicas aplicando herramientas de solución de problemas**
C Enríquez, N Alba Baena, J Molina, J Flores Garay, KG Gómez Bull,
RR Martínez Arroyo, JG Palacios Valerio
- 96 **Mejora de proceso para la manufactura de evacuador para sistemas de irrigación laparoscópicos**
A González, N Alba Baena, J García, R Ríos Rodríguez, G Sandoval Montes,
ÁI Soto Marrufo, MG Valdivia Urdiales

MATEMÁTICAS

- 106 **Análisis de uso de un juego didáctico para la enseñanza de figuras geométricas**
M González, N Alba Baena, C Arreola, F Estrada, A Antolin Fonseca,
ME Borunda Escobedo

CIRCUITOS

- 116 **Integración de un control automático de conmutación eléctrica**
P Hernández, N Alba Baena, F López, R Martínez Peláez, JM Mejía Muñoz,
EG Meraz Tena

INGENIERÍA INDUSTRIAL

- 125 **Modelo estructural del síndrome de *Burnout* y obesidad en mandos medios y superiores de la industria maquiladora en Ciudad Juárez**
MR Camacho Alamilla, AA Maldonado Macías, JL García Alcaraz,
JG Palacios Valerio, JJ Valenzuela Corral
- 136 **Análisis de la satisfacción laboral y síndrome de *Burnout* en docentes de una institución de educación superior en Ciudad Juárez**
DG Márquez Gayosso, MT Escobedo Portillo, A Maynez, A Hernández,
V Estebané Ortega, G Martínez
- 146 **Mejora de productividad de una línea de producción a través de la implementación de un programa especializado a la captura del métrico de eficiencia general de los equipos “OEE”**
J Camacho, N Alba Baena, A Hernández, J Molina, MF Ramírez Barrera, D Zúñiga de León
- 155 **Desarrollo de un plan de prueba para pruebas de vida acelerada en el sensor *knock***
JR Díaz Reza, MI Rodríguez Borbón, RD Molina Arredondo, R Romero López
- 165 **Enfoque holístico en una línea de producción de una empresa maquiladora de arneses y sensores**
LI Díaz Herrera, G Ibarra Mejía, RR Martínez Arroyo, V Estebané Ortega

- 172 **Identificación de la variabilidad en un sistema AS/RS**
F De Anda De Anda, LR Vidal Portilla, R Romero López, D Atayde Campos

ERGONOMÍA

- 181 **Intervención ergonómica en una empresa local del ramo de la construcción**
JM Castorena Carrillo, G Ibarra Mejía, LS Alonso López, L Balderrama Neder,
CE Dávalos Chargoy, D Zúñiga de León
- 192 **Evaluación de error humano en el área de laboratorio de un hospital privado de Cd. Juárez, Chihuahua**
N López Hernández, AA Maldonado, JL García Alcaraz, R Noriega Armendáriz
HA Trejo Mandujano

DISEÑO EXPERIMENTAL

- 201 **Uso de la metodología del diseño por mezclas en el sector agrícola**
MJ Gómez Payán, R Romero López, RD Molina Arredondo, SM Terrazas Porras,
O Nuñez Ortega

EDUCACIÓN

- 212 **Identificación de competencias laborales de empresas de desarrollo de software en Ciudad Juárez**
CV Esquivel Rivera, MC Gutiérrez Diéz, A Mendoza Carreón, A López Nájera
SM Terrazas Porras, G Rivas Valles

SISTEMAS

- 226 **Control de un convertidor CD-CD tipo buck por medio del microcontrolador ATMEGA328**
IE Vargas Morales, JA Pérez Venzor, JD Cota Ruiz, MI Castellanos García,
O Nuñez Ortega, J Romero González, AC González Saucedo

MEDICINA

- 238 **Evaluación de medicina en México**
JJ Guerrero Ávila, J Romero González, J Díaz Rosales, B Díaz Torres
R Ríos Rodríguez, GI Zesati Pereyra

EDUCACIÓN

- 244 **Prototipo didáctico de un tren de engranes controlado por medio de un motor a pasos de DC**
LA García Villalba, C Ponce Corral, R Ñeco Caberta, JE de la Torre
FJ Enríquez Aguilera, JF Estrada Saldaña

SUSTENTABILIDAD

- 253 **Modelo óptimo estocástico de redes de distribución con generación distribuida**
C Ponce Corral, R Ñeco Caberta, LA García Villalba, RA Valenzuela,
MH Tamer Salcido, G Sandoval Montez, A Quezada Carreón

Carta del Editor

El conocimiento científico y el desarrollo tecnológico enriquecen el patrimonio cultural de las naciones y estimulan su capacidad para innovar por lo que son elementos clave del desarrollo equilibrado y sostenible de las sociedades modernas. Es por ello que el presente número de la revista Cultura Científica y Tecnológica se integra con un conjunto importante de artículos de excelente calidad y contenido relacionados con las áreas de Mecatrónica, Sistemas, Sustentabilidad, Reconocimiento de Patrones, Manufactura, Matemáticas, Circuitos, Ingeniería Industrial, Ergonomía, Diseño Experimental, Educación y Medicina. Además cada uno de ellos está basado en acciones que contribuirán al fortalecimiento de la ciencia, la tecnología y la innovación a nivel internacional.

Dr. Jaime Romero González

Control de Señales EMG para el Movimiento de un Brazo Robótico de Tres Grados de Libertad

Gustavo Aguirre Vargas¹, Ángel Flores Abad¹, Noé Alba Baena¹,
Juan Carlos Acosta Guadarrama¹, Ismael Canales Valdiviezo¹

¹Universidad Autónoma de Ciudad Juárez.

Resumen

El área de investigación de los exoesqueletos es aún muy joven, y con muchas posibilidades de ampliar el conocimiento en cuanto al control de estos dispositivos, en la literatura se pueden encontrar diferentes formas de cómo realizar un control efectivo y una de estas es el realizado mediante lógica difusa. Este documento presenta un sistema de adquisición de señales electromiográficas, formado por 5 canales que por medio de electrodos colocados en la piel, mandan las señales provenientes de los músculos cuando existe un potencial de acción en ellos. Estas señales son amplificadas, filtradas y digitalizadas con el objetivo de analizar los resultados en una computadora. Por medio de un control difuso de 23 reglas basadas en valores lingüísticos, estas señales serán utilizadas para imitar el movimiento de flexión del brazo, flexión y abducción del hombro en un brazo robótico de 3 grados de libertad, probando que se puede obtener más del 90% de movimientos exitosos.

Palabras clave: Exoesqueleto, EMG, control, señales, fuerza.

Introducción

Desde la antigüedad la ciencia se ha interesado en el diseño y desarrollo de máquinas con el objetivo de imitar movimientos y articulaciones de los diferentes seres vivos, principalmente las del ser humano.

Este particular interés y los grandes avances en tecnología que en los últimos años han avanzado exponencialmente, se ha podido incursionar en estudios relacionados a los exoesqueletos, aquellos dispositivos mecatrónicos formados por segmentos y articulaciones colocados en las extremidades

del cuerpo humano, lo que comúnmente se le llama “wearable robot” robot que se puede poner (Rocon & Ruiz, 2010).

Actualmente existen dos grandes ramas en el estudio de los exoesqueletos, los utilizados para el incremento de las funciones motoras del cuerpo humano, y aquellos enfocados a la medicina de rehabilitación.

La primer rama es comúnmente utilizada en áreas de investigación militar, ya sea en el aumento de fuerza, velocidad, o resistencia del usuario, es el caso del

exoesqueleto conocido como el HULC (Human Universal Load Carrier) capaz de levantar hasta 200 libras por grandes periodos sin afectar la resistencia del usuario (Mertz, 2012).

La segunda rama de estudio de los exoesqueletos son aquellos enfocados en la industria médica de rehabilitación, como el Exso Bionics uno de los últimos exoesqueletos comerciales, es un dispositivo que ayuda en el caminar de los individuos parapléjicos, actualmente puesto a disposición de las clínicas en Denver Colorado para su evaluación en pacientes inválidos (Mertz, 2012).

Es recomendable utilizar señales electro-miográficas (EMG) para el control de un exoesqueleto de manera no invasiva, ya que se obtendrá una señal directamente del músculo que se desea estudiar, utilizando información de importancia para el conocimiento de la fuerza ejercida por los músculos y el comportamiento de éste.

En la literatura se ha podido encontrar algunas alternativas en el control de exoesqueletos, no existe un procedimiento establecido para la adquisición de este tipo de señales, así que se encontraron algunos métodos con los que han logrado manipular los movimientos de brazos robóticos.

Ranathunga Arachilage utiliza un control difuso para el control de las señales EMG, implementado en un exoesqueleto conformado por la articulación de un brazo robótico de tres grados de libertad, asistido por la fuerza del antebrazo cuando las señales no es suficiente y los niveles EMG

son muy bajos. Su función es controlada por la adquisición de seis canales EMG y la señal de un sensor de fuerza en la muñeca, tiene una clasificación de 46 combinaciones para la correcta activación de los dispositivos con valores previamente definidos como positivo, bajo-positivo, alto-positivo, bajo-negativo y alto negativo (Arachilage, 2008).

Otros modelos han utilizado el control de extremidades robóticas por el método de redes neuronales, identificando el movimiento de flexión y extensión de los dedos de la mano, con la colocación de 3 sensores EMG en los músculos flexor profundo, flexor largo del pulgar y extensor común. El control de brazo robótico se basa en la lectura de las señales EMG y su clasificación basado en una red neuronal utilizando la transformada wavelet y entropía (Zhao, Xie, Jiang, Cai, Liu, & Hirzinger, 2006).

Panagiotis K. Artemiadis utiliza las señales EMG de los músculos de las extremidades superiores para el control de una interfaz entre el usuario y un brazo robótico, las señales son adquiridas desde electrodos superficiales colocados en la piel del usuario. Esta interfaz permite controlar en tiempo real un brazo robot antropomórfico en un espacio de tres dimensiones, robusto al cambio de los canales con respecto al tiempo, causado por la fatiga muscular o los ajustes de los niveles de contracción (Artemiadis, 2010).

Sebastiain Bitzer introdujo un método basado en el vector de soporte de máquina, una poderosa herramienta de clasificación de señal, detectando acciones

de abierto y cerrado de los dedos de la mano solo en base a los pulsos EMG. El método muestra ser robusto y no ser afectado por los movimientos del brazo, ya que el método fue adaptado al uso de varios vectores para obtener una clasificación multi-clase. Este criterio puede ser usado para dispositivos con más grados de libertad (Bitzer, 2006).

A partir del estudio realizado para obtener el grado de ingeniero mecatrónico de la Universidad Autónoma de Ciudad

Juárez, en mayo del 2010, donde se desarrolló una prótesis mecatrónica controlada por señales EMG, la cual asistía el movimiento del brazo izquierdo de un niño de 9 años de edad, el cual presentaba una restricción del movimiento de su brazo privándolo de la extensión de sus dedos y pronosupinación debido a una malformación del brazo ocasionado por un accidente, afectando el funcionamiento del nervio radial (Aguirre, 2010) .

Planteamiento del problema

En la actualidad, el tema de los exoesqueletos es muy joven y con un amplia gama de posibilidades de investigación, la parte comercial en este tema carece de un control realizado por el usuario, y solo son dispositivos robotizados que siguen una programación establecida de acuerdo a la señal de entrada que las alimenta, esta señal si es creada por el usuario, pero carece de un control en el transcurso del movimiento.

Para poder llegar al punto de utilizar un exoesqueleto en el cuerpo humano, es necesario primero copiar los movimientos del usuario, para que exista una conexión en todo momento entre el exoesqueleto y la persona, y una vez imitado el movimiento se

podiera entonces aumentar sus capacidades motoras, como fuerza, resistencia y velocidad.

Dentro del área de investigación de este tema, las señales EMG son utilizadas mayormente solo para identificar la magnitud de fuerza que se está ejerciendo, y menormente consideradas para el movimiento, debido a que estas varían depende del usuario, sus niveles de energía, y que en cualquier movimiento tendremos señales EMG activándose en todo momento, el problema principal sería su clasificación de acuerdo al movimiento realizado y que esta se estandarizara para cualquier usuario.

Objetivo general

Desarrollar un modelo de adquisición de señales EMG de cinco canales, controlado por lógica difusa, capaz de imitar el

movimiento del brazo humano en un brazo robótico de tres grados de libertad.

Objetivos particulares.

- Desarrollar un sistema de adquisición de datos cinco canales.
- Diseñar el sistema de control utilizando lógica difusa.
- Diseñar y construir de extremidad superior del exoesqueleto.

Hipótesis

Esta investigación pretende demostrar que con las señales obtenidas del cuerpo humano, es posible simular a un 95% de confianza, con un error máximo de 0.1, los

movimientos de un brazo de tres grados de libertad por medio de una programación con lógica difusa.

Procedimiento

Primeramente es necesario censar la señal directamente del músculo, con ayuda de los electrodos de superficie, es necesario amplificar dicha señal, debido a que estos arrojan voltajes muy bajos, alrededor de los 500 micro volts, esta amplificación podría realizarse de dos formas, de manera física, dentro de la circuitería de las tablillas electrónicas y con ayuda de amplificadores instrumentales, o de manera digital, esto es, una vez sensada la señal del músculo, realizar la amplificación por medio de un software, ya sea Labview o Matlab, por nombrar algunos ejemplos, estos significa simplemente multiplicar por una escalar la señal introducida por los electrodos, claro que implicaría más trabajo en el procesamiento de la computadora.

Al llevar acabo la amplificación mencionada, un filtrado en la señal debe realizarse para poder limpiarla de aquellas frecuencias que implican sólo basura en las lecturas registradas, estos filtros, al igual que

la amplificación de la señal puede hacerse de manera digital, por medio de un software, claro que se obtiene una mejor respuesta si se hace directo con los componentes electrónicos.

Se lleva a cabo una segunda amplificación, se debe tener cuidado de no amplificar demasiado la señal y no saturar los amplificadores, ya que esto ocasionaría que nuestra señal no sea totalmente confiable.

Cuando la señal EMG sea capturada correctamente, por medio de una tarjeta de adquisición de datos, con el fin de introducir los datos a la computadora, comenzara entonces nuestra etapa de control utilizando lógica difusa. Pero antes de eso, se debe poder detectar que los niveles de voltaje son similares a los utilizados en la programación, si esto nos arroja un positivo, entonces comenzaremos con el análisis de la señal.

Antes de comenzar con el control difuso, es necesario convertir los valores negativos en positivos para poderlos utilizar en el análisis, existen diferentes formas de realizar este procedimiento, ya se integrando la función EMG, o utilizando el valor RMS.

Con los datos listos para utilizarse, se procederá entonces a introducirlos dentro del control difuso, este control se divide en tres partes importantes, la primera es llamada la fusificación de los datos, esto es tomar los valores obtenidos de las señales EMG y otorgarles valores difusos, los cuales se utilizarán para su análisis.

Estos valores serán valores lingüísticos los cuales se nombrarán de acuerdo a la experiencia y análisis de los primeros datos sensados, seguido de este paso, comenzará entonces la etapa de inferencia del control, esto se realiza con una serie de reglas difusas de las cuales se obtiene una salida determinada de acuerdo a

una combinación de entradas. Entre más reglas contenga nuestro control, más exacta podrá ser nuestra respuesta a los estímulos EMG.

Una vez que se cuenta con esta respuesta es necesario convertirla a valores numéricos que podamos utilizar, a esta etapa del control se le llama defusificación, en nuestro caso de estudio, estas respuestas serán los grados a los cuales se deberá mover nuestro sistema de potencia, y la dirección de que motor realizara este movimiento. Teniendo los datos de la respuesta de nuestro control, se podrán realizar movimientos en los servomotores, imitando los del usuario que utiliza el exoesqueleto. Un soporte adecuado según la mecánica del cuerpo humano, lo que significa un soporte para la columna vertebral y piernas, este proyecto solo se enfocará en la parte superior del cuerpo, dejando la parte inferior para investigaciones futuras.

Resultados

Circuito eléctrico

En primer lugar se utiliza un amplificador instrumental INA129PA, es un amplificador de tipo bipolar, el cual será alimentado por dos pilas de 9V conectadas entre sí para obtener un voltaje positivo y uno negativo. Se utiliza una resistencia de 5.49 k ohms, para obtener una ganancia de 10 en este circuito. En los pines 2 y 3 estarán conectados los electrodos que van puestos sobre la piel del usuario.

La salida del circuito mencionado está conectado a un amplificador TL074 para volver a amplificar nuestra señal con una ganancia nuevamente de 10, posteriormente la señal deberá ser filtrada de tal forma que sólo permita el paso a frecuencias mayores de 20 Hz y menores a 500 Hz. Se realiza entonces la configuración de un filtro pasa bandas a partir de dos filtros activos Butterworth de segundo orden conectados en cascada, es decir primero realiza el filtro de la señal dejando pasar todas las señales mayores de 20 Hz y posteriormente se filtrarán las frecuencias

mayores a 500 Hz, este arreglo de filtros es generado también por dos amplificadores TL074. A la salida de este circuito es

conectado otro amplificador para tener otro ganancia de 10, y con esto una ganancia final de 1000, Figura 1.

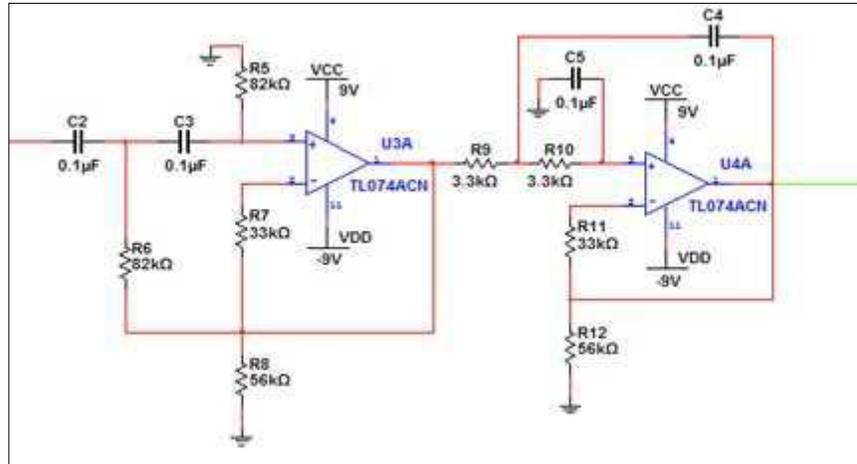


Figura 1. Circuito de los filtros utilizados en la adquisición de la señal

El circuito final cuenta con un arreglo de amplificadores conectados a las resistencias de la ganancia del INA129, y a la malla de los cables de los electrodos, que los envuelve para evitar las corrientes de fuga que pudieran aparecer entre los conductores de los electrodos.

Sistema de cinco Canales

Se utilizaran electrodos de oro para una mejor recepción de la señal y un gel conductor para ayudar en la conectividad entre el electrodo y la piel del usuario. Los electrodos fueron modificados para poder proteger las señales y evitar que tuvieran pérdidas de frecuencias, los electrodos se colocaron dentro de un cable tipo malla de un 90%, la cual también está conectada a la tablilla electrónica.

Las cinco tablillas son comunicadas entre sí por cables justo a la mitad de las

tarjetas, teniendo un código de colores para su fácil ubicación, amarillo para el voltaje positivo, rojo para la tierra, negro para el voltaje negativo, y el verde son los cables que llevan la conexión del electrodo de referencia hacia cada uno de los circuitos, Figura 2.

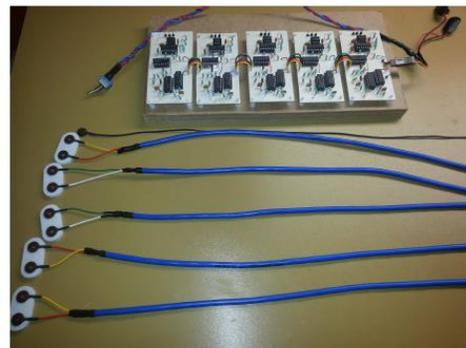


Figura 2. Sistema de 5 canales de adquisición de señales EMG

Se realiza entonces el experimento para analizar las señales del cuerpo humano,

con los movimientos de flexión y abducción del hombro y la flexión del brazo, involucrando a los músculos bíceps, tríceps, deltoide, trapecio y flexor superior. La Figura 3 muestra la posición de los electrodos para realizar el experimento.

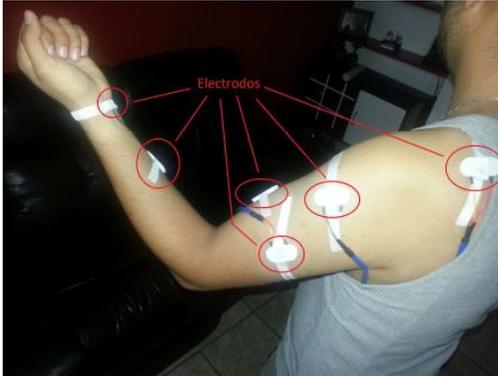


Figura 1 Posición de los electrodos para el experimento

Control difuso

El análisis obtenido en el experimento, se utilizó para determinar los valores lingüísticos de nuestras variables de entrada, son los valores que utiliza la lógica difusa, para realizar su análisis y tomar decisiones de acuerdo a las funciones de membresía programadas.

Para este ejercicio los valores de los canales EMG variaran entre señal baja, mediana y alta, utilizando funciones triangulares y trapezoidales, y los valores de la salida, en ese caso los motores para mover el exoesqueleto, variaran entre 0 y 1. Se realiza entonces una serie de reglas difusas para determinar el comportamiento del sistema, dependiendo de qué músculos se encuentren en movimiento y cual sea el

valor de su amplitud, será la respuesta del sistema.

En la Tabla 1, se muestran las reglas difusas, indicándose las reglas y sus consecuencias: las siglas utilizadas significan: Bi=Biceps, Tri=Triceps, Tra=Trapecio, Del=Deltoide, Bra=Brazo, (movimiento del motor que controla la flexión del brazo, Hom=Hombro, (movimiento del motor que controla la flexión del hombro, Abd=Abducción, (movimiento del motor que controla la abducción del hombro, B=bajo, M=Media, A=Alto.

Exoesqueleto

Se modeló un prototipo de la idea del brazo robótico de acuerdo a las medidas del brazo de una persona adulta. Se utilizó el software NX para el modelado de las partes, de tal manera que el ensamblaje se realizara de la manera menos complicada posible. El modelo cuenta con tres grados de libertad que equivalen a los ejes necesarios para realizar los movimientos que se analizaron en la sección pasada. Estos ejes lo forman tres servomotores de alto consumo de corriente. En la Figura 4 se muestra el diseño virtual y el real del exoesqueleto.

Se procede entonces a realizar otro experimento, pero ahora evaluando 72 eventos, 24 para cada uno de los movimientos analizados en esta investigación, los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 2. Este experimento da un total de 6 eventos de falla, obteniendo más del 90% de éxito, tal como se esperaba.

Tabla 1. Reglas difusas

| Reglas Difusas | | | | |
|----------------|---------|---------|---------|-------------------------|
| Reglas | | | | Concecuencia |
| Bi = B | Tri = B | Tra = B | Del = B | Bra = 0 Hom = 0 Abd = 0 |
| Bi = M | Tri = M | Tra = B | Del = B | Bra = 1 Hom = 0 Abd = 0 |
| Bi = A | Tri = M | Tra = B | Del = B | Bra = 1 Hom = 0 Abd = 0 |
| Bi = M | Tri = A | Tra = B | Del = B | Bra = 1 Hom = 0 Abd = 0 |
| Bi = A | Tri = A | Tra = B | Del = B | Bra = 1 Hom = 0 Abd = 0 |
| Bi = M | Tri = B | Tra = B | Del = B | Bra = 1 Hom = 0 Abd = 0 |
| Bi = A | Tri = B | Tra = B | Del = B | Bra = 1 Hom = 0 Abd = 0 |
| Bi = M | Tri = M | Tra = M | Del = M | Bra = 0 Hom = 1 Abd = 0 |
| Bi = A | Tri = M | Tra = M | Del = M | Bra = 0 Hom = 1 Abd = 0 |
| Bi = M | Tri = B | Tra = M | Del = M | Bra = 0 Hom = 1 Abd = 0 |
| Bi = A | Tri = B | Tra = M | Del = M | Bra = 0 Hom = 1 Abd = 0 |
| Bi = A | Tri = A | Tra = A | Del = A | Bra = 0 Hom = 0 Abd = 1 |
| Bi = A | Tri = A | Tra = A | Del = M | Bra = 0 Hom = 0 Abd = 1 |
| Bi = A | Tri = A | Tra = M | Del = A | Bra = 0 Hom = 0 Abd = 1 |
| Bi = M | Tri = A | Tra = A | Del = A | Bra = 0 Hom = 0 Abd = 1 |
| Bi = M | Tri = A | Tra = M | Del = A | Bra = 0 Hom = 0 Abd = 1 |
| Bi = M | Tri = A | Tra = A | Del = M | Bra = 0 Hom = 0 Abd = 1 |
| Bi = A | Tri = M | Tra = A | Del = A | Bra = 0 Hom = 0 Abd = 1 |
| Bi = A | Tri = M | Tra = M | Del = A | Bra = 0 Hom = 0 Abd = 1 |
| Bi = A | Tri = M | Tra = A | Del = M | Bra = 0 Hom = 0 Abd = 1 |
| Bi = M | Tri = M | Tra = A | Del = A | Bra = 0 Hom = 0 Abd = 1 |
| Bi = M | Tri = M | Tra = M | Del = A | Bra = 0 Hom = 0 Abd = 1 |
| Bi = M | Tri = M | Tra = A | Del = M | Bra = 0 Hom = 0 Abd = 1 |

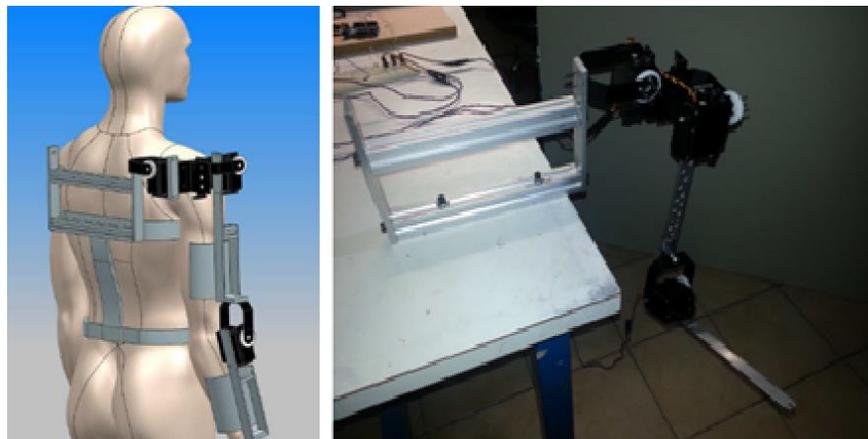


Figura 2 Diseño de Exoesqueleto

Tabla 2. Resultados de éxito

| Resultados de éxito | | | |
|----------------------|---------------|--------------|------------|
| Movimiento | N# de eventos | N# de éxitos | Porcentaje |
| Flexión del brazo | 24 | 22 | 91 % |
| Flexión del Hombro | 24 | 21 | 87 % |
| Abducción del Hombro | 24 | 23 | 95 % |

Conclusiones

En esta investigación se desarrolló un sistema de adquisición de datos que consta de cinco canales de lectura, capaces de tomar las señales de los músculos y acondicionarlas para analizar su comportamiento, acto seguido fueron digitalizadas e introducidas en la computadora por medio de una tarjeta de adquisición de datos de National Instruments.

La tablilla de cinco canales está formada por un arreglo de amplificadores que hace posibles el filtrado y la amplificación de las señales de entrada, tomadas desde unos electrodos superficiales que están en constante contacto con la piel. Estos sensores fueron agrupados en pares para tener un total de 10 electrodos que pudieran censar 5 músculos en tiempo real, y un electrodo de referencia colocado en el cartílago de la muñeca.

Los datos obtenidos fueron graficados y analizados para entender el comportamiento de las señales de los músculos cuando era realizado algún movimiento, en este caso se analizaron 3 movimientos diferentes, flexión del brazo, flexión del hombro y abducción del hombro, los tres realizados con el brazo izquierdo de una persona completamente sana de 28 años de edad.

Estos datos fueron introducidos en un arreglo de 23 reglas difusas para su control, y con esto lograr imitar los movimientos del brazo humano en un dispositivo de prototipo. Como entrada de este control contábamos con los datos arrojados por los músculos bíceps, tríceps, deltoides, trapecio y flexor superior, y como salida la posición de los motores tanto de izquierda a derecha, según corresponda del eje que se va a rotar.

Este dispositivo cuenta con tres servomotores que funcionan como las articulaciones del hombro y codo, haciendo posible realizar los movimientos antes mencionados. A la altura del hombro se colocaron dos de los servomotores para hacer posible el movimiento de flexión y abducción del hombro, fueron colocados a la misma altura entre sí, y el tercer motor fue el responsable del movimiento de flexión del brazo, simulando la acción del bíceps, flexionando y extendido los eslabones del brazo según fuera el caso.

Los resultados obtenidos fueron satisfactorios, con una confiabilidad del 95 % se logró un porcentaje mayor al 90 % de éxito en los eventos evaluados al imitar el movimiento del brazo del usuario, utilizando únicamente el sistema de adquisición de cinco canales EMG.

Referencias

Aguirre, G. (2010). Desarrollo de ortesis mecatrónica controlada por señales Electromiográficas. Ciudad Juárez, Mexico: UACJ.

Arachchilage, R. (2008). EMG Based Control of an Exoskeleton Robot for Human Forearm. USA: IEEE.

Artemiadis, P. K. (2010). An EMG-Based Robot Control Scheme Robust to Time-Varying EMG Signal Features. MIT: IEEE volume 14.

Bitzer, P. v. (2006). Learning EMG control of a robotic hand: Towards Active Protheses. Orlando Florida: IEEE.

Rocon, E. & Ruiz, A. F. (2010). *Exoskeletons for Rehabilitation and*. Madrid España: Instituto de Autonomia Industrial.

Zhao, J., Xie, Z., Jiang, L., Cai, H., Liu, H., & Hirzinger, G. (2006, October). EMG control for a five-fingered underactuated prosthetic hand based on wavelet transform and sample entropy. In *Intelligent Robots and Systems, 2006 IEEE/RSJ International Conference on* (pp. 3215-3220). IEEE.

Mertz., L. (2012). *The next generation of Exoskeletons*. IEEE Exoskeletons.

Identificación de parámetros de un sistema de dos masas basado en la adquisición de datos con FPGA

Sergio Alberto Calzada Martínez¹, Manuel de Jesús Nandayapa Alfaro¹,
Ángel Flores Abad¹, Osslán Osiris Vergara Villegas¹

¹Universidad Autónoma de Ciudad Juárez.

Resumen

Cuando se tiene un sistema dinámico complejo es muy difícil poder modelar el sistema en forma matemática. Sin embargo, la herramienta conocida como identificación del sistema ayuda a estimar los parámetros del sistema dinámico utilizando los datos capturados de una señal de entrada y la señal de salida. La adquisición de datos juega un papel fundamental para poder obtener una buena estimación de los parámetros y poder definir una estrategia de control en base a los resultados.

Palabras clave: Identificación del sistema, Estimación de la velocidad, FPGA, Codificador incremental, Señal de barrido sinusoidal.

Introducción

En la actualidad, cuando se diseña o modela un sistema dinámico muchas veces resulta ser complejo determinar su comportamiento a un estímulo o perturbación. Por lo que es frecuente desconocer los parámetros de sus elementos una vez que se encuentran ensamblados e interactuando para conformar el sistema completo. Por otra parte, las herramientas para modelar un sistema pueden ser partiendo completamente de un análisis matemático donde se involucra la cinemática y la dinámica del mismo. Sin embargo, si el sistema es complejo puede ser difícil encontrar el modelo adecuado del sistema. La identificación del sistema es una herramienta que ayuda a obtener o verificar el modelo de un sistema dinámico con ayuda

de datos obtenidos de la medición de una señal de estímulo y una señal de salida del comportamiento del sistema.

Para la captura de datos, generalmente se utilizan dispositivos que convierten las señales de voltaje o corriente en señales digitales, con ayuda de computadoras y procesadores, se pueden interpretar los fenómenos físicos medidos para el fin que sea necesario. Algunos de estos dispositivos son los Arreglos de Compuertas Programables en Campo (FPGA, por sus siglas en inglés). Los FPGA son chips reprogramables, que ofrecen altas velocidades de procesamiento, reconfiguración física de las compuertas

lógicas y bloques de memoria, entre otros beneficios.

La captura de datos y el procesamiento de los mismos son tareas fundamentales para la identificación del sistema, un error en esta etapa de la identificación puede llevar a grandes errores y a la estimación de un modelo erróneo que no representa el comportamiento dinámico del sistema y también se puede plantear una estrategia de control equivocada.

Antecedentes

A continuación se presentan trabajos que se han realizado en los últimos años y se consideran de gran aporte para este proyecto.

Saarakkala y Hinkkanen (2013), presentaron un procedimiento de identificación del sistema para la estimación de los parámetros de un modelo de dos masas, en ese caso el sistema tuvo una frecuencia de resonancia mecánica que sobrepasaba el ancho de banda del lazo de control del par. Además, al sistema se le implementó un control de lazo cerrado de velocidad y fue manipulado con carga. Se utilizó una señal de entrada llamada Secuencia Binaria Pseudoaleatoria (PRBS, por sus siglas en inglés) y la estimación de los parámetros se obtuvo con el modelado matemático comparado con los datos de especificaciones del fabricante y un análisis estocástico demostraron que el procedimiento logró identificar los parámetros del sistema con un valor de frecuencia de resonancia mecánica muy grande, conociendo el valor del par de carga.

Posteriormente se realizó la identificación de un sistema mecánico de dos masas (Saarakkala y Hinkkanen, 2014), el cual fue necesario para la puesta en marcha inicial del sistema y el ajuste automático del control de lazo cerrado de velocidad. Para la estimación de los parámetros se aplicó un modelo en tiempo discreto de error de salida (OE, por sus siglas en inglés). En la experimentación se definieron tres formas de identificación de los parámetros, el primero fue a lazo abierto del sistema, los otros dos fueron a lazo cerrado en manera directa e indirecta. Utilizaron una señal PRBS como señal de entrada y se midió la velocidad del motor como salida para la identificación. Se observó que cuando se utiliza la identificación del sistema en forma indirecta con la estructura del modelo OE, la identificación es menos sensitiva a las ganancias seleccionadas del control. Finalmente se concluyó que los métodos de identificación del sistema determinados en este trabajo y utilizados en forma experimental son aplicables para la estimación de los parámetros de un sistema mecánico de dos masas.

En los métodos de estimación de velocidad se encuentra el método N, (Nandayapa et al., 2012), un método implementado para mejorar el control bilateral de un servo-mecanismo, usando como plataforma de procesamiento un FPGA, con la cual se logró un tiempo de procesamiento muy pequeño para los algoritmos de estimación de velocidad y aceleración. Se confirmó que el método N, utilizando un tiempo de procesamiento corto en el FPGA es adecuado para la estimación

de velocidad, donde en conjunto con la posición y la aceleración, fue utilizada como retroalimentación.

Patrascoiu (2011), presentó una solución para la medición de desplazamiento y velocidad angular utilizando instrumentación virtual, en este caso se trata de LabVIEW, la misma solución se propuso para ser utilizada con la medición de desplazamiento y velocidad lineal con ayuda de un codificador incremental. Implementaron un algoritmo llamado Selección de Conteo, y se utilizó para identificar los pulsos del codificador incremental, así como la interpretación de la dirección. El algoritmo se implementó en un ambiente de programación de LabVIEW, se utilizó codificadores de cuadratura y tarjetas de adquisición de datos.

Das y Mahapatra (2013) mostraron la utilización del controlador CompactRIO de National Instruments en la implementación de la temporización en tiempo real, de la transformada rápida de

Fourier (FFT, por sus siglas en inglés), de 256 puntos. Implementando la técnica de acceso directo a memoria en el concepto de “primero en entrar – primero en salir” (FIFO DMA, por sus siglas en inglés), para asegurar la transmisión de datos y reducir la latencia se midió el espectro de potencia de una señal sinusoidal, su algoritmo fue programado en el FPGA del CompactRIO y probado a diferentes frecuencias.

Wang et al. (2010), presentaron como el módulo de FPGA del software LabVIEW, el cual puede usarse con lenguajes de descripción del hardware (HDL, por sus siglas en inglés), para programar dispositivos de hardware reconfigurable sin tener conocimiento previo o ser expertos en la programación HDL para FPGA. Los autores mostraron como LabVIEW facilita el diseño de aplicaciones de control de alta velocidad, sincronización y temporización compleja, pruebas de hardware en el circuito (HIL, por sus siglas en inglés), entre otras aplicaciones que demandan alta velocidad de procesamiento.

Metodología

Tomando como base el modelo de dos masas propuesto por Tungpataratanawong (2007), donde el modelo describe la unión flexible de un robot manipulador industrial, se construyó un modelo similar utilizando dos motores de corriente alterna, dos poleas montadas en las flechas de los motores y una banda dentada o de sincronización que es la transmisión de un motor a otro.

Los motores fueron configurados de tal manera, que uno transmite el movimiento

al sistema (motriz), y el segundo motor se utiliza sin conexión eléctrica en la parte de potencia a manera de carga y tener una masa simulada del modelo a identificar.

La potencia eléctrica es proporcionada por un controlador para servomotores, que a la vez, recibe un voltaje de control de -10 a 10 Volts de corriente directa desde el módulo NI-9263 montado en un controlador CompactRIO, el cual tiene una resolución en la salida análoga de 16

bits. El CompacRIO tiene un módulo en tiempo real (RT, por sus siglas en inglés), que se encarga del procesamiento y generación de la señal de excitación del sistema. En el dispositivo CompactRIO se encuentra embebido en el chasis un FPGA Virtex 5 LX50. El FPGA está conformado por bloques de memoria y de compuertas lógicas que configuran los circuitos del hardware para procesar el algoritmo requerido. En este caso en el FPGA se tiene la adquisición de los pulsos del codificador del motor, la estimación de la velocidad y la transferencia de datos hacia la computadora huésped (se conoce en el idioma inglés como Host, término usado en programación de control y adquisición de datos).

En el lado del Host, se inicializan todas las variables, los DMA FIFOs requeridos para la transferencia de datos, se pone el FPGA en modo de espera para la captura de datos y se graban los datos recibidos.

Generación de señal de entrada

Para poder identificar propiamente los parámetros del sistema se requiere una señal de estimulación al sistema. Esta señal debe abarcar todo el rango de operación del sistema, que en este caso el modelo está limitado a 75 Hertz (equivalente a 4500 revoluciones por minuto). Es común en la identificación del sistema utilizar dos tipos de funciones como señales de estimulación: la función PRBS y la función o señal sinusoidal barrida (Swept Sine Signal en inglés). Se decidió utilizar la señal Swept Sine debido a que es continua en comparación con la PRBS, para este sistema.

Adquisición de Datos y Estimación de Velocidad

En la adquisición de datos es importante conocer las características de la señal a medir, en este caso son señales de un codificador de cuadratura con señales TTL de 5 Volts de corriente directa en los canales A y B. Utilizando un módulo de entradas NI-9401, compatibles con señales TTL, son adquiridas y procesadas en el FPGA, donde se encuentra el algoritmo de estimación de velocidad (Nandayapa et al, 2012), durante el proceso de estimación de la velocidad, se transmiten los datos por medio de un FIFO DMA del FPGA hacia el Host, donde previamente se hizo un espacio en la memoria de acceso aleatorio (RAM, por sus siglas en inglés) en la etapa de inicialización del propio Host. Una vez que se tienen suficientes datos, el Host comienza a procesarlos para grabarlos en un archivo de texto para poder ser visualizado en MATLAB.

Identificación de Parámetros

Los datos adquiridos son cargados en el espacio de trabajo de MATLAB (Workspace, en inglés). Por medio de la herramienta de identificación del sistema de MATLAB, el pre-procesamiento requerido y la selección de un modelado lineal que caracteriza la relación entre los datos de entrada y los datos de salida se obtuvo una estimación del comportamiento del sistema en el dominio de la frecuencia. Lo anterior permitió la identificación de las frecuencias de resonancia (ω_r) y de anti resonancia (ω_{ar}), las cuales se utilizaron para calcular los parámetros K_s (constante de resorte que describe a la banda de sincronización) y a J_L

(constante del momento de inercia de la carga del sistema). Finalmente, con datos obtenidos se simuló el sistema donde se

obtuvo un comportamiento similar al identificado.

Resultados

La señal de entrada al sistema se genera en la parte RT del CompactRIO, donde se usa la función de la señal de barrido sinusoidal (Chirp Waveform Signal en LabVIEW) la cual se envía por medio de un FIFO DMA al FPGA. El tiempo de muestreo es de 100 μ s durante 5 s siguiendo el criterio del teorema de la velocidad de muestreo (Wheeler y Ganji, 2010, p. 102). Una vez que los datos comienzan a ser procesados existe la conversión digital – análogo y se tiene en la tarjeta de salida un voltaje diferencial que es la señal de estimulación en forma de barrido sinusoidal hacia el controlador del motor. El FPGA captura los pulsos del codificador y estima la velocidad con el método N. La transferencia de datos del FPGA al Host, se da por medio de otro FIFO FPGA para no perder ningún dato del experimento (Figura 1).

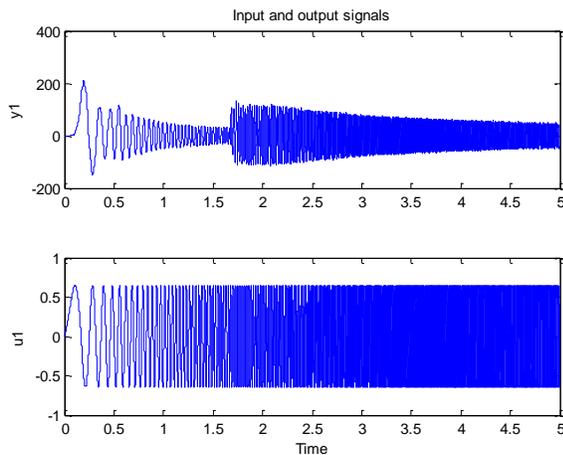


Figura 1. Señales de entrada u_1 y de salida y_1 capturadas por el FPGA

Una vez capturado los datos, se utiliza la herramienta de identificación de parámetros en MATLAB, obteniendo (Figura 2):

$$\omega_{ar} = 360.7 \text{ rad/seg} \quad \omega_r = 468 \text{ rad/seg}$$

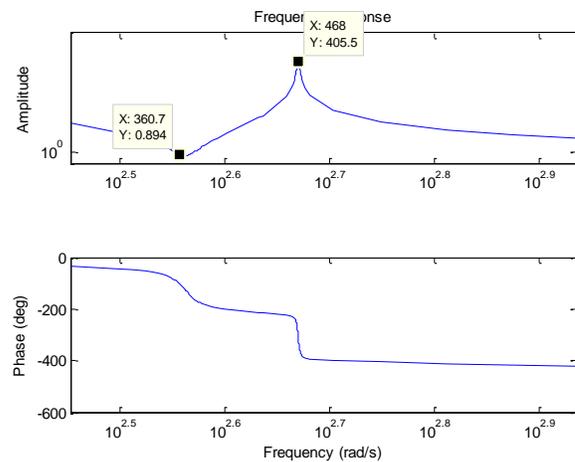


Figura 2. Frecuencias de anti resonancia y resonancia del modelo de dos masas

Con las frecuencias ω_{ar} y ω_r se calcularon los parámetros K_s y J_L del modelo de dos masas (Tungpataratanawong, 2007):

$$J_L = \left(\frac{\omega_r^2}{\omega_{ar}^2} - 1 \right) J_M R_g^2 \quad (1)$$

$$K_s = (\omega_r^2 - \omega_{ar}^2) J_M R_g^2 \quad (2)$$

Donde los parámetros J_M y R_g son las constantes del momento de inercia del motor y la relación de engranes respectivamente, estos valores se obtienen del fabricante del motor y del acoplamiento mecánico entre las poleas y la banda (Allen Bradley, 1999).

$$J_M = 3.1 \times 10^{-6} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

$$R_g = 1$$

Con estos valores se calculan los parámetros:

$$J_L = 2.1187 e^{-6} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

$$K_s = 0.2757 \text{ N} \cdot \text{m}/\text{rad}$$

Conclusiones

Se implementó un sistema de adquisición de datos utilizando un FPGA Virtex 5 LX50 embebido en un CompactRIO con un controlador RT de National Instruments, con la capacidad de adquirir los pulsos de un codificador de cuadratura y la capacidad de estimar la velocidad en base a los pulsos.

Se obtuvieron las frecuencias de resonancia y anti resonancia del sistema con las cuales se obtienen los parámetros K_s y J_L . Los parámetros son necesarios para

poder diseñar una estrategia de control teniendo en cuenta las frecuencias de resonancia del sistema y evitar que los componentes sufran desgaste, mejorar la precisión en la velocidad y el control de la velocidad y la aceleración de los motores. Lo anterior es aplicado a un sistema dinámico que tenga una unión flexible equivalente a un modelo de dos masas, tal y como son las uniones de algunos manipuladores industriales.

Referencias

Saarakkala, S. E. & Hinkkanen, M. (2013). Identification of Two-Mass Mechanical Systems in Closed-Loop Speed Control. *IECON 2013- 39th Annual Conference of the IEEE*. 2905, 2910. doi: 10.1109/IECON.2013.6699592.

Saarakkala, S. E. & Hinkkanen, M. (2014). Identification of Two-Mass Mechanical Systems Using Torque Excitation: Design and Experimental Evaluation. *The 2014 International Power Electronics Conference*. 2489, 2496. doi: 10.1109/IPEC.2014.6869939.

Nandayapa, M.; Mitsantisuk, C. & Ohishi, K. (2012). Improving bilateral control feedback by

using novel velocity and acceleration estimation methods in FPGA. *2012 12th IEEE International Workshop on Advanced Motion Control*. 1, 6. doi: 10.1109/AMC.2012.6197024.

Patrascoiu, N.; Poanta, A.; Tomus, A. & Sochirca, B. (2010). Virtual instrumentation used for displacement and angular speed measurements. *International Journal of Circuits, Systems and Signal Processing*. 746, 755.

Das, A. D. & Mahapatra, K. K. (2013). Real-Time Implementation of Fast Fourier Transform (FFT) and Finding the Power Spectrum Using LabVIEW and CompactRIO. *2013 International*

Conference on Communication Systems and Network Technologies. 169-173. doi: 10.1109/CSNT.2013.45

Guoqiang, W.; Tran, T. N. & Andrade H. A. (2010). A graphical programming and design environment for FPGA-based hardware. *2010 International Conference on Field-Programmable Technology*. 337-340. doi: 10.1109/FPT.2010.5681433

Tungpataratanawong, S. (2007). *Study on High Performance Motion Control of Industrial*

Robot Focused on Mechanical Resonance. (Tesis Doctoral. Universidad de Tecnología de Nagoka. Japón).

Wheeler, A. J. & Ganji, A.R. (2010). *Introduction to Engineering Experimentation*. New Jersey, Estados Unidos de América: Prentice Hall.

Allen Bradley (1999). *Y-Series Brushless Servo Motor Manual*. Winsconsin.

Reducción de variación de uso de materiales en unidad de negocios de dispositivos implantables

Sergio Carrillo¹, Noé Alba Baena¹, Francisco Estrada¹, Martha Haifa Tamer Salcido¹
José Jorge Valenzuela Corral¹

¹Universidad Autónoma de Ciudad Juárez.

Resumen

Este proyecto aborda el estudio del desperdicio de materia prima y producto en proceso en un área de manufactura de una compañía de productos médicos. Partiendo del concepto de incumplimiento de la meta de variación del consumo de materiales con respecto al estándar, se desarrolló una metodología de aplicación general para la generación de proyectos que reduzcan el desperdicio, en la que los resultados obtenidos puedan ser validados estadísticamente. El proyecto aborda dos de los principales contribuyentes a la variación del consumo de materiales y demuestra por medio de pruebas de hipótesis que la aplicación de los cambios propuestos reducen la proporción de defectos con respecto al estado original hasta en un 90%. Los contribuyentes sobre los que se trabajó son la variación del consumo de catéter soldado por láser y la incidencia de poros en soldadura, los cambios propuestos están relacionados al manejo de materiales en el primer caso, al rango de temperatura de soldado en el segundo. Como parte del desarrollo del proyecto se establecieron tamaños de muestra adecuados para la experimentación y validación de resultados. El proyecto hace uso de otras herramientas estadísticas como gráficos de control, histogramas, pruebas de correlación y diseño de experimentos.

Palabras clave: Desperdicio, pruebas de hipótesis, proporción de defectos, manejo de materiales, tamaños de muestra.

Introducción

En una planta de manufactura de productos médicos de la localidad se lleva a cabo la producción de un implante anticonceptivo permanente, para el que además se fabrica un “mecanismo de entrega” para su posicionamiento. Entre los métricos que se monitorean para este producto está el de “Variación de uso de materiales”, que representa el consumo excedente en dólares sobre el estándar establecido por la carta de materiales. El análisis del consumo de

materiales indica que la meta establecida de variación de 1.50% ha sido rebasada en todos los meses de 2014. Ver detalle en figura 1. Los dos contribuyentes analizados en este documento son la variación en el consumo de catéter soldado por láser (conocido como catéter interno) y el defecto de poros en soldadura, ver figura 2 con detalle de los principales contribuyentes a la variación de uso de materiales.

Variación de uso de materiales, 2014

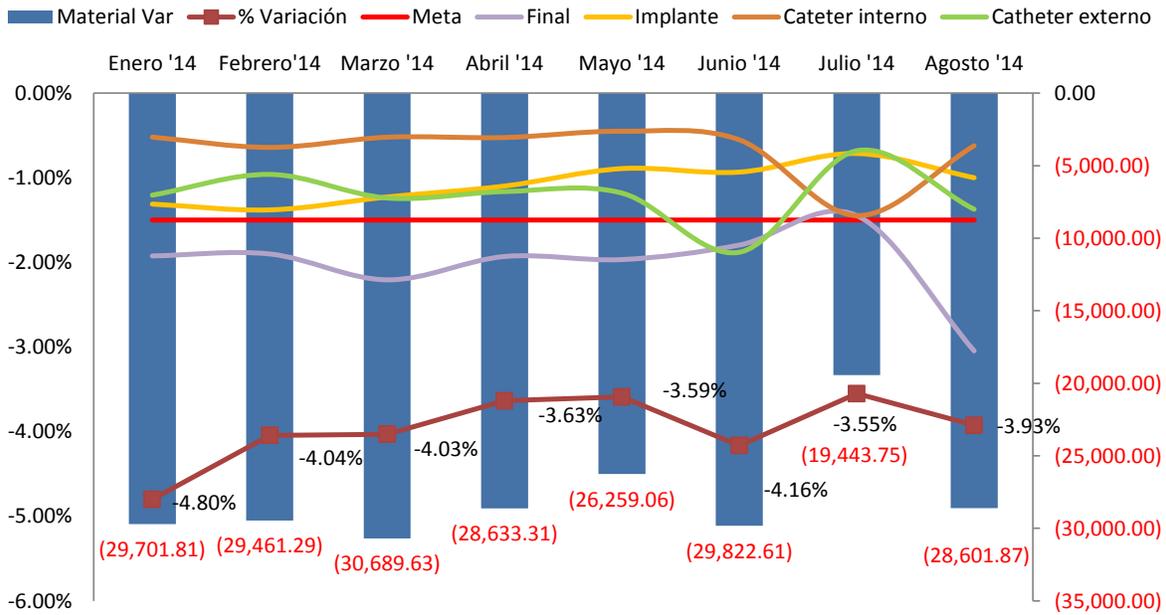


Figura 1. Tendencias de la varianza en el uso de materiales de la Unidad de Negocios de Dispositivos Implantables. El costo anualizado proyectado de acuerdo al nivel de varianzas mostrado es de \$390,000 USD.

Principales contribuyentes a la variación del uso de materiales

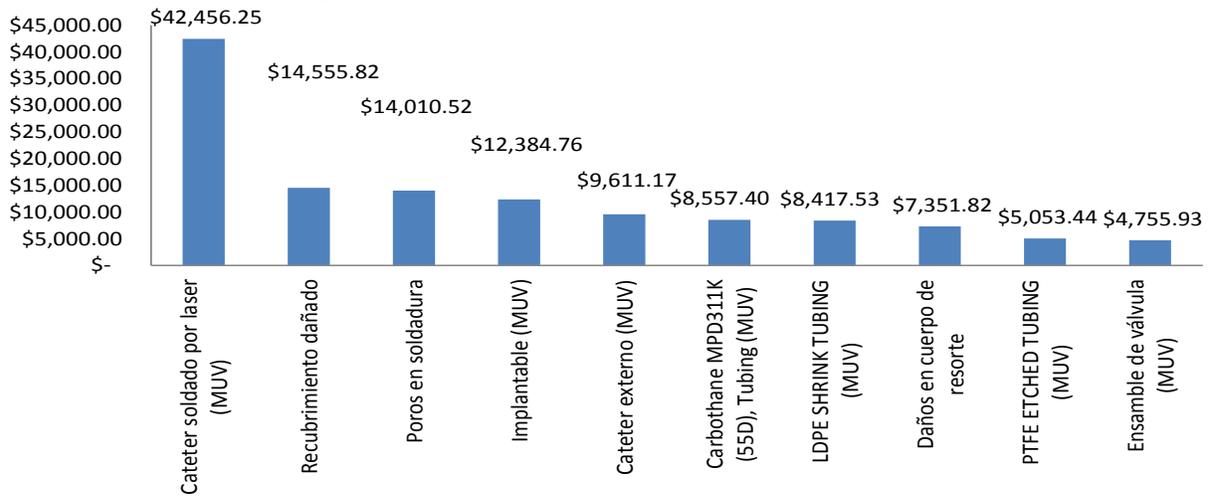


Figura 2. Gráfico de principales contribuyentes a la variación del uso de materiales en unidad de negocios de dispositivos implantables.

Métodos

La figura 3 muestra la metodología utilizada para el desarrollo de este proyecto.

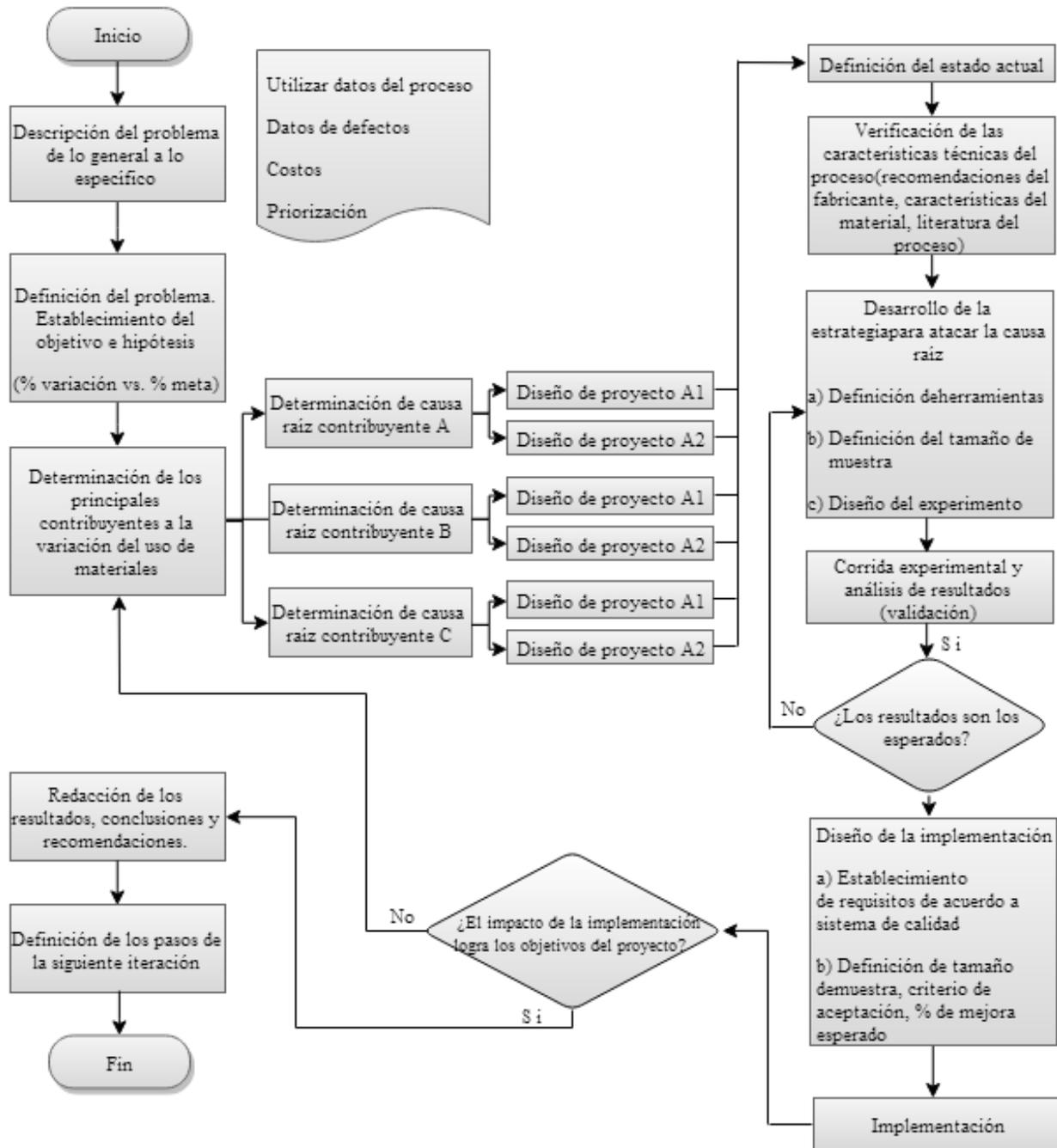


Figura 3. Diagrama de flujo de la metodología para la reducción de variaciones de uso de material

Resultados

Variación del uso de catéter soldado por láser (catéter interno)

Un análisis de la proporción histórica de rechazos de catéter soldado por láser en 100 lotes de producción indicó que el promedio de dicha proporción es de 0.03046. Este dato en conjunto con la ecuación 1 (Monks, 1996) indican el tamaño de muestra adecuado para determinar el estado actual del proceso.

$$n = \frac{(Z_{1-\alpha/2})^2 \hat{p}\hat{q}}{e^2} \quad (1)$$

$$\frac{[(1.96)^2(0.03046)(0.96954)]}{(0.05)^2} = 45.38 \sim 45 \text{ muestras} \quad (2)$$

El gráfico P sobre la variación del consumo de catéter soldado por láser mostrado en la figura 4 se construyó con los datos de 45 lotes de producción. El gráfico muestra que no existen causas especiales de variación, por lo que el proceso muestra control estadístico.



Figura 4. Gráfico P para la variación del uso de catéter interno

En el análisis de la figura 5 se establece que la principal causa del desperdicio es el desprendimiento de la unión de soldadura por resistencia entre una banda de acero y un alambre de Nitinol que

forman parte del ensamble del catéter interno. Las causas de dicho desprendimiento se relacionan al método de manejo y almacenaje de los catéteres.

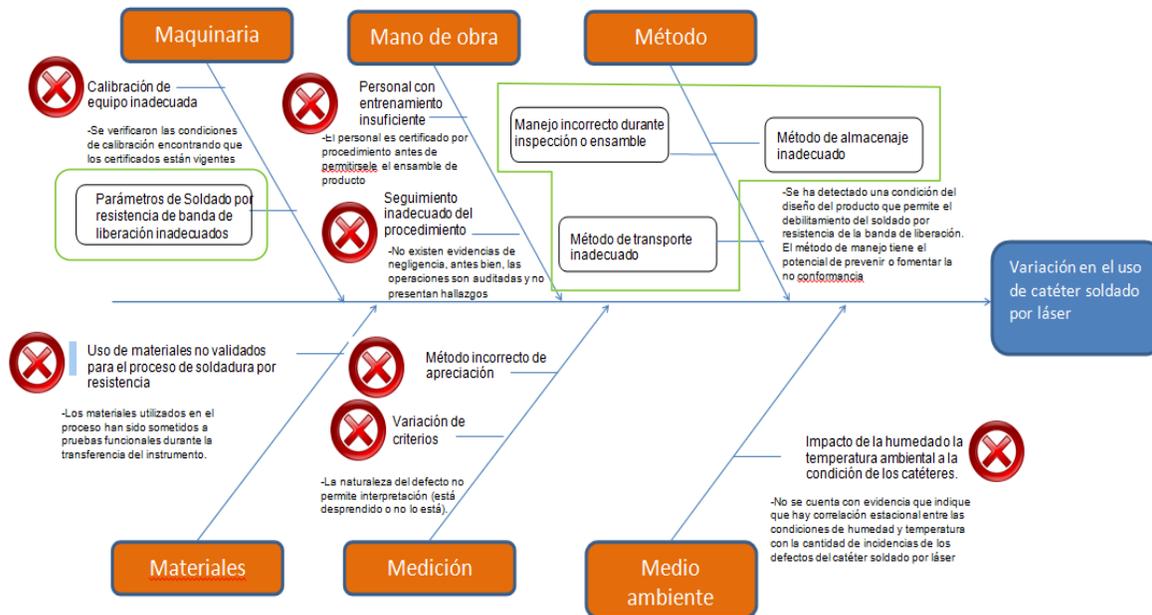


Figura 5. Diagrama de Ishikawa para problema de variación en consumo de catéter soldado por láser.

Las causas potenciales del diagrama de Ishikawa se pueden consolidar en dos categorías: (1) parámetros inadecuados y (2) manejo y almacenaje. Se realizó un diseño de experimentos de escrutinio con el objetivo de incrementar la resistencia del punto de soldadura a la deflexión mecánica. El proceso de soldadura por resistencia utiliza una máquina MIYACHI UNITEK de la serie HF-25 por corriente directa. Los parámetros incluidos en el estudio fueron la potencia (en kA), la fuerza de los electrodos (en lbs) y el tiempo de soldado (en ms). Los resultados no fueron conclusivos como lo muestra el Pareto de efectos estandarizados de la figura 6, que indica que ninguno de los factores bajo estudio presenta significancia sobre los resultados obtenidos en el rango estudiado. Se abordó por ello un estudio sobre el método de manejo y almacenaje. La figura 7 muestra el diagrama de flujo de ensamble actual del catéter interno mientras que la figura 8 muestra un flujo de proceso

alternativo diseñado para reducir la cantidad de estaciones por las que la banda soldada viaja antes del ensamble del catéter en el producto terminado.

El gráfico P de la proporción de defectos utilizando el método de ensamble alternativo se muestra en la figura 9, obsérvese que la mayoría de los muestreos realizados no presentó ningún rechazo. Para comparar el proceso original con el propuesto se plantea la siguiente prueba de hipótesis:

$$H_0: p_1 = p_2$$

$$H_1: p_1 > p_2$$

Donde,

p_1 : Proporción de defectos en el proceso original

p_2 : Proporción de defectos cambio de flujo de proceso de ensamble

La figura 10 muestra el resultado de la prueba de 2 proporciones en la que se observa que el valor de P resulta menor a

0.05 (nivel de α), por lo que existe evidencia estadística para rechazar H_0 , es decir, la

proporción en el proceso propuesto es menor que la del proceso original.

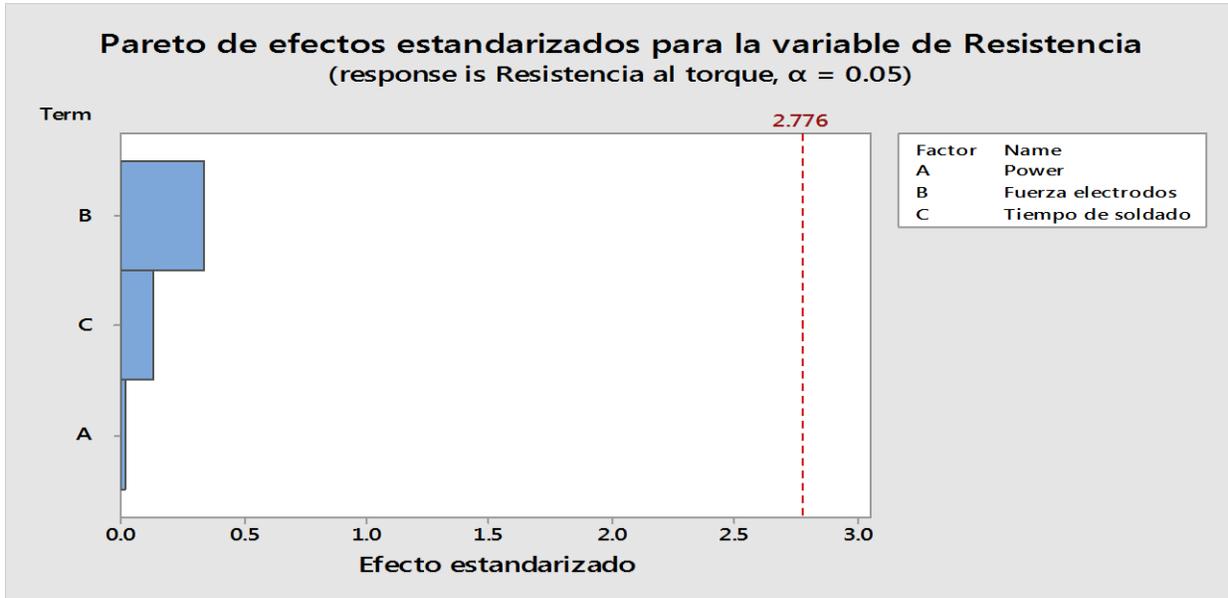


Figura 6. Pareto de efectos estandarizados sobre los resultados del diseño factorial de escrutinio en el proceso de soldado por resistencia de banda de liberación

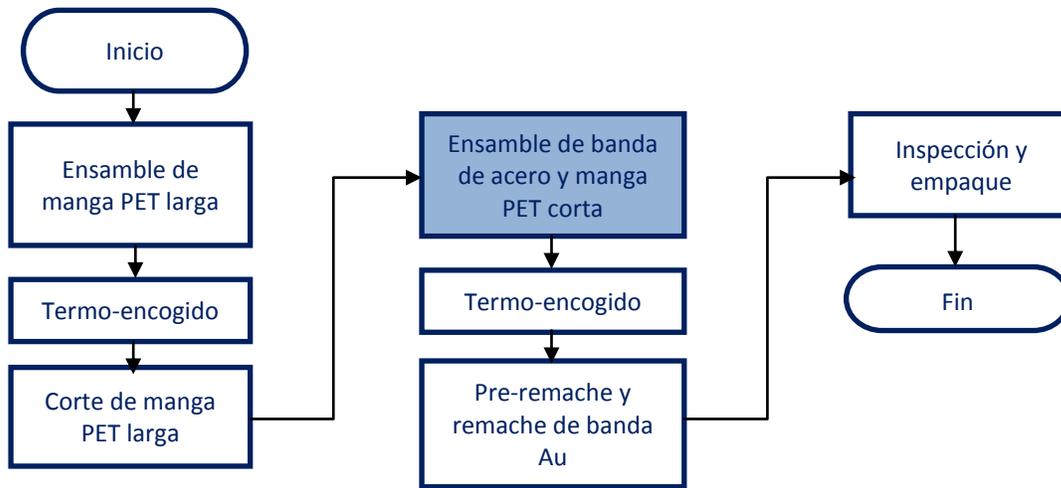


Figura 7. Diagrama de flujo de proceso de ensamble de catéter interno

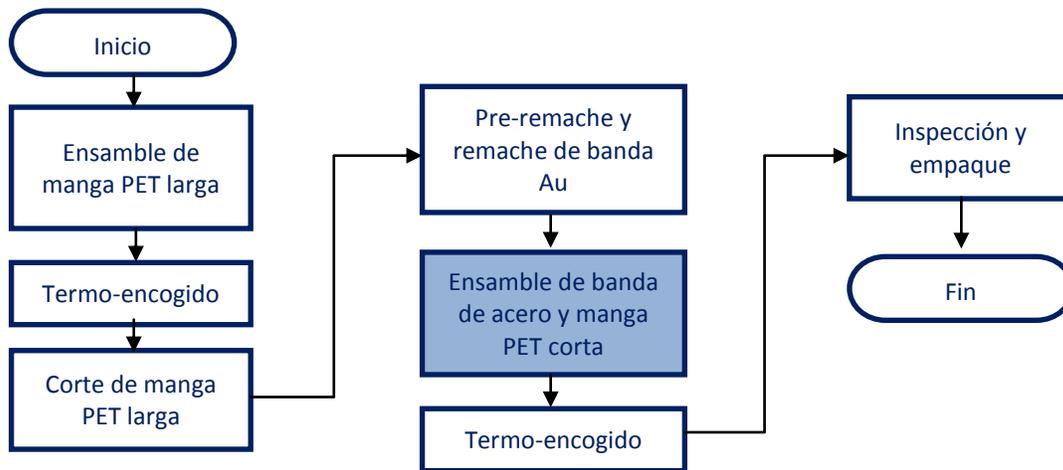


Figura 8. Diagrama de flujo propuesto para ensamble de catéter interno.

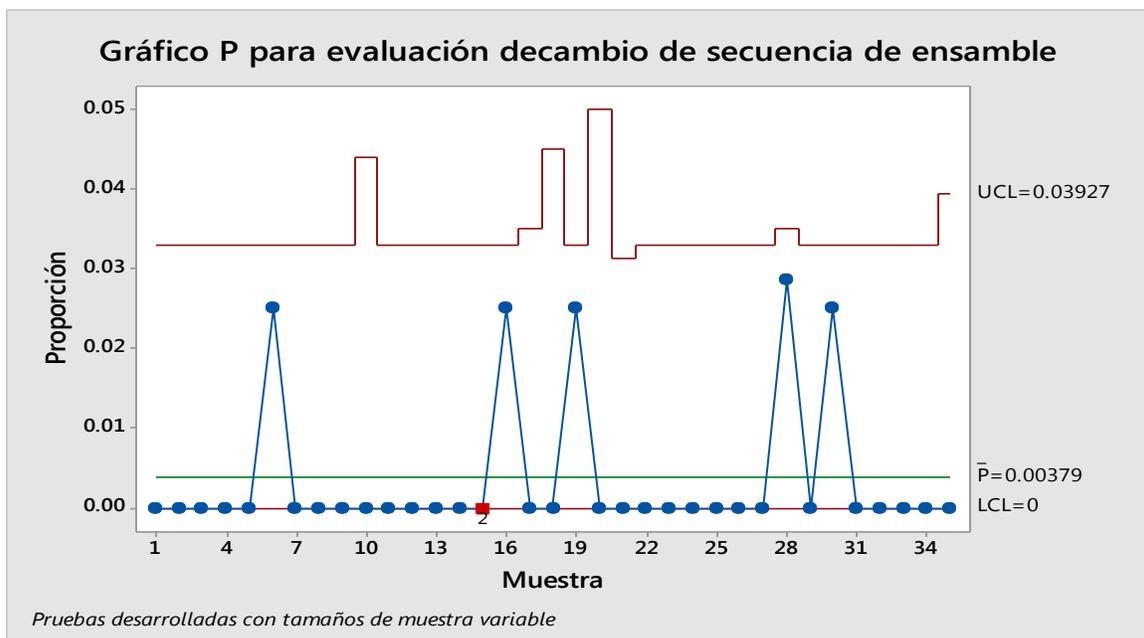


Figura 9. Gráfico P del proceso con la secuencia alternativa de ensamble.

Test and CI for Two Proportions

| Sample | X | N | Sample p | Difference = p (1) - p (2) |
|--------|-----|------|----------|-------------------------------------------|
| 1 | 595 | 7457 | 0.079791 | Estimate for difference: 0.0749599 |
| 2 | 1 | 207 | 0.004831 | 95% lower bound for difference: 0.0655007 |

Test for difference = 0 (vs > 0): Z = 13.03 P-Value = 0.000

Figura 10. Resultados de la prueba de 2 Proporciones entre los resultados del proceso original contra el proceso propuesto

Defecto de poros en soldadura

El defecto de poros en soldadura es el tercer contribuyente a las variaciones en el consumo de materiales en el caso bajo estudio. Un análisis de los datos de 100 lotes de producción indicó que el promedio de las proporciones de incidencias de poros de soldadura es de 0.08765. A partir de dicho

promedio y de la aplicación de la ecuación 1, se calculó el número de muestras para determinar el estado del proceso, resultando en 123. La figura 11 muestra el gráfico P de las incidencias de poros en soldadura en el que se observa que el proceso presenta causas especiales de variación, indefinidas al momento del estudio.

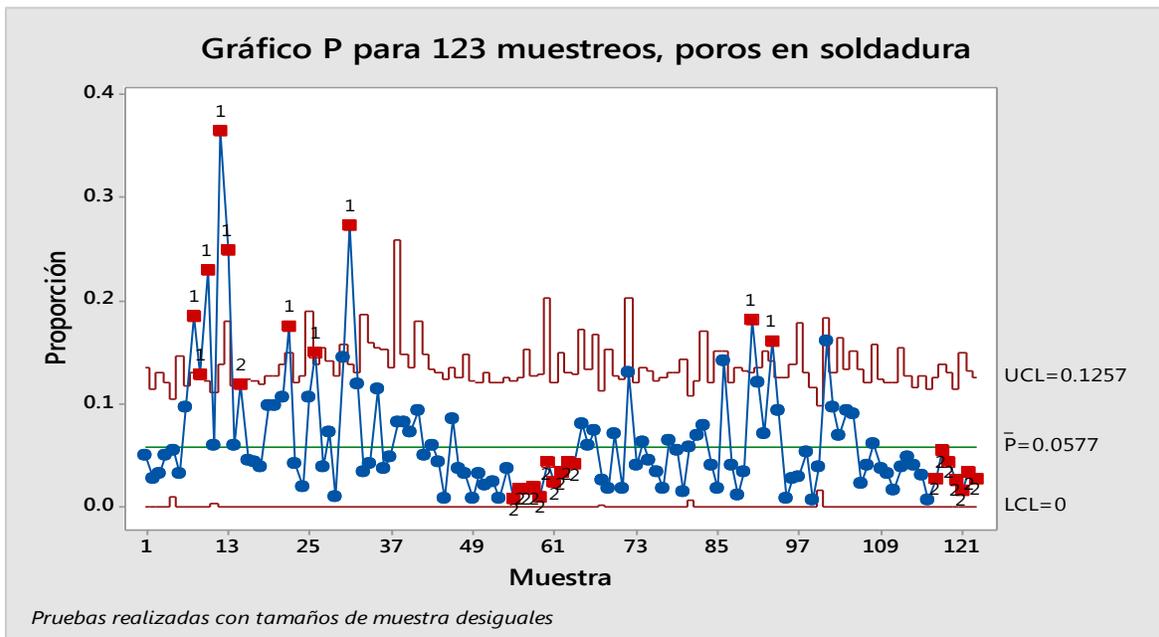


Figura 11. Gráfico P de incidencias de poros en soldadura

La figura 12 muestra el diagrama de Ishikawa utilizado para el análisis de la causa raíz. Se encontró que el rango de temperatura del soldado utilizando un cautín Weller WS100 es de 525°F a 575° mientras que de acuerdo al diagrama de fases mostrado en la figura 13, el punto eutéctico de la soldadura Sn₉₅ Au₅ es aproximadamente 220°C (~428°F) (NIST, 1996); se tiene además referencia de que mayores temperaturas de soldado tienden a formar concentraciones de gases que durante el proceso de enfriado forman cavidades o poros (Bryant, 2004).

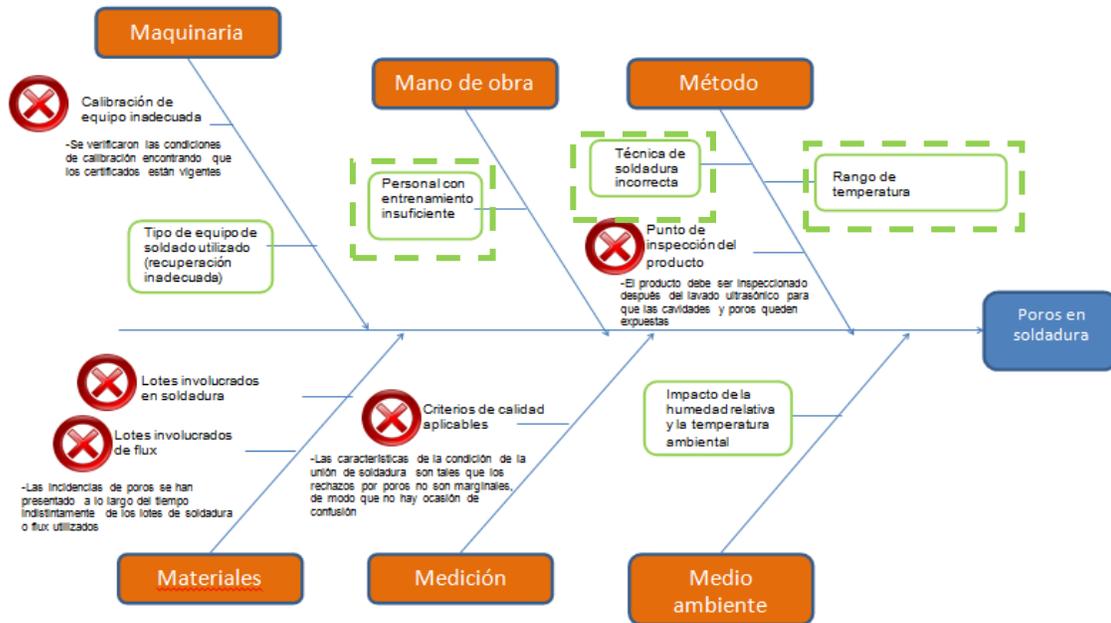


Figura 12. Diagrama de Ishikawa para análisis del defecto de poros en soldadura

El punto Eutéctico está aproximadamente a 220°C (~428°F), es la temperatura más baja a la que puede fundirse una mezcla de sólidos

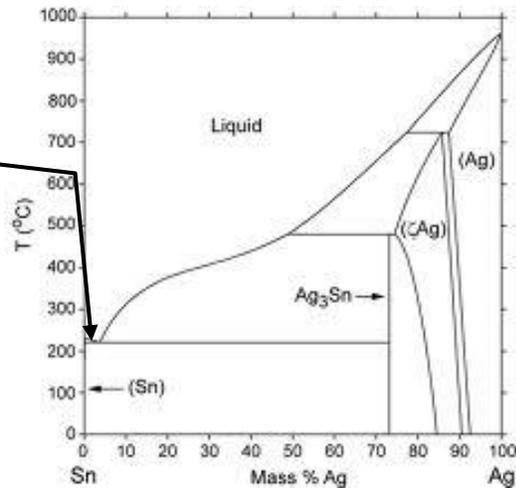


Figura 13. Diagrama de fases de la soldadura estaño-plata

Se realizó un ejercicio preliminar de colección de datos en el que se registraron observaciones de las proporciones de poros en soldadura partiendo del rango de temperatura actual, disminuyéndola hasta llegar a 470°F encontrándose que la incidencia de poros tiende a disminuir conforme disminuye la temperatura, por ello se extendió un muestreo amplio a 480°F; la figura 14 muestra los resultados del muestreo en un gráfico P.

Con los datos de la figura 14, se presenta ahora la siguiente prueba de hipótesis,

$$H_0: p_1 = p_2$$

$$H_1: p_1 > p_2$$

Donde,

p_1 : Proporción de defectos en el proceso original

p_2 : Proporción de defectos resultantes del uso de 480°F para el proceso de soldadura

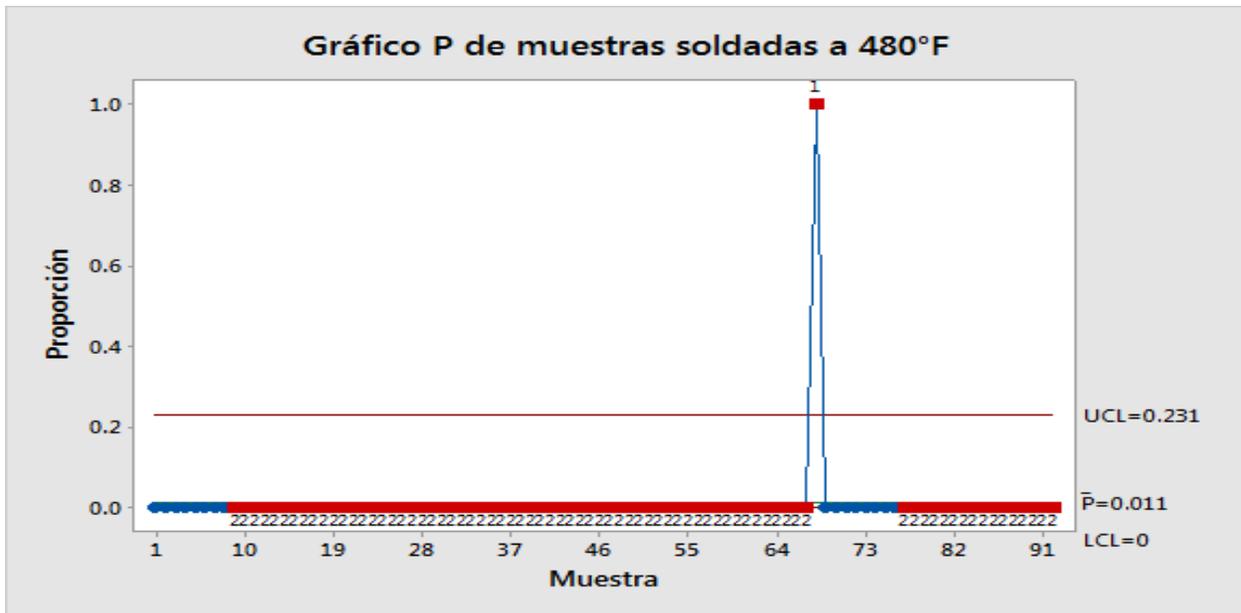


Figura 14. Gráfico P de las incidencias de poros en soldadura aplicando 480°F

El resultado de la prueba de 2 proporciones se muestra en la figura 15. De acuerdo a los resultados de la misma, se concluye que existe evidencia estadística

para rechazar H_0 , esto es, la proporción de defectos aplicando una temperatura de 480°F produce menor proporción de incidencias de poros en soldadura.

Test and CI for Two Proportions

| Sample | X | N | Sample p | Difference = p (1) - p (2) |
|--------|-----|------|----------|-------------------------------------------|
| 1 | 595 | 7457 | 0.079791 | Estimate for difference: 0.0749599 |
| 2 | 1 | 207 | 0.004831 | 95% lower bound for difference: 0.0655007 |

Test for difference = 0 (vs > 0): Z = 13.03 P-Value = 0.000

Figura 15. Prueba de 2 proporciones entre el proceso original de 550°F contra el proceso propuesto a 480°F

Conclusiones

Se concluye que el cambio del flujo del ensamble resulta en una proporción de defectos de 0.33% contra el proceso actual de 3.39%.

Se concluye que el soldado de la unión del implante utilizando 480°F resulta en una proporción de defectos de 0.48% contra el proceso actual de 7.97% que utiliza 550°F.

Referencias

Bryant, K. (2004). "Investigating voids". PCB Update. Consultado en: <http://www.nordson.com/en-us/divisions/dage/support/Literature/Documents/investigating%20voids%20circuits%20assembly%20article.pdf>

National Institute of Standards and Technology [NIST] (1996), Phase diagrams and Computational Thermodynamics. Consultado en: <http://www.metallurgy.nist.gov/phase/solder/agsn.html>

Monks, J. (2nd Ed). (1996), Operations Management. EUA: McGraw Hill

Neri, M., Martínez, A., Carreño, C. (2009). "Propiedades físicas y mecánicas de soldaduras libres de plomo modificadas con tierras raras". Suplemento de la Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales. Consultado en: <http://www.rlmm.org/archivos/S01/N2/RLMMArt-09S01N2-p785.pdf>

Yunusa, M., Sriharib, K., Pitarresic, J., Primavera, A (2003). Effect of voids on the reliability of BGA/CSP solder joints. ELSEVIER. DOI: 10.1016/S0026-2714(03)00124-0

Logística inversa y sustentabilidad: revisión de literatura

Karla Estrada Jerez¹, Vianey Torres Argüelles¹, Aurora Máynez¹, María Teresa Escobedo Portillo¹

¹Universidad Autónoma de Ciudad Juárez.

Resumen

En este trabajo se presenta una revisión de literatura, con la cual se pretende establecer la importancia de la logística inversa dentro de la industria enfocada a procesos sustentables. Se hace un análisis documental acerca del surgimiento de la logística y evolución hacia la logística inversa así como los conceptos desarrollados dentro de la Ecología Industrial que pusieron las bases para la producción más limpia y el cambio de las economías industrializadas hacia sistemas industriales sustentables.

Palabras clave: Logística Inversa, Sustentabilidad, Ecología Industrial.

Introducción

En las últimas décadas, el desarrollo económico que ha estado basado en la producción masiva de bienes y servicios, así como el desarrollo poblacional, han traído consigo severos daños al ambiente (Zacarías Farah & Solis, 2009). Lo que muestra una estrecha relación entre el desarrollo económico y social y el deterioro ambiental. Lo que nos enfrenta al importante reto de proponer soluciones en las tres dimensiones: sociedad-economía-ambiente; empezando por llevar a las economías industrializadas hacia sistemas industriales sustentables (Cervantes Torre-Marín, Sosa Granados, Rodríguez Herrera, & Robles Martínez, 2009) que permitan cumplir con el objetivo de la sustentabilidad que se basa en satisfacer las necesidades de la generación actual sin sacrificar las necesidades de las generaciones futuras (Brundtland, 1987); basado en este concepto, el desarrollo sustentable es, por lo tanto, la relación que existe entre los

sistemas económicos, sociales y ambientales, siendo dicha relación dinámica y a pesar que genera un cambio ecológico, este es lento, de tal forma que los individuos puedan prosperar y las culturas se pueden desarrollar, mientras que la diversidad y la función del soporte de la vida ecológica están protegidos (Gladwin, Kennelly, & Krause, 1995); es decir, que el nivel de explotación de los recursos esté por debajo de su capacidad de renovarse. Para alcanzar este reto en los últimos años se han propuesto leyes que regulan los procesos de producción; estrategias y herramientas que permiten adoptar sistemas de producción limpia (Nguyen & Leblanc, 2001); (P. W. Roberts & Dowling, 2002); (Neville, Bell, & Mengüç, 2006). Con base en lo anterior el objetivo de este estudio es identificar los conceptos involucrados en el desarrollo sustentable de las industrias con el fin de proponer procesos que transiten a la producción más limpia.

Revisión de literatura

Las herramientas y enfoques existentes sirven para evaluar y gestionar el impacto ambiental de las actividades industriales y a su vez apoyar la integración de los conceptos de sustentabilidad en la práctica empresarial (Despeisse, Ball, Evans, & Levers, 2012). Estas herramientas se pueden encontrar en diversas áreas como la Ecología Industrial (Dewulf & Van Langenhove, 2005a), Producción Limpia (Kjaerheim, 2005), Prevención de la Contaminación (Glavič & Lukman, 2007), Ecoeficiencia (Govindan, Sarkis, Jabbour, Zhu, & Geng, 2014; Ahi & Searcy, 2013) y logística inversa (Sarkis, 2006a); las cuales ofrecen alternativas que convierten los sistemas de producción lineal en cíclicos, imitando el comportamiento de los ecosistemas naturales, los cuales poseen mecanismos de autorregulación, que se componen de una compleja red de sistemas de retroalimentación, positivos y negativos, que operan en el contexto de la realización, la regeneración y la capacidad de asimilación de los respectivos sistemas (Mebratu, 1998). Y su objetivo es garantizar el desarrollo sustentable a cualquier nivel, relacionando e impulsando las interacciones entre los sectores económico, ambiental y social (Cervantes Torre-Marín et al., 2009). Por lo tanto, en los sistemas de producción, de forma general, debe considerar en sus procesos de forma interrelacionada los conceptos de Ecología Industrial y la Economía Verde.

La ecología industrial es un nuevo marco para la gestión ambiental y busca la

transformación del sistema industrial con el fin de que sus entradas y salidas coincidan con la capacidad de carga del planeta y local (Lowe & Evans, 1995); (S. Erkman, 1997). Para alcanzar este concepto es necesario incluir en los sistemas de producción procesos de producción limpia, que considere conceptos logística inversa y logística verde; que a su vez requieren de la aplicación de los conceptos de Simbiosis Industrial y Sinergia de Subproductos (Manahan, 2001). Cuyo principio radica en que el flujo de residuos de una industria se incorpore a otra convirtiéndose en materia prima para la segunda, con lo que se busca generar un ciclo cerrado (Ayres & Ayres, 2002). Para lo cual se requiere de tecnologías y procesos más eficientes, que deben ser proporcionadas por la industria, de manera que también se generen y ofrezcan productos que protejan los recursos del planeta (Westkamper, Alting, & Arndt, 2000).

Asimismo, la Economía Verde, propone una transición a nuevos procesos de producción e incluye instrumentos de prevención de crisis que deben ayudar a evitar la escasez de materia prima y agua, los altos costos de energía y de los daños ambientales y el cambio climático (Banco Mundial, 2012), generando de esta manera empleos verdes (PNUMA, 2008). Para esto, es necesario adoptar sistemas de producción más limpia; la cual por el PNUMA (2013) como una estrategia ambiental preventiva e integrada para mejorar la eficiencia de los recursos, la reducción en la generación de

residuos y los costos de las operaciones de una organización así como la minimización de los riesgos y el impacto ambiental. A su vez, el concepto de producción más limpia incluye el concepto de logística inversa, el cual es el término comúnmente usado para referirse al rol de la logística en el reciclaje, disposición de desperdicios (Kinobe, Gebresenbet, Niwagaba, & Vinnerås, 2015) y el manejo de materiales peligrosos (Kilic, Cebeci, & Ayhan, 2015); sin embargo, una perspectiva más amplia incluye todo lo relacionado con las actividades logísticas llevadas a cabo con el fin de reducir el uso de materiales y aumentar el reciclaje, así como eficientar la disposición final de los residuos (Stock, 1992). Sin embargo, actualmente aún existen barreras para la implementación de la logística inversa (Prakash & Barua, 2015), además que su adopción requiere de cambios sustanciales en los procesos productivos.

Evolución del concepto de logística y logística inversa

La palabra Logística es de origen francés y aparece por primera vez en (1783) donde el Baron de Jomini, Ggeneral de los ejércitos napoleónicos, menciona que la logística es una acción conducente a la preparación y sostenimiento de las campañas (Feres, 1987), después en (1844) Dupuit analiza los costos de inventario y los costos de transporte en conjunto (Ballou, 2004), en (1961) el coronel Thorpe es su libro “Logística pura: Ciencia de preparación para la guerra” visualiza el concepto como una rama militar relacionada en transportar materiales, personas e instalaciones, dando origen al concepto de logística como una

estrategia militar (Feres, 1987). En 1985 bajo un enfoque administrativo el Consejo de Dirección Logística (CLM, por sus siglas en inglés) dice que la logística es una parte del proceso de la cadena de suministros que planea implementa y controla el eficiente y efectivo flujo y almacenamiento de bienes, servicios e información relacionada del punto de origen al punto de consumo con el propósito de satisfacer los requerimientos del cliente citado por (Ballou, 2004).

Fue hasta la década de los 90 que surge el concepto de logística inversa (Stock, 1992) el cual plantea a la logística desde la perspectiva del reciclaje, disposición de desperdicios y el manejo de materiales peligrosos; una perspectiva más amplia que incluye todo lo relacionado con las actividades logísticas llevadas a cabo en la reducción de entrada, reciclaje, sustitución, reuso de materiales y su disposición final; asimismo, Rogers & Tibben-Lembke (1998) agregan el término de flujo de información, que va desde el punto de consumo hasta el punto de origen, a partir de lo que simplifican el concepto, considerando el movimiento del producto o materiales en la dirección opuesta, para el propósito de crear o volver a capturar su valor o bien, para una adecuada eliminación (Brito & Dekker, 2002).

Apoyando la importancia de la logística inversa en el año 2003 el CLM hace una corrección del concepto de logística: “parte del proceso de la cadena de suministros que planea implementa y controla el eficiente y efectivo flujo y almacenamiento hacia delante y en reversa de bienes, servicios e información

relacionada del punto de origen al punto de consumo con el propósito de satisfacer los requerimientos del cliente” (CLM, 2003), esta definición muestra cambios importantes, como la inclusión de la logística inversa, cadena de suministros y satisfacción al cliente, donde la cadena de suministros se define como la coordinación sistemática y estratégica de las funciones tradicionales del negocio y de tácticas entre empresas que participan en el flujo de suministros con el fin de mejorar el desempeño a largo plazo de las empresas individuales como un todo (Mentzer, Keebler, Nix, Smith, & Zacharia, 2001).

Sustentabilidad y Logística Inversa

Los diversos conceptos que han surgido a partir del interés de la industria por el cuidado del ambiente, se basan en la Ecología Industrial (EI), consiste en desarrollar industrias o en su caso replantear procesos que generen actividades más amigables con el entorno, integrando aspectos económicos (Richards, Allenby, & Frosch, 1994), tecnológicos (Dewulf & Van Langenhove, 2005b), políticos (Cousins & Newell, 2015), ambientales y sociales (Pérez & Meza, 2013). La EI es, por lo tanto, un área de conocimiento que busca que los sistemas industriales tengan un comportamiento similar al de los ecosistemas naturales, transformando el modelo lineal de los sistemas productivos en un modelo cíclico, impulsando las interacciones entre economía, ambiente y sociedad e incrementando la eficiencia de los procesos industriales (Erkman, 2001). Por lo tanto, la EI al buscar comportamientos de producción cíclicos

incorpora el enfoque de Metabolismo Industrial que es el resultado de un balance de materiales (Ayres & Ayres, 2002), donde el objetivo central consiste en explicar, cómo se da el flujo total de materiales y energía de un sistema industrial, desde su extracción hasta su inevitable reintegración a los ciclos biogeoquímicos de los elementos naturales (González, 2009). Para poder desarrollar los sistemas cíclicos dentro de la industria es necesario considerar también el concepto de Simbiosis Industrial, que consiste en crear una alta relación interdependiente entre dos empresas, creando relaciones simbióticas como una ventaja competitiva que implica el intercambio físico de materiales, energía, agua y subproductos (Glavič & Lukman, 2007), ofrecidos por la proximidad geográfica (Chertow, 2000), contribuyendo en el bienestar de las industrias (Curran & Williams, 2012; Li, Dong & Ren, 2015a; Manahan, 2001).

Bajo una filosofía administrativa de Ecoeficiencia la industria se encarga de entregar productos y servicios a un precio competitivo que satisfagan las necesidades humanas y aporten calidad de vida, mientras que progresivamente reduzcan el impacto ambiental y el consumo de recursos durante todo el ciclo de vida (Lehni, 2000; Ng, Yeo, Low & Song, 2015), por lo que para alcanzar la Ecoeficiencia, la innovación (Diaz Lopez & Montalvo, 2015), el diseño de productos (Waage, 2007), y los incentivos para la sociedad, forman un punto crítico para la transformación hacia la sostenibilidad (Petala, Wever, Dutilh & Brezet, 2010; Tukker & Jansen, 2006; Tukker et al., 2008). En este punto, la

Logística Inversa juega un papel importante en la integración de la variable medio ambiental, ya que considera la perspectiva de ciclo de vida total del producto: es decir desde su concepción, fabricación, distribución y uso, hasta su refabricación, reutilización o eliminación (Orbegozo & Molina, 2007).

Para promover la Ecoeficiencia en la Producción más limpia, de acuerdo con PNUMA (1999) se requiere la aplicación continua de una estrategia ambiental preventiva, integrada y aplicada a procesos, productos y servicios, reduciendo así los riesgos para los humanos y el medio ambiente; creando así un enfoque sistemático de las actividades de producción (Glavič & Lukman, 2007), apoyándose en estrategias tales como la gestión del producto (Amir, Rojas, Fernando & Giraldo, 2006), diseño ecológico (Boix, Montastruc, Azzaro-Pantel & Domenech, 2015) y cadena de

suministros cerrados (Curran & Williams, 2012). Para hacer una clara diferencia entre producción limpia y ecología industrial Erkman (2001) propone que: “La Producción limpia enfoca sus acciones hacia el interior de las compañías; mientras que la aplicación de la producción limpia a nivel sistémico entre un grupo de industrias, es ecología industrial.”

Por lo tanto, de acuerdo con Montoya (2010), el papel de la logística inversa es gestionar adecuadamente los retornos, desechos y devoluciones de la cadena de suministros, buscando una reducción de los impactos ambientales e intentando desarrollar un enfoque de rentabilidad; con lo que se promueve la recuperación de los recursos desde las perspectivas económicas y ecológicas (Dekker, Fleischmann, Inderfurth, & Van Wassenhove, 2004; Thierry, Salomon, Nunen, & Wassenhove, 1995).

Resultados

Con base en la literatura revisada, se plantea la relación entre los conceptos de sustentabilidad y la producción más limpia. En la Figura 1 se muestra a la Ecología Industrial como el concepto más amplio que incluye los conceptos de Metabolismo Industrial, Simbiosis Industrial, Ecoeficiencia y Producción más Limpia hasta llegar a la Logística Inversa.

En este estudio se revisaron 80 documentos, formados por artículos

científicos, bases de datos y libros; en los cuales se identificó que la Logística Inversa es un campo de investigación que actualmente se considera en el desarrollo sustentable. En la Tabla 1, se reportan 46 artículos de investigaciones recientes en los que sus resultados reportan la relación que existe entre la sustentabilidad y la Logística Inversa.

TABLA 1. Conceptos relacionados al desarrollo sustentable en la industria

| Concepto | Referencia |
|------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Ecología Industrial | Prakash & Barua, 2015; Despeisse et al., 2012; Russell & Taylor, 2011; Geng & Doberstein, 2008. |
| Metabolismo Industrial | González, 2009; Ayres & Ayres, 2002; Srivastava, 2007; Dewulf & Van Langenhove, 2005 ^a ; Despeisse et al., 2012; Lowe & Evans, 1995; Sarkis, 2006b; Erkman, 2001; Quariguasi, Walther, Bloemhof, van Nunen, & Spengler, 2009. |
| Simbiosis Industrial | Li, Dong, & Ren, 2015b; Cervantes Torre-Marín et al., 2009; Reyes, 2009; Cervantes Torre-Marín, 2012, Roberts, 2004; Glavič & Lukman, 2007, Erkman, 1997; Ravi, Shankar, & Tiwari, 2005; Chertow, 2000; Fleischmann et al., 1997; Turner, LeMay, & Mitchell, 1994. |
| Ecoeficiencia | Orbegozo & Molina, 2007; Reyes, 2009; Hartmann & Germain, 2015; Quariguasi et al., 2009; Wells & Seitz, 2005; Pishvae, Farahani & Dullaert, 2010; Tsoufias & Pappis, 2006; Berglund, Laarhoven, Sharman & Wandel, 1999. |
| Producción más Limpia | Krikke, le Blanc, & Velde, 2003; Kjaerheim, 2005; Despeisse et al., 2012; Gimenez, Sierra & Rodon, 2012; Klemes, Varbanova & Huisingh, 2012; Ahi & Searcy, 2013; Kinobe et al., 2015; Westkamper et al., 2000; Montoya, 2010; Curran & Williams, 2012; Beamon, 1999; PNUMA, 2013; Ubeda, Arcelus & Faulin, 2011; Su, Jin & Yang, 2008; Erkman, 2001; Orbegozo & Molina, 2007; Hartmann & Germain, 2015. |

Dado el número de trabajos relacionados al desarrollo sustentable y los procesos industriales, en los últimos años, se observa la importancia del impacto que la industria tiene en el medioambiente. Por lo tanto, es necesario proponer las herramientas necesarias, para el tránsito hacia procesos de producción más limpios. En los últimos años diferentes empresas han implementado programas ambientales, que incluyen procesos que parten del diseño para reciclar, el análisis del ciclo de vida y la certificación ambiental; así como prácticas sociales que consideran programas destinados a mejorar las condiciones o proyectos de trabajo de

los empleados, con el propósito de tener un impacto en toda la sociedad (Gimenez et al., 2012). De acuerdo con Klemes et al. (2012), para generar estos cambios se necesita un enfoque integrado y multidisciplinario, que combina las ventajas de los nuevos avances en tecnologías más limpias y la aplicación de las políticas y los programas que están diseñados para ayudar a asegurar un desarrollo sostenible; el cual se ha convertido en un tema clave entre los gobiernos, legisladores, investigadores y el público en general, aumentando los esfuerzos y recursos para la transición hacia una economía verde.

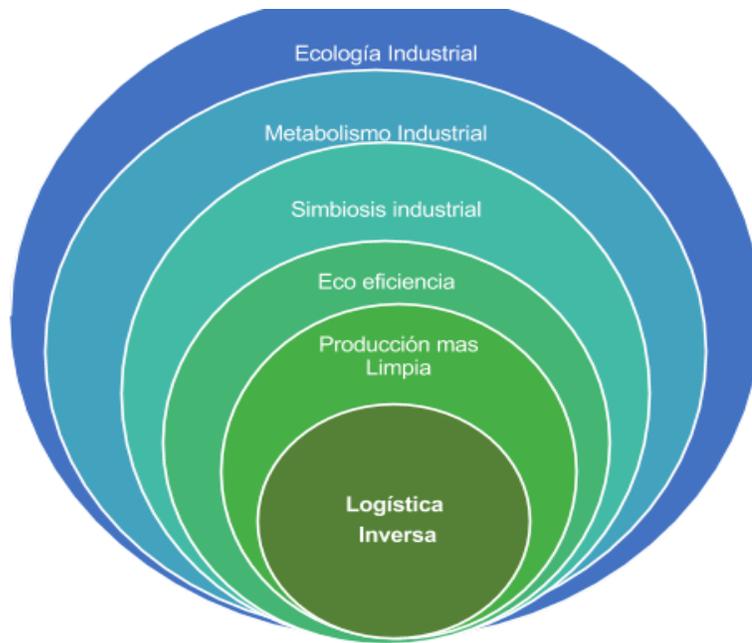


FIGURA 1. El camino de la industria hacia la sustentabilidad

Conclusiones

Durante la revisión de literatura de se encontró que los conceptos de Ecología Industrial, Metabolismo Industrial, Simbiosis Industrial, Ecoeficiencia y Producción más limpia hacen mención a sistemas cíclicos, siendo el proceso de Logística Inversa un sistema cuya naturaleza es de ciclo cerrado, ya que promueve el retorno o intercambio de recursos tales como la energía, el agua, los materiales, productos terminados y materiales peligrosos. Asimismo, la

Simbiosis y el Metabolismo Industrial buscan el intercambio de recursos entre industrias.

La investigación documental realizada en este trabajo muestra la evolución de la logística hacia la Logística Inversa derivado de los cambios en los procesos industriales, propiciado por las necesidades del desarrollo sustentable y que busca disminuir el impacto ambiental que los procesos industriales han generado los últimos años.

Referencias

Ahi, P., & Searcy, C. (2013). A comparative literature analysis of definitions for green and sustainable supply chain management. *Journal of Cleaner Production*, 52, 329–341. doi:10.1016/j.jclepro.2013.02.018

Amir, J., Rojas, A., Fernando, L., & Giraldo, G. (2006). *Tecnologías ambientalmente sostenibles*. Ebsco, 1, 10.

Ayres, R., & Ayres, L. (2002). *A handbook of industrial ecology*. Science Vol. 296, p. 680).

Retrieved from
<http://books.google.com/books?id=g1Kb-xizc1wC&pgis=1>

Ballou, R. H. (2004). *Logística Administración de la cadena de suministros* Quinta Edi). Mexico: Pearson Educación.

Banco Mundial. (2012). *Crecimiento verde Inclusivo en América latina y el caribe*. Banco Mundial, 59. Retrieved from http://siteresources.worldbank.org/INTLACINSPAN/ISH/Resources/green_growth_es.pdf

Beamon, B. M. (1999). Designing the green supply chain. *Logistics Information Management*, 12, 332–342. doi:10.1108/09576059910284159

Berglund, M., Laarhoven, P. Van, Sharman, G., & Wandel, S. (1999). Third-Party Logistics: Is There a Future? *The International Journal of Logistics Management*. doi:10.1108/09574099910805932

Boix, M., Montastruc, L., Azzaro-Pantel, C., & Domenech, S. (2015). Optimization methods applied to the design of eco-industrial parks: a literature review. *Journal of Cleaner Production*, 87, 303–317. doi:10.1016/j.jclepro.2014.09.032

Brito, M. P. De, & Dekker, R. (2002). *Reverse Logistics - a framework*. Econometric Institute Report EI 2002, 38, 1–19.

Brundtland, Gro Harlem (1987). *Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future*. A global agenda for change. Oslo, 20 March 1987.

Cervantes Torre-marín, G., Sosa Granados, G., Rodríguez Herrera, R., & Robles Martínez, G. (2009). *Ecología industrial y desarrollo sustentable*. *Industrial. Ingeniería*, 13, 63–70.

Chertow, M. R. (2000). *Industrial Symbiosis: Literature and Taxonomy*. *Annual Review of Energy Environment*, 25, 313–337.

CLM. (2003). *Logistics Terms and Glossary*. Definitions Compiled by: Kate Vitasek, Supply Chain Visions.

Cousins, J. J., & Newell, J. P. (2015). A political–industrial ecology of water supply infrastructure for Los Angeles. *Geoforum*, 58, 38–50. doi:10.1016/j.geoforum.2014.10.011

Curran, T., & Williams, I. D. (2012). A zero waste vision for industrial networks in Europe. *Journal of Hazardous Materials*, 207–208(2012), 3–7. doi:10.1016/j.jhazmat.2011.07.122

Dekker, R., Fleischmann, M., Inderfurth, K., & Van Wassenhove, L. N. (2004). *Reverse Logistics: Quantitative Models for Closed-Loop Supply Chains*. *Interfaces* Vol. 35, pp. 103–104. Retrieved from <http://www.amazon.com/dp/3540406964>

Despeisse, M., Ball, P. D., Evans, S., & Levers, A. (2012). Industrial ecology at factory level - A conceptual model. *Journal of Cleaner Production*, 31, 30–39. doi:10.1016/j.jclepro.2012.02.027

Dewulf, J., & Van Langenhove, H. (2005a). Integrating industrial ecology principles into a set of environmental sustainability indicators for technology assessment. *Resources, Conservation and Recycling*, 43, 419–432. doi:10.1016/j.resconrec.2004.09.006

Dewulf, J., & Van Langenhove, H. (2005b). Integrating industrial ecology principles into a set of environmental sustainability indicators for technology assessment. *Resources, Conservation and Recycling*, 43(4), 419–432. doi:10.1016/j.resconrec.2004.09.006

Diaz Lopez, F. J., & Montalvo, C. (2015). A comprehensive review of the evolving and cumulative nature of eco-innovation in the chemical industry. *Journal of Cleaner Production*. doi:10.1016/j.jclepro.2015.04.007

Erkman, S. (1997). Industrial ecology: An historical view. *Journal of Cleaner Production*, 5(1), 1–10. doi:10.1016/S0959-6526(97)00003-6

Erkman, S. (2001). Industrial ecology: a new perspective on the future of the industrial system. *Swiss Medical Weekly*, 131, 531–8. doi:2001/37/smw-09845

Feres, S. (1987). *Logística*. Revista EAN, 1, 61–64. Retrieved from <http://journal.ean.edu.co/index.php/Revista/article/view/934/901>

Fleischmann, M., Bloemhof-Ruwaard, J. M., Dekker, R., van der Laan, E., van Nunen, J. a. E. E., & Van Wassenhove, L. N. (1997). Quantitative models for reverse logistics: A review. *European Journal of Operational Research*, 103(97), 1–17. doi:10.1016/S0377-2217(97)00230-0

Geng, Y., & Doberstein, B. (2008). Developing the circular economy in China: Challenges and opportunities for achieving 'leapfrog development'. ... *Journal of Sustainable Development & World Ecology*, Vol. 37–41. doi:10.3843/SusDev.15.3

Gimenez, C., Sierra, V. & Rodon J. (2012), Sustainable operations: Their impact on the triple bottom line, *International Journal of Production Economics*, Volume 140(1), 149–159.

Gladwin, T. N., Kennelly, J. J., & Krause, T.-S. (1995). Shifting Paradigms for Sustainable Development: Implications for Management Theory and Research. *Academy of Management Review*, 20, 874–907. doi:10.5465/AMR.1995.9512280024

Glavič, P., & Lukman, R. (2007). Review of sustainability terms and their definitions. *Journal of Cleaner Production*, 15, 1875–1885. doi:10.1016/j.jclepro.2006.12.006

González, C. (2009). una revisión de los principios de la ecología industrial Graciela Carrillo González.

Govindan, K., Sarkis, J., Jabbour, C. J. C., Zhu, Q., & Geng, Y. (2014). Eco-efficiency based green supply chain management: Current status and opportunities. *European Journal of Operational Research*, 233, 293–298. doi:10.1016/j.ejor.2013.10.058

Hartmann, J., & Germain, R. (2015). Understanding the relationships of integration capabilities, ecological product design, and manufacturing performance. *Journal of Cleaner*

Production, 92, 196–205. doi:10.1016/j.jclepro.2014.12.079

Kilic, H. S., Cebeci, U., & Ayhan, M. B. (2015). Reverse logistics system design for the waste of electrical and electronic equipment (WEEE) in Turkey. *Resources, Conservation and Recycling*, 95, 120–132. doi:10.1016/j.resconrec.2014.12.010

Kinobe, J. R., Gebresenbet, G., Niwagaba, C. B., & Vinnerås, B. (2015). Reverse logistics system and recycling potential at a landfill: A case study from Kampala City. *Waste Management*. doi:10.1016/j.wasman.2015.04.012

Kjaerheim, G. (2005). Cleaner production and sustainability. *Journal of Cleaner Production*, 13, 329–339. doi:10.1016/S0959-6526(03)00119-7.

Klemeš, J.J, Varbanova, P.S. & Huisingh, D. (2012), Recent cleaner production advances in process monitoring and optimisation. *Journal of Cleaner Production*, Volume 34:1–8.

Krikke, H. R., le Blanc, H. M., & Velde, S. Van De. (2003). Creating value from returns. Center Applied Research, Working Paper No. 2003-20002.

Lehni, M. (2000). Eco-efficiency. Creating more value with less impact. World Business Council for Sustainable Development pp. 1–32). Retrieved from <http://www.wbcsd.org>

Li, H., Dong, L., & Ren, J. (2015a). Industrial symbiosis as a countermeasure for resource dependent city: a case study of Guiyang, China. *Journal of Cleaner Production*. doi:10.1016/j.jclepro.2015.04.089

Li, H., Dong, L., & Ren, J. (2015b). Industrial symbiosis as a countermeasure for resource dependent city: a case study of Guiyang, China. *Journal of Cleaner Production*, 2003. doi:10.1016/j.jclepro.2015.04.089

Lowe, E. a., & Evans, L. K. (1995). Industrial ecology and industrial ecosystems. *Journal of Cleaner Production*, 3(1), 47–53. doi:10.1016/0959-6526(95)00045-G

Manahan, S. (2001). Fundamentals of environmental chemistry. *Polish Journal of Chemistry* p. 993). Retrieved from http://books.pakchem.net/uploads/1/2/7/7/12772060/fundamentals_of_environmental_chemistry.pdf

Mebratu Desta (1998). Sustainability and sustainable development: historical and conceptual review. *Environ Impact Asses Rev*, 18, 493–520.

Mentzer, J. T., Keebler, J. S., Nix, N. W., Smith, C. D., & Zacharia, Z. G. (2001). *JOURNAL OF BUSINESS LOGISTICS*, Vol.22(2) 1–25.

Montoya, R. A. G. (2010). Logística inversa un proceso de impacto ambiental y productividad. (Spanish). *Inverse Logistics a Process with Environmental and Productivity Impacts*. (English), 5, 1–14. Retrieved from <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=a9h&AN=79660780&lang=es&site=ehost-live>

Neville, B. A., Bell, S. J., & Mengüç, B. (2006). Corporate reputation, stakeholders and the social performance-financial performance relationship *European Journal of Marketing*, 39, 1184–1198.

Ng, R., Yeo, Z., Low, J. S. C., & Song, B. (2015). A method for relative eco-efficiency analysis and improvement: case study of bonding technologies. *Journal of Cleaner Production*. doi:10.1016/j.jclepro.2015.03.004

Nguyen, N., & Leblanc, G. (2001). Corporate image and corporate reputation in customers' retention decisions in services. *Journal of Retailing and Consumer Services*, 8, 227–236. doi:10.1016/S0969-69890000029-1

Orbegozo, U. T., & Molina, A. V. (2007). Generación De Valor Mediante Prácticas De Producción Limpia , Ecodiseño Y Logística Inversa. *Mediterráneo Económico*, 11, 147–164.

Pérez, J. L., & Meza, V. S. (2013). Los procesos industriales sostenibles y su contribución en la prevención de problemas ambientales. *Industrial Data*, 161, 108–117.

Petala, E., Wever, R., Dutilh, C., & Brezet, H. (2010). The role of new product development briefs in implementing sustainability: A case study. *Journal of Engineering and Technology Management*, 27, 172–182. doi:10.1016/j.jengtecman.2010.06.004

Pishvae, M. S., Farahani, R. Z., & Dullaert, W. (2010). A memetic algorithm for bi-objective integrated forward/reverse logistics network design. *Computers & Operations Research*, 37, 1100–1112. doi:10.1016/j.cor.2009.09.018

PNUMA. (1999). Manual de producción más Limpia. Un paquete de recursos de capacitación, 37; en: <http://www.pnuma.org/eficienciarecursos/documentos/pmlcp00e.pdf>, acceso 24 de abril de 2015.

PNUMA. (2008). Empleos verdes: Hacia el trabajo decente en un mundo sostenible y con bajas emisiones de carbono. Programa de Las Naciones Unidas Para El Medio Ambiente. Retrieved from <http://empleosverdes.mex.ilo.org/wp-content/uploads/2014/06/EMPLEOS-VERDES-HACIA-EL-TD-EN-UN-MUNDO-SUSTENIBLE-y-CON-BAJAS-EMISIONES-DE-CARBONO-OITCSIPNUMA-2008.pdf>

PNUMA. (2013). Anuario del PNUMA 2013: Temas emergentes en nuestro medio ambiente mundial. PNUMA Imprenta ONUN, Nairobi, 1–78. Retrieved from http://www.unep.org/yearbook/2013/pdf/YearBook_2013_Spanish.pdf

Prakash, C., & Barua, M. K. (2015). Integration of AHP-TOPSIS method for prioritizing the solutions of reverse logistics adoption to overcome its barriers under fuzzy environment. *Journal of Manufacturing Systems*, 1–17. doi:10.1016/j.jmsy.2015.03.001

Quariguasi Frota Neto, J., Walther, G., Bloemhof, J., van Nunen, J. A. E. E., & Spengler, T. (2009). A methodology for assessing eco-efficiency in logistics networks. *European Journal of Operational Research*, 193:670–682. doi:10.1016/j.ejor.2007.06.056

Ravi, V., Shankar, R., & Tiwari, M. K. (2005). Analyzing alternatives in reverse logistics for end-of-life computers: ANP and balanced scorecard approach. *Computers & Industrial Engineering*, 48(2), 327–356. doi:10.1016/j.cie.2005.01.017

Reyes, A. (2009). La convergencia de la logística inversa y la eco-eficiencia hacia la sostenibilidad. *Observatorio Iberoamericano Del Desarrollo Local Y La Economía Social*, 3, 1–13.

Richards, D. J., Allenby, B. R., & Frosch, R. A. (1994). No Title The greening of industrial ecosystems: overview and perspective. *The Greening of Industrial Ecosystems*, 1–19.

Roberts, B. H. (2004). The application of industrial ecology principles and planning guidelines for the development of eco-industrial parks: An Australian case study. *Journal of Cleaner Production*, 12, 997–1010. doi:10.1016/j.jclepro.2004.02.037

Roberts, P. W., & Dowling, G. R. (2002). Corporate reputation and sustained superior financial performance. *Strategic Management Journal*, 23(May), 1077–1093. doi:10.1002/smj.274

Rogers, D. S., & Tibben-Lembke, R. (2001). An examination of reverse logistics practices. *Journal of Business Logistics*, 22, 129–148. doi:10.1002/j.2158-1592.2001.tb00007.x

Rogers, D. S., & Tibben-Lembke, R. S. (1998). Going Backwards : Reverse Logistics Trends and Practices Going Backwards : Reverse Logistics Trends and Practices. *Logistics Management Vol. 2*, p. 275. Retrieved from <http://www.rlec.org/reverse.pdf>

Russell, R., & Taylor, B. (2011). *Operations Management Creating Value Along The Supply Chain*. Vasa.

Sarkis, J. (2006a). Greening the supply chain. Springer-Verlag London Limited pp. 1–407). doi:10.1007/1-84628-299-3

Sarkis, J. (2006b). Greening the Supply Chain Limited, p. 407). Verlag London: Springer.

Srivastava, S. K. (2007). Green supply-chain management: A state-of-the-art literature review. *International Journal of Management Reviews*, 9(1), 53–80. doi:10.1111/j.1468-2370.2007.00202.x

Stock J. R. (1992). *Reverse logistics*, Oak brook, IL. CLM.

Su, Y., Jin, Z., & Yang, L. (2008). Web-Based Green Products Life Cycle Management Systems. *Web-Based Green Products Life Cycle Management Systems: Reverse Supply Chain Utilization* pp. 301–333. doi:10.4018/978-1-60566-114-8

Thierry, M., Salomon, M., Nunen, J. Van, & Wassenhove, L. Van. (1995). Strategic issues in product recovery management. *Long Range Planning*, 37(2), 120. doi:10.1016/0024-6301(95)91628-8

Torre-marín, G. C., Elizabeth, D., & Cervantes, T. (2012). La ecología industrial en México : logros, retos y perspectivas, 313–329.

Tsoufas, G. T., & Pappis, C. P. (2006). Environmental principles applicable to supply chains design and operation. *Journal of Cleaner Production*, 14(18), 1593–1602. doi:10.1016/j.jclepro.2005.05.021

Tukker, A., Emmert, S., Charter, M., Vezzoli, C., Sto, E., Munch Andersen, M., ... Lahlou, S. (2008). Fostering change to sustainable consumption and production: an evidence based view. *Journal of Cleaner Production*, 16, 1218–1225. doi:10.1016/j.jclepro.2007.08.015

Tukker, A., & Jansen, B. (2006). Environmental Impacts of A Detailed Review of Studies. *Built Environment*, 10(3).

Turner, G., LeMay, S. A., & Mitchell, M. A. (1994). Solving the reverse logistics problem: Applying the symbiotic logistics concept. *Journal of Marketing Theory and Practice*, 2, 15–27. Retrieved from <http://proquest.umi.com/pqdweb?did=882149&Fmt=7&clientId=46002&RQT=309&VName=PQD>

Ubeda, S., Arcelus, F. J., & Faulin, J. (2011). Green logistics at Eroski: A case study. *International Journal of Production Economics*, 131(1), 44–51. doi:10.1016/j.ijpe.2010.04.041

Waage, S. A. (2007). Re-considering product design: a practical “road-map” for integration of sustainability issues. *Journal of Cleaner Production*, 15(7), 638–649. doi:10.1016/j.jclepro.2005.11.026

Wells, P. E., & Seitz, M. (2005). Business models and closed-loop supply chains: a typology. *Supply Chain Management: An International Journal*. doi:10.1108/13598540510612712

Westkamper, E., Alting, L. & Arndt, G. (2000). Life Cycle Management and Assessment: Approaches and visions towards sustainable manufacturing. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 49, 501–522. Retrieved from <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-0034512395&partnerID=40&md5=f1dfcacb6cdd0a1de58593fa64c6402f>

Zacarías Farah, A., & Solis, M. (2009). Preguntas Frecuentes El Proceso de Marrakech. Programa de Las Naciones Unidas Para El Medio Ambiente, 23. Retrieved from www.unep.fr/scp/marrakech

Sistema de información en el proceso de logística inversa, revisión de literatura

Verónica Cordero Balind¹, Vianey Torres Argüelles¹, Andrés Hernández Gómez¹, Gabriel Ibarra Mejía¹

¹Universidad Autónoma de Ciudad Juárez

Resumen

El objetivo de este artículo es identificar las características claves que debe de contener un sistema de información de logística inversa partiendo del análisis de un sistema de información de logística normal. Para lo cual se realizó una amplia revisión de literatura de conceptos tales como desarrollo sustentable, cadena de suministro, logística, logística inversa, sistemas de información, flujos de información y flujos de información de la logística inversa. Con este análisis se observó que los objetivos de procesos como la logística inversa y la ecología industrial están encaminados hacia la sustentabilidad; por otro lado, se identificaron las diferencias entre los procesos de logística y logística inversa, las cuales se basan principalmente en el enfoque al medio ambiente, el manejo de inventarios, la amplia variedad de actividades que se desencadenan de un mismo producto, así como la incertidumbre de demanda, calidad y costo. Basado en estas diferencias y el análisis de los fundamentos de un sistema de información se logró concluir que ambos procesos tienen elementos en común como son el aprovisionamiento, producción, finanzas y ventas, por otro lado se determinó qué elementos como el análisis de ciclo de vida, porcentaje de recolección, características del proceso de manufactura original del producto, son necesarios de integrar a un sistema de información de logística inversa.

Palabras clave: Logística, logística inversa, flujo de información, sistemas de información.

Introducción

La industria de la manufactura juega un rol indispensable en la economía global, no solamente en la generación de productos y servicios, sino que además tiene una gran influencia en la generación de empleos, esto muestra su importancia tanto a nivel local como global; sin embargo tanto el desarrollo social como el económico deben situarse en el contexto ambiental ya que tienen una gran influencia en el consumo excesivo de recursos y la contaminación y por ende un alto impacto ambiental (Glasson, Therivel & Chadwick, 2012). Es por eso que es necesario transitar hacia la

adopción de procesos que promuevan la producción limpia, lo que conllevaría al desarrollo sustentable.

En los procesos de producción, la logística tiene un alto impacto en el medio ambiente; siendo la Logística Inversa (LI), verde o sustentable, un proceso que permite reducir ese impacto, definida como la producción y distribución de bienes de una manera sostenible, teniendo en cuenta los factores ambientales y sociales (Sbihi & Eglese, 2007). La logística verde o sustentable en general se considera como un ciclo cerrado o proceso continuo donde las

industrias se responsabilizan no solo de la generación y distribución de nuevos productos, sino también del manejo de los productos al finalizar su vida útil, es decir, la recolección, reutilización y disposición final; lo cual ofrece una ventaja competitiva ambiental en el ciclo de producción; sin embargo, en este proceso como en todo el proceso de producción, la información y su manejo resultan un factor clave para su funcionamiento óptimo; por lo que es necesario controlar el flujo de información para garantizar un proceso eficiente.

El concepto de información incluye a su vez los conceptos de datos y conocimiento, que de acuerdo con Case (2012), es un proceso en el que tanto los datos como el conocimiento fluyen e incluye personas y recursos, con el objetivo de obtener datos más elaborados y precisos, que serán distribuidos para un fin específico, a lo cual se le conoce como flujo de información (Arbones Malisani, 1999). El flujo de información forma parte de un sistema que debe estar diseñado, planeado y controlado con el fin de tener la información requerida en el momento adecuado, es decir, debe ser un sistema que permita recolectar, adaptar, almacenar, transmitir de manera rápida y confiable la información (Lambert, 2008)

Hasta la fecha en diversos procesos en la industria de la manufactura se han implantado sistemas de información que generan una ventaja competitiva (Tenhiälä & Helkiö, 2014; Wang, Liu, Ding, Gao, & Ji, 2013; Zhang et al., 2014). Sin embargo, en el proceso de LI no se ha identificado un diseño de sistema de información eficiente, que tenga la capacidad de predecir la demanda del producto, la capacidad de identificar las características claves de los productos y determinar las actividades requeridas para el producto (reparación, refabricado o reciclado) o bien la recuperación de materiales de scrap que tengan funcionalidad, así como tener la capacidad de rastrear los productos que permita determinar del costo total del producto reciclado; todo esto con el fin de tener un control adecuado de la información. A pesar que no existe un sistema de información específico para un proceso de logística inversa, se puede partir de los factores que conforman los sistemas de información para un proceso de logística y determinar los factores que pueden tener efecto sobre la logística inversa. Por lo tanto, el objetivo de este artículo es identificar en la literatura los factores de mayor influencia en un sistema de información en el proceso de logística que puedan ser aplicados en el proceso de LI.

Revisión de Literatura

El éxito de una empresa con actividades de LI está basado entre otros factores en el sistema de información que debe ser diseñado, planeado y controlado de forma eficiente. Para esto, es importante considerar los conceptos claves que se interrelacionan con la logística inversa, entre los que destacan el flujo de información y los sistemas de información. En este trabajo se realizó una revisión de literatura a partir de diversas bases de datos

como Elsevier, Emerald, IEEE, JSTOR, Springer y Wiley, entre otras, y se tomaron definiciones de diversos libros; partiendo de las palabras claves relacionadas con el tema de interés: Cadena de suministros; Logística; LI; Sistemas de información; Flujos de información; y Flujos de la información de LI; en la Tabla 1 se muestran los trabajos que reportan resultados relacionados con los conceptos de interés para esta investigación.

Tabla 1. Conceptos relacionados al proceso de logística inversa.

| Conceptos | Referencias |
|-----------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Cadena de Suministro | Ballou (2004); Mishra, Kumar, & Chan (2012); Nuss, Sahamie, & Stindt (2014); Samuel, Goury, Gunasekaran & Spalanzani (2011); Cervantes Torre-marín, Sosa Granados, Rodríguez Herrera, & Robles Martínez (2009); Lule Chable & Torre-Marín (2010); Qrunfleh & Tarafdar (2014). |
| Logística | Ballou (2004); Diaz, Alvarez, & Gonzalez (2004); Somuyiwa & Adewoye (2010); Arbones Malisani (1999). |
| Logística Inversa (LI) | Amini, Retzlaff-Roberts, & Bienstock (2005); Ayvaz & Bolat (2014); Bouras & Tadj (2015); Cure Vellojín, Meza González, & Amaya Mier (2006); Dowlatshahi (2000); Kaynak, Koçoğlu, & Akgün (2014); Kokkinaki, Dekker, & Koster (2001); Krumwiede & Sheu (2002); Özşahin, Zehir, Akdoğan, & Coşkun (2012); Pishvae, Kianfar, & Karimi (2010); Raci & Shankar (2005); Rogers & Tibben-lembeke (2001); Rubio Lacoba & Bañegil Palacios (2000); Pokharel & Mutha (2009); García-Rodríguez, Castilla-Gutiérrez, & Bustos-Flores (2013); Diaz et al. (2004). |
| Sistemas de información (SI) | Arbones Malisani (1999); Audy, Lehoux, D'Amours, & Rönnqvist (2012); Bajdor & Grabara (2014); Beynon-Davies (2009); Biehl, Prater, & Realf (2007); Case (2012); Diaz et al. (2004); Duflou et al. (2012); Giannetti, Bonilla, & Almeida (2013); Kaynak et al. (2014); Ketikidis, Koh, Dimitriadis, Gunasekaran, & Kehajova (2008); Kott (2013); Krumwiede & Sheu (2002); Lambert (2008); Ngai, Lai, & Cheng (2008); Nowakowska-grunt (2006); Pishvae et al. (2010); Richey, Chen, Genchev, & Daugherty (2005); Samuel, Goury, Gunasekaran, & Spalanzani (2011); Somuyiwa & Adewoye (2010); Vieites & Suarez (2006). Qrunfleh & Tarafdar (2014) |
| Flujos de información (FI) | Ballou (2004); Ghiani, Laporte, & Musmanno (2004); Kaynak et al. (2014); Ketikidis et al. (2008); Krumwiede & Sheu (2002); Ngai et al. (2008); Raci & Shankar (2005); Vieites & Suarez (2005). |
| Flujos de la información de logística inversa | Ye & Zhenhua (2014); Tibben-lembeke & Rogers (1998); Tenhiälä & Helkiö (2014); Wang et al. (2013); Zhang et al. (2014). |

De acuerdo con los diversos autores consultados la Cadena de Suministros es el proceso principal de los sistemas de producción y abarca todas las actividades relacionadas con el flujo y transformación de bienes, desde la etapa de materia prima (extracción) hasta el usuario final, así como los flujos de información relacionados (Mishra et al., 2012; Nuss et al., 2014; Samuel et al., 2011; Cervantes Torre-marín et al., 2009; Lule Chable & Torre-Marín, 2010; Qrunfleh & Tarafdar (2014). En este proceso, la información fluye en sentido ascendente y descendente (Ballou, 2004); lo que implica que para tener un manejo exitoso de la cadena de suministros es necesario una adecuada medición y monitoreo de la información durante todo el proceso, lo que permite identificar los factores críticos (Qrunfleh & Tarafdar, 2014). Por lo que el correcto manejo de la cadena de suministros tiene efectos positivos en el uso eficiente de los recursos (Samuel et al., 2011).

Es bien sabido que el proceso de transformación de bienes se basa en el consumo de recursos naturales y genera residuos que tienen un efecto negativo en el ambiente; efecto que se disminuye al aplicar la Cadena de Suministros Inversa, la que se define como el conjunto de actividades y participantes necesarios para la recolección de productos utilizados y de valores residuales así como la recreación y redistribución de un producto que puede venderse nuevamente a través de un nuevo proceso (Nuss et al., 2014). De este concepto surgen dos conceptos que

promueven el adecuado manejo y reuso de los recursos; estos conceptos son la simbiosis y el metabolismo industrial. Que se definen como el flujo de residuos de una industria que son incorporados como materia prima a otra industria (Lule Chable & Torre-Marín, 2010), mientras que el metabolismo industrial es conocido como la transformación y posterior disposición de residuos a través del uso de sistemas industriales (Cervantes Torre-Marín et al., 2009).

Asimismo, en los procesos de producción se llevan a cabo actividades logísticas. La Logística. es un término ampliamente empleado para describir el transporte, almacenamiento y manejo de productos así como el traslado de los recursos materiales hacia el sistema de producción y posteriormente al destino final que es el punto de consumo (McKinnon, 2015), y es una parte del proceso de la cadena de suministros, responsable de planear, llevar a cabo y controlar el flujo y almacenamiento eficiente y efectivo de bienes y servicios; por lo tanto debe controlar también la información relacionada, desde el punto de origen hasta el punto de consumo, con el fin de satisfacer los requerimientos de los clientes (Ballou, 2004).

Desde luego, durante las actividades logísticas se generan residuos que impactan el medio ambiente y disminuyen la capacidad de ser una industria limpia.

Por su parte la LI es el proceso de planeación, desarrollo, implementación y el control eficiente del flujo de materiales, productos e información desde el lugar de origen hasta el del consumo, de forma que se satisfagan las necesidades de los consumidores, al mismo tiempo que se planea y controla la recuperación del residuo, transformándolo de forma que sea posible su reintroducción a la cadena de suministros, obteniendo un valor agregado o la eliminación total y adecuada del producto (Cure Vellojín et al., 2006). En el pasado este concepto se consideraba solo como el proceso de reciclar productos o como el movimiento de productos del cliente hacia el proveedor. Sin embargo, en los últimos años se han introducido procesos de reutilización, reprocesamiento o retrabajo de los materiales y componentes, lo que hace que este proceso sea un ciclo cerrado, para el que el manejo del flujo de información así como el sistema de información cobran mayor importancia; debido principalmente a que dicho sistema debe controlar desde la adquisición de material hacia el consumidor final, seguido de la recuperación de materiales, componentes y residuos hasta su reuso y disposición final. Por lo tanto, los sistemas de información deben ser flexibles y robustos.

Por definición los Sistemas de Información están conformados por datos, que pueden ser adquiridos, preservados, transferidos y procesados (Somuyiwa & Adewoye, 2010), a través de equipo técnico, programas computacionales, infraestructura y recurso humano, con el objetivo de planear, controlar, coordinar, y tomar

decisiones (Arbones Malisani, 1999). Cabe señalar que un sistema de información óptimo cuenta con tres características básicas que son la capacidad de apoyo, que implica la obtención de información relevante, actualizada, ajustable a los distintos cambios, y de rápida respuesta; compatibilidad con otros sistemas, partiendo de la definición de sistema, que de acuerdo con Spedeng (1979), Citado por la Wadsworth (1997) es: “un grupo de componentes que pueden funcionar recíprocamente para lograr un propósito común, siendo capaces de reaccionar de forma conjunta al ser estimulados por influencias externas”; además, de acuerdo con Amaral y Otino (2004) los sistemas se describen por un gran número de características o atributos que interactúan entre sí y con el medio; estos conceptos refieren que un sistema está en constante interacción con otros sistemas, formando bucles, lo que resulta en la necesidad de conocer y controlar la información de todos los sistemas relacionados con el sistema de interés. Por lo que además un sistema de información debe contar con tecnología de última generación que le permita medir y controlar el las características y el flujo de información (Diaz et al., 2004). Esto con el fin de manejar y monitorear la información de tal manera que su conocimiento permita tomar decisiones en el momento adecuado.

Por otra parte, un sistema logístico está formado por tres etapas: el proceso de la orden, administración del inventario y flete (Ghiani et al., 2004); mientras que un Sistema de Información Logístico (LIS), tiene como propósito principal reunir, retener y manipular datos dentro de una

empresa para la toma de decisiones, considerando información tanto interna como externa a la empresa (Ballou, 2004); cada una de estos objetivos impacta a las tres etapas de los sistemas logísticos. Cabe señalar que la primera etapa del sistema logístico; es decir, el proceso de la orden, requiere del 70% del tiempo del ciclo del pedido; además que genera una proporción importante del flujo de información dentro del sistema, el cual incluye a su vez tres operaciones: 1) orden de compra, la cual es transmitida y revisada por el proveedor, considerando los requerimientos y el estado crediticio; 2) empaque y 3) envío; lo que muestra que en este proceso el control de la información es esencial para el adecuado funcionamiento de todo el sistema.

Partiendo de la definición de sistemas y de acuerdo con Ye & Zhenhua

(2014), los Flujos de la Información de LI deben considerar el proceso de planeación, implementación y control eficiente y efectivo del flujo y almacenamiento de productos secundarios y su información relacionada. Basado en lo anterior se destaca que el flujo de la información en las actividades de la logística inversa considera tres puntos importantes: la planeación de la distribución, el control de inventarios y la planeación de producción (Ye & Zhenhua, 2014). Por lo tanto, este tipo de sistemas deben ser flexibles y robustos, con la capacidad de adaptarse a las variaciones de la información y de su flujo. Cabe señalar que además debe incluir dentro de su proceso la medición de la tasa de retorno, las tasas de recuperación y las vueltas de inventario de un producto inverso (Tibben-lembeke & Rogers, 1998).

Resultados

En la literatura revisada se observó que en los últimos años los distintos autores han planteado que las actividades de la LI, al ser un ciclo cerrado, tiene un mayor número de variables, por lo cual requiere de un sistema de información más amplio, robusto y flexible. Basado en Gupta (2013), en la Tabla 2 se comparan las características de las actividades de la logística y la logística inversa y se identifican y señalan las diferencias que existen entre estos dos procesos; las características de la logística

inversa han sido estudiadas en diferentes estudios que se reportan en dicha tabla.

Diferencia entre la logística y logística Inversa

Con base al análisis de ambos procesos, se han identificado actividades de la logística que han sido modificadas y adecuadas al proceso de LI como es el caso del pronóstico de la demanda, distribución, estructura del producto, manejo de inventarios, entre otros (Gupta, 2013).

Tabla 2. Diferencias entre logística y logística inversa

| Logística | Logística Inversa |
|-------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Basado en ganancias y optimización de costos. | Basado en principios y leyes ambientales, ganancias y optimización de costos (Ye, Zhao, Prahinski, & Li, 2013). |
| Fácil pronóstico de demanda. | Incertidumbre en el pronóstico de demanda para productos de flujo inverso (Nuss et al., 2014). |
| Menos variación en la calidad del producto. | Alta mezcla de variables en la calidad del producto (Bouras & Tadj, 2015; Nikolaidis, 2013). |
| Uso de técnicas tradicionales de mercadotecnia. | Factores que complican el uso de la mercadotecnia de un producto reutilizado (Rubio & Jiménez-Parra, 2014). |
| Pasos y tiempos de procesos bien definidos. | Pasos y tiempos dependen de la condición del producto reciclado. |
| Los productos son transportados de una localidad a muchas ubicaciones. | Los productos regresados son recolectados de muchas localidades para ser procesados en una localidad (Kaynak et al., 2014; Pishvaei et al., 2010). |
| La velocidad es una ventaja competitiva. | La velocidad no es un factor clave. |
| Estructura estandarizada del producto. | Estructura modificada del producto (Tiwari, Israr, & Gangele, 2014). |
| Es fácil estimar el costo del producto debido a los sistemas de contabilidad. | Es complicado determinar y visualizar el costo (Pokharel & Mutha, 2009). |
| Las alternativas de disposición del producto son claras. | La disposición del producto regresado depende de la condición del mismo (Özşahin et al., 2012). |
| Manejo de inventario consistente. | Variabilidad en el manejo de inventario (Rodrigues, Ramos, Isabel, & Barbosa-póvoa, 2014). |
| Implicaciones financieras claras. | Implicaciones financieras imprecisas. |
| Fácil manejo de los cambios del ciclo de vida de un producto. | Es más complicado el ajuste a los cambios del ciclo de vida de un producto. |
| Son de mayor importancia los fabricantes. | Son de mayor importancia los productores de productos de fin de ciclo del producto (re fabricantes, recicladores). |
| Es un modelo determinístico. | Es un modelo estocástico (Ayvaz & Bolat, 2014). |

Tabla 3. Características de Módulos de sistema de información.

| Modulo | Características | Interconexión |
|---------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| Aprovisionamiento | Comprende la base de datos de materiales que registra código, descripción, peso, dimensiones, calidad, cantidad en stock. La base de datos de proveedores nombre, contacto, datos fiscales, precios, condiciones de pago y de entrega. | Compras Finanzas-Facturas |
| Producción | Planifica los materiales y capacidades de recursos, lanzando órdenes de fabricación (contra stock o contra pedido). Almacena los productos terminados y quedan a disposición de ventas. | Aprovisionamiento. Subcontrataciones Ventas |
| Ventas | Es la relación de la empresa con el cliente dando soporte a actividades de preventa (contacto, presupuestos), post venta (factura, devoluciones), así como configuración de pedidos, distribución, preparación de entregas, expedición, transporte. | Almacén. Producción. Finanzas. |
| Finanzas | Se encarga de la contabilidad de la empresa y su gestión financiera. | Todos los departamentos |
| Recursos humanos | Estructuras organizativas, planeación de necesidades de personal, evaluación y selección de personal, control de presencia, soporte de nóminas. | |
| Gestión de mantenimiento | Control de la maquinaria, transporte y repuestos, así como el mantenimiento preventivo, correctivo y reparaciones de las mismas. | Compras Producción. |
| CRM, Customer relationship management | Es ofrecer información de procesos de preventa, segmentación de clientes, gestión de servicios postventa. | |
| Portal Web | Es con el fin de desarrollar el comercio electrónico que requiere de una interfaz personalizada. | Aprovisionamiento Producción, Compras, Finanzas |
| Gestión documental | Son todos aquellos documentos que no son parte del sistema, pero son de gran importancia para la empresa, es necesario tenerlos dentro del sistema, ejemplo digitalización de facturas recibidas. | Todos los departamentos |
| Generación de informes | El sistema debe de permitir exportar la información para su tratamiento, lo cual ofrece flexibilidad para el manejo de información. | Todos los departamentos |
| Movilidad | Funciones que son permitidos realizar desde teléfonos móviles, tabletas. La movilidad cuenta con tres modalidades como son: - Off-line el cual opera sin conexión al sistema - On-line Requiere de una conexión en tiempo real con la empresa. - Mixto realiza algunas opciones off-line y otras on-line. | |
| BPM, Business Process Management | Permite el diseño de procesos para su ejecución y control. En donde la empresa puede automatizar los flujos de trabajo, esto tiene como resultado la reducción de errores y mejoras en la eficiencia. | Todos los departamentos |

La diferencia entre la Logística y LI parte de los objetivos de cada una, además que la logística inversa considera en su proceso la optimización y costos, se enfoca también en el beneficio al medio ambiente. Aunado a esto, en la LI se tiene un despliegue de actividades secundarias donde cada una de ellas se ramifican en

actividades específicas (ver Figura 1); mientras que el proceso de logística, avanza en una sola dirección con cuatro etapas que inicia con los proveedores, seguido de la manufactura de productos, el empaque hasta llegar al cliente. Las actividades secundarias de la LI están dirigidas a disminuir el impacto que el proceso de producción tiene

en el ambiente, por lo que considera el reciclaje, la restauración, renovación y reparación. En el caso de la LI, las actividades secundarias generan un incremento de variables en las distintas áreas involucradas como la de finanzas,

materiales, mercadotecnia, planeación y que tienen un impacto en los costos, la demanda, manejo de inventario, mercadotecnia y flujo de información, entre otros.



Figura 1. Flujo de un producto en un proceso de logística inversa.

Sistema de Información

De acuerdo con la literatura revisada un sistema permite integrar la información de los distintos departamentos de la empresa y el soporte de las actividades de los proveedores y distribuidores (Tabla 3). Estos sistemas deben estar integrados por un software que está compuesto con distintos módulos funcionales basándose en una base de datos centralizada (Arbones Malisani, 1999; Vieites & Suarez, 2005). En la Tabla 3 se reportan las características de los distintos módulos y la conexión entre los módulos y la información que contienen.

Como ya se mencionó para el control adecuado de los sistemas de información, se requiere de herramientas de información tecnológica como el EDI (Electronic Data Interchange), internet, intranet, código de barras, correo electrónico, transferencias electrónicas, entre otros (Ngai et al., 2008). Dado el rápido flujo e incremento de la información en los distintos sistemas, se han generado nuevas herramientas tecnológicas que brindan mayor robustez a los sistemas como son la Identificación de Radio Frecuencia (RFID), Posición Global Satelital (GPS), *wireless* y tecnología móvil cuyo objetivo es mejorar el orden y la rastreabilidad de

partes y productos, y con esto reducir los problemas de incertidumbre (Ketikidis et al., 2008), los cuales tienen impacto en la recolección de materiales después del fin de la vida útil de un producto, para el reuso, reutilización y reciclaje de materiales o bien para su disposición final.

Sistemas de información de logística inversa

Un sistema de información de logística inversa debe de ser al mismo tiempo flexible y robusto; y de acuerdo con

Ye & Zhenhua (2014) estos sistemas contienen los módulos de selección de proveedores, análisis de ciclo de vida de producción, calidad del producto, porcentaje de recolección, entre otros. Para el manejo y control de dichos módulos los sistemas de información de logística inversa requieren herramientas de información tecnológica como el internet, intranet, código de barras, EDI, con el fin de facilitar el acceso a la información, particularmente la relacionada con la razón de retorno, las características y el proceso del producto (Tibben-lemcke & Rogers, 1998).

Conclusiones

La globalización ha incrementado la necesidad del control de los sistemas logísticos en las empresas, no sólo como almacén y transporte si no como el conjunto de actividades de planeación, control, producción, servicio, distribución, que se interrelacionan entre sus departamentos. Es por esto que la información es considerada un recurso en cualquier sistema; sin embargo la complejidad de su manejo aumenta con la cantidad de variables de cada sistema; por lo tanto, el manejo y control del flujo de la información es la clave para la eficiencia.

La Logística y la LI son procesos cuyas características requieren de un sistema de control del flujo de información. Además, la LI contiene el enfoque al medio ambiente, lo que agrega una gran cantidad de variables en el proceso, además de la incertidumbre de la demanda, calidad, el costo y tiempo de entrega, así como la

variabilidad en el manejo de inventarios; lo que hace más complejo su manejo. Por lo que se requiere la identificación de cada una de las características y diferencias que existen entre estos dos procesos. Para el diseño y aplicación adecuado de sistemas de información para cada proceso.

A pesar los sistemas de información de la Logística y LI que tienen elementos en común como el aprovisionamiento, producción, finanzas y ventas y que ambos procesos pueden utilizar herramientas tecnológicas como el internet, intranet, código de barras y EDI; de acuerdo con la literatura algunas de las características que hacen diferentes a estos sistemas son los módulos que los sistemas de información de LI deben incluir, donde se puedan medir el análisis de ciclo de vida, un análisis de porcentaje de recolección, imagen y características del proceso de manufactura original de cada producto y las distintas

variables derivadas del tipo de proceso que requiere cada producto (reparación, restauración, reciclaje, canibalismo). Asimismo, el módulo de ventas debe de considerar el mercado hacia el que será distribuido el producto (redistribución, reutilización, venta de mercados secundarios, entre otros) según el proceso del que egrese.

Aunado a esto, se puede concluir que un sistema de información ofrece los

mismos beneficios para ambos procesos de logística, algunos de ellos son mejor calidad de información, mayor cantidad de información, flexibilidad, reducción de tiempo de entrega, ahorros, predicción de demanda, mejor planeación de recursos, mayor eficiencia operacional, reducción de nivel de inventarios, cotizaciones reales, mayor coordinación entre departamentos, proveedores y clientes.

Referencias

Amaral, L. y Ottino, J. (2004). Complex networks, augmenting the framework for the study of complex systems. *Eur. Phys. J. B*, 38:147–162.

Amini, M. M., Retzlaff-Roberts, D., & Bienstock, C. C. (2005). Designing a reverse logistics operation for short cycle time repair services. *International Journal of Production Economics*, 96(3), 367–380. doi:10.1016/j.ijpe.2004.05.010

Arbones Malisani, E. A. (1999). *Logística Empresarial*. Alfaomega grupo editor, Mexico.

Audy, J. F., Lehoux, N., D'Amours, S., & Rönnqvist, M. (2012). A framework for an efficient implementation of logistics collaborations. *International Transactions in Operational Research*, 19(5), 633–657. doi:10.1111/j.1475-3995.2010.00799.x

Ayvaz, B., & Bolat, B. (2014). Proposal of a Stochastic Programming Model for Reverse Logistics Network Design under Uncertainties, 3(3), 33–42.

Bajdor, P., & Grabara, I. (2014). The Role of Information System Flows in Fulfilling Customers' Individual Orders, 7(2), 96–106.

Ballou, R. H. (2004). *Logística. Administración de la cadena de suministro*. (Quinta edición). Mexico: Pearson Educacion.

Beynon-Davies, P. (2009). The “language” of informatics: The nature of information systems. *International Journal of Information Management*, 29(2), 92–103.

Biehl, M., Prater, E., & Realff, M. J. (2007). Assessing performance and uncertainty in developing carpet reverse logistics systems. *Computers and Operations Research*, 34, 443–463. doi:10.1016/j.cor.2005.03.008

Bouras, A., & Tadj, L. (2015). Production planning in a three-stock reverse-logistics system with deteriorating items under a continuous review policy. *Journal of Industrial and Management Optimization*, 11(4), 1041–1058. doi:10.3934/jimo.2015.11.1041

Case, D. O. (2012). *Looking for information* (Third Edit). Reino Unido: Emerald.

Cervantes Torre-marín, G., Sosa Granados, G., Rodríguez Herrera, R., & Robles Martínez, G. (2009). Ecología industrial y desarrollo sustentable Industrial. *Ingeniería*, 13, 63–70.

Cure Vellojín, L., Meza González, J. C., & Amaya Mier, R. (2006). Logística inversa: una herramienta de apoyo a la competitividad de las organizaciones. *Ingeniería Y Desarrollo: Revista de La División de Ingeniería de La Universidad Del Norte*, 184–202. Retrieved from

<http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2506560&info=resumen&idioma=ENG>

Diaz, A., Alvarez, M. J., & Gonzalez, P. (2004). *Logística Inversa y Medio Ambiente* (1a Edición). España: Mc Graw Hill.

Dowlatshahi, S. (2000). Developing a theory of reverse logistics. *Interfaces*, 30(3), 143–155. doi:10.1287/inte.30.3.143.11670

Dufrou, J. R., Sutherland, J. W., Dornfeld, D., Herrmann, C., Jeswiet, J., Kara, S., ... Kellens, K. (2012). Towards energy and resource efficient manufacturing: A processes and systems approach. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 61(2), 587–609.

García-Rodríguez, F. J., Castilla-Gutiérrez, C., & Bustos-Flores, C. (2013). Implementation of reverse logistics as a sustainable tool for raw material purchasing in developing countries: The case of Venezuela. *International Journal of Production Economics*, 141, 582–592. doi:10.1016/j.ijpe.2012.09.015

Ghiani, G., Laporte, G., & Musmanno, R. (2004). *Introduction to Logistics Systems Planning and Control*. England: WILEY.

Giannetti, B. F., Bonilla, S. H., & Almeida, C. M. V. B. (2013). An emergy-based evaluation of a reverse logistics network for steel recycling. *Journal of Cleaner Production*, 46, 48–57. doi:10.1016/j.jclepro.2012.05.024

Glasson, J., Therivel, R. & Chadwick, A. (2012), *Introduction To Environmental Impact Assessment*, Nueva York. Taylor and Francis.

Gupta, S. (2013). *REVERSE SUPPLY CHAINS*, Issues and analysis. (S. Gupta, Ed.).

Kaynak, R., Koçoğlu, İ., & Akgün, A. E. (2014). The Role of Reverse Logistics in the Concept of Logistics Centers. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 109, 438–442. doi:10.1016/j.sbspro.2013.12.487

Ketikidis, P. H., Koh, S. C. L., Dimitriadis, N., Gunasekaran, a., & Kehajova, M. (2008). The

use of information systems for logistics and supply chain management in South East Europe: Current status and future direction. *Omega*, 36(4), 592–599. doi:10.1016/j.omega.2006.11.010

Kokkinaki, A., Dekker, R., & Koster, M. (2001). From e-trash to e-treasure: how value can be created by the new e-business models for reverse logistics, (D), 1–20. Retrieved from <http://repub.eur.nl/res/pub/1662/>

Kott, I. G. A. (2013). APPLICATION OF MODERN IT TECHNOLOGIES IN LOGISTICS ENTERPRISES IN POLAND. *Advanced Logistic Systems*, 7(1), 51–56.

Krumwiede, D. W., & Sheu, C. (2002). A model for reverse logistics entry by third-party providers. *Omega*, 30, 325–333. doi:10.1016/S0305-0483(02)00049-X

Lambert, D. M. (2008). *SUPPLY CHAIN MANAGEMENT: Process, Partnerships, Performance* (Third Edit). Jacksonville, Fl: Supply Chain Management Institute.

Lule Chable, D., & Torre-Marín, G. cervantes. (2010). Diagramas de flujo de sistemas industriales, una herramienta para la ecología industrial. El caso del corredor industrial de Altamira. *Concyteg. Gob. Mx*, 1–14. Retrieved from http://www.concyteg.gob.mx/formulario/MT/MT2010/MT9/SESSION1/MT91_DLULEC_129.pdf

McKinnon, A. (2015), *Environmental sustainability - A new priority for logistics managers*. Del libro *Green Lostics*, Eds. Alan McKinnon, Michael Browne, Anthony Whiteing, Maja Piecy. U.K. Kogan Page Limited.

Mishra, N., Kumar, V., & Chan, F. T. S. (2012). A multi-agent architecture for reverse logistics in a green supply chain. *International Journal of Production Research*, 50(9), 2396–2406. doi:10.1080/00207543.2011.581003

Ngai, E. W. T., Lai, K.-H., & Cheng, T. C. E. (2008). Logistics information systems: The Hong Kong experience. *International Journal of Production Economics*, 113(1), 223–234. doi:10.1016/j.ijpe.2007.05.018

Nikolaidis, Y. (2013). *Quality Management in Reverse Logistics*. (Y. Nikolaidis, Ed.). Springer-Verlag London.

Nowakowska-grunt, J. (2006). *SELECTED TOOLS OF INFORMATION FLOW MANAGEMENT*.

Nuss, C., Sahamie, R., & Stindt, D. (2014). The Reverse Supply Chain Planning Matrix : A Classification Scheme for Planning Problems in Reverse Logistics. doi:10.1111/ijmr.12046

Özşahin, M., Zehir, C., Akdoğan, M. Ş., & Coşkun, A. (2012). Drivers of Reverse Logistics Activities: An Empirical Investigation. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 58, 1640–1649. doi:10.1016/j.sbspro.2012.09.1130

Pishvaei, M. S., Kianfar, K., & Karimi, B. (2010). Reverse logistics network design using simulated annealing. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 47, 269–281. doi:10.1007/s00170-009-2194-5

Pokharel, S., & Mutha, A. (2009). Perspectives in reverse logistics: A review. *Resources, Conservation and Recycling*, 53, 175–182. doi:10.1016/j.resconrec.2008.11.006

Qrunfleh, S., & Tarafdar, M. (2014). Supply chain information systems strategy: Impacts on supply chain performance and firm performance. *International Journal of Production Economics*, 147(PART B), 340–350. doi:10.1016/j.ijpe.2012.09.018

Raci, V., & Shankar, R. (2005). Analysis of interactions among the barriers of reverse logistics. *Technological Forecasting and Social Change*, 72(April 2004), 1011–1029. doi:10.1016/j.techfore.2004.07.002

Richey, R. G., Chen, H., Genchev, S. E., & Daugherty, P. J. (2005). Developing effective reverse logistics programs. *Industrial Marketing Management*, 34, 830–840. doi:10.1016/j.indmarman.2005.01.003

Rodrigues, T., Ramos, P., Isabel, M., & Barbosa-póvoa, A. P. (2014). Planning a sustainable

reverse logistics system : Balancing costs with environmental and social concerns. *Omega*, 48, 60–74. doi:10.1016/j.omega.2013.11.006

Rogers, D. S., & Tibben-lemcke, R. (2001). an Examination Ofreverse Logistics Practices. *Journal of Business Logistics*, 22(2), 129–148.

Rubio Lacoba, S., & Bañegil Palacios, T. (2000). *Sistemas de logística inversa en la empresa*. Universidad de Extremadura, 31, 108 – 116.

Rubio, S., & Jiménez-Parra, B. (2014). Reverse Logistics: Overview and Challenges for Supply Chain Management. *International Journal of Engineering Business Management*, 1. doi:10.5772/58827

Samuel, K. E., Goury, M.-L., Gunasekaran, A., & Spalanzani, A. (2011). Knowledge management in supply chain: An empirical study from France. *The Journal of Strategic Information Systems*, 20(3), 283–306. doi:10.1016/j.jsis.2010.11.001

Sbihi Abdelkader & Richard W. Eglese (2007). Combinatorial optimization and Green Logistics. *4OR*, 5(2), 99-116 DOI 10.1007/s10288-007-0047-3

Somuyiwa, a O., & Adewoye, J. O. (2010). Managing Logistics Information System: Theoretical Underpinning. *Journal of Business Management*, 2(2), 41–47.

Tenhiälä, A., & Helkiö, P. (2014). Performance effects of using an ERP system for manufacturing planning and control under dynamic market requirements. *Journal of Operations Management*. doi:10.1016/j.jom.2014.05.001

Tibben-lemcke, R., & Rogers, D. S. (1998). *Going Backwards : Reverse Logistics Trends and Practices*. Reverse Logistics Executive Council.

Tiwari, A., Israr, M., & Gangele, A. (2014). “ Utilization of Waste Material i n Pyrolysis Plant ,” *4(11)*, 388–392.

Vieites & Suarez. (2005). *Sistemas de Información. Herramientas prácticas para la gestión empresarial*. España. Ra-ma.

Wadsworth, J. (1997), *Análisis de sistemas de producción animal Tomo 1: Las bases conceptuales*, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación - FAO, Roma.

Wang, D. Q., Liu, C., Ding, J. H., Gao, T., & Ji, T. (2013). The Research and Development of Digital Factory Integrated Information System for Discrete Manufacturing Enterprise. *Applied Mechanics and Materials*, 385-386, 1831–1834.

Ye, F., Zhao, X., Prahinski, C., & Li, Y. (2013). The impact of institutional pressures, top managers' posture and reverse logistics on performance - Evidence from China. *International Journal of Production Economics*, 143(1), 132–143. doi:10.1016/j.ijpe.2012.12.021

Ye, & Zhenhua. (2014). Reverse logistics network : A literature review, 6(7), 1916–1921.

Zhang, L., Luo, Y., Tao, F., Li, B. H., Zhang, X., Guo, H., Liu, Y. (2014). Cloud manufacturing: a new manufacturing paradigm. *Enterprise Information Systems*, 8(2).

Reconocimiento de rasgos fenotípicos faciales mediante visión artificial utilizando análisis de componentes principales e histogramas descriptivos

Adrian Domínguez¹, Noé Alba Baena¹, Ricardo Vidal¹, Jesús Eduardo Aguilera González¹,
Cynthia Vanessa Esquivel Rivera¹

¹Universidad Autónoma de Ciudad Juárez.

Resumen

En esta investigación se presenta el desarrollo de un algoritmo de visión para reconocimiento de rasgos faciales utilizando la técnica de análisis de componentes principales, eigenfaces e histogramas descriptivos, como complemento. Esta investigación se desarrolla en 4 fases iniciando con la creación de una base de datos de entrenamiento, la cual es utilizada para comparar con la imagen capturada y realizar el reconocimiento, seguida de una etapa de cálculo de eigenfaces, que son lo que determina la similitud entre los rostros analizados para pasar a una fase de reconocimiento mediante distancias euclidianas que culmina en la asignación de histogramas descriptivos a cada sujeto en la base de datos, confirmando así la identidad del sujeto. El análisis se desarrolla en un ambiente de mediano control.

Palabras clave: Reconocimiento, histogramas descriptivos, eigenfaces, rasgos faciales.

Introducción

En la actualidad, los sistemas de visión por computador son utilizados en infinidad de aplicaciones, desde una estación de inspección de producto, hasta robustos sistemas de identificación para acceso a edificios. Es por esto, la importancia de la

investigación en el campo, en donde las técnicas han alcanzado un nivel de robustez aceptable pero que aún cuenta con oportunidades de mejora, enfocándose en el tratamiento de imágenes con el histograma que describe su distribución.

Metodología

Considerar características físicas

De las imágenes obtenidas en una base de datos para entrenamiento inicial, es requerido mostrar cuáles serán los rasgos

centrales en los que el algoritmo se centra. Estos rasgos son las directrices en la etapa de reconocimiento, donde un rostro habrá de ser enmarcado inicialmente para comenzar a obtener información del mismo que permita

realizar los comparativos. Principalmente, más que estandarizar las regiones de interés para el reconocimiento, se busca automatizar el proceso de selección de puntos clave, del universo de variaciones posibles para una imagen captada. Los tipos de variación que buscan enriquecer el reconocimiento son los siguientes:

- I. Vista frontal del rostro.
- II. Vista frontal, rostro girado a la izquierda a $\frac{3}{4}$ del total de la imagen.
- III. Vista frontal, rostro girado a la derecha a $\frac{3}{4}$ del total de la imagen.
- IV. Vista frontal, rostro elevado 45° .
- V. Vista frontal, rostro agachado 45° .
- VI. Vista frontal, rostro con expresión aleatoria (mueca, guiño, gesto, etc...).

Manipular y acondicionar las imágenes

En esta etapa, las características relevantes de la imagen son extraídas para su tratamiento. Esto con el objetivo de retirar todos aquellos factores que no son útiles para el reconocimiento y representan variables de ruido al sistema. Esto delimita el área de trabajo estableciendo las siguientes restricciones:

- I. Enmarcado completo de rostro.
- II. Captar características no relevantes del rostro pero si para la imagen (cabello, vello facial, etc...).
- III. Orejas (distancias, localización y altura).

- IV. Cuello (representando el final de la parte baja del rostro).

Es importante definir el tipo de archivos con los que un sistema ha de trabajar. Para esta investigación se definen las imágenes con las características siguientes:

- I. Tamaño de imagen: 90 x 112 pixeles.
- II. Tipo de archivos: Mapa de bits.
- III. Escala de grises (para asignación de histogramas).

Esto facilitará la interpretación, acondicionamiento y manipulación de las imágenes en el programa.

Generar y entrenar base de datos

Dado que las primeras aproximaciones de reconocimiento serán dadas por los valores de los eigenvectores, es primordial generar una base de datos con los sujetos a analizar. Para esto, se ha definido un tamaño de 10 imágenes por sujeto considerando inicialmente una población de 6 sujetos de estudio.

Cabe señalar, que para efectos de identificación, el algoritmo arroja siempre, como resultado del reconocimiento, la imagen número 5 asignada a cada sujeto, esto evita que el algoritmo cuente con un campo de 10 posibles respuestas positivas, sino una sola, la cual describe enteramente al sujeto. Además, permite al algoritmo reafirmar que, para un tamaño de muestra de 10, podrá asignar una sola imagen descriptiva, lo cual se robustece al momento de entrenamiento. Para obtener esto, es

necesario utilizar la siguiente función en

MatLab:

function T = CreateDatabase(TrainDatabasePath)

Esta función reacomoda todas las imágenes en formato 2D de la base de entrenamiento en la columna de vectores de tamaño 1D, para luego hacer uso de estos vectores en un renglón, construyendo así una matriz 2D T. Se deben cargar imagen por imagen para después realizar el reacomodo de las matrices en 2D, esto da la oportunidad de exponer las imágenes, las cuáles se deben almacenar en un enlace determinado en el disco, como se realiza a continuación: *TrainDatabasePath*.

Lo anterior, genera una matriz 2D, la cual contiene todos los vectores de imagen en 1D. Si se define *i*, como todas las imágenes de la base de datos las cuales tienen el mismo tamaño MxN, entonces el largo de la columna 1D es MN y T, se convierte en la matriz 2D definida: MNxi.

function [m,A,Eigenfaces] = EigenfaceCore(T).

Con esta función, resulta la matriz 2D con todos los vectores imagen y genera 3 datos de salida, los cuales se obtienen de la base de datos de entrenamiento. Para esta función, es necesario recordar:

- I. T; es una matriz 2D que contiene los vectores imagen 1D.
- II. m; es el cálculo de la media en la base de datos de T.

Calcular eigenfaces

El objetivo de la técnica de Análisis de Componentes Principales (PCA), es el de encontrar la base que mejor exprese la distribución de datos en las imágenes de las caras en el espacio completo, a lo cual Kirby y Sirovich llamaron espacio de las imágenes (Iborra, 2006). Para obtener los eigenfaces o eigenvectores, es necesario realizar el cálculo de la media de la base de datos, para luego realizar la fusión de imágenes centradas. Al realizar el cálculo de la matriz de covarianza de la fusión de las imágenes centradas, se obtienen los elementos de la diagonal de la matriz, siendo estos los eigenvectores. El cálculo se realiza con la siguiente función definida:

- III. A; es la matriz de vectores de imagen centradas. Esta es calculada mediante las diferencias de cada imagen en la base de datos, resultando en la fusión de imágenes centradas.

En este paso, la comparación de dos rostros se logra exponiendo una imagen en el espacio de rostros y calculando las distancias euclidianas correspondientes. Este último, como clasificados, el cual utiliza la distancia euclidiana para comparar la

similitud entre un vector de entrada y el conjunto de vectores prototipo. Tomando como valor base esa medición, es necesario determinar la clase a la cual el patrón de entrada es asignado. Para la realización del reconocimiento, son extraídas las características de PCA y mediante el cálculo

de distancias euclidianas se determina que la imagen a compararse debe cumplir con una mínima distancia con su imagen correspondiente en la base de datos de entrenamiento (Muge Carikci, 2012). Esto es realizado con la función:

function OutputName = Recognition(TestImage, m, A, Eigenfaces).

Esta función, toma las características del PCA para el cálculo de distancias euclidianas. Para realizar esta operación es necesario definir:

TestImage: Este es el enlace (o dirección) donde se encuentra la imagen capturada para el reconocimiento.

m: Es el cálculo de la media de la base de datos T.

A: Se trata de la matriz de vectores de imagen centrados, la cual se obtiene del cálculo de las diferencias de cada imagen en la base de datos, obteniendo así la fusión de imágenes centradas.

Eigenfaces: Estos son los eigenvectores de la matriz de covarianza, calculados a partir de los elementos de la diagonal de la misma matriz, en donde *m*, *A* y *eigenfaces* se obtienen de la fusión *EigenfaceCore*. De estas funciones se obtiene como salida:

OutputName: Función que muestra el nombre de la imagen reconocida de la base de datos de entrenamiento.

Los eigenfaces son vectores de datos a los que se les denomina eigenvectores y cada uno de ellos contiene valores escalares

llamados eigenvalores, los cuales se obtienen al multiplicar la matriz de imágenes centradas de la base de entrenamiento por su transpuesta, es decir, $A \times A^T$, obteniendo una matriz L. Cada celda del renglón de *euc-dist*, muestra las diferentes imágenes de la base de entrenamiento, donde *euc-dist* son todas las imágenes de la base de entrenamiento y *Euc-dist-min* es la imagen capturada que se ha reconocido.

Asociar histogramas descriptivos

Es necesario llevar al sistema a un nivel de confirmación de identidad óptimo, donde no solamente se realice la tarea de reconocimiento y mostrar el resultado al usuario, sino también, llevar al algoritmo a un sistema de inteligencia propio donde éste sea capaz de comprender si el resultado del reconocimiento es el correcto o si se cometió un error. Para esto, además de los métodos ya analizados, fue agregada una asociación entre imágenes y su histograma perteneciente para el conjunto de imágenes proyectadas en el espacio de caras. Con esto se define que una persona es descrita por un conjunto de datos y no solamente por sus rasgos o características físicas individuales. Para facilitar las actividades de captura,

prueba y validación, se ha estructurado una Interfaz Gráfica de usuario la cual ayuda a generar y mostrar los valores de entrada y salida. Mediante ella se realizan las operaciones de activación de cámara,

captura (cambio a escala de grises y recorte), entrenamiento, cargado de imagen para análisis, arranque de prueba y captura de datos para nuevos usuarios para Excel.

Resultados

Los métodos de confirmación de funcionamiento del sistema requieren un plan experimental el cual abarca los siguientes puntos:

- I. Pruebas sobre ambiente de mediano control (luz indirecta, fondo blanco, rostro con expresión natural y centrado en la imagen).
- II. Pruebas entre personas físicamente distintas (tez, tamaño de rostro, sexo).
- III. Pruebas aleatorias en un grupo de 3 personas para 30 imágenes.

- IV. Pruebas aleatorias para un grupo de 6 personas para 60 imágenes en total.

Estas pruebas exhiben las capacidades de las técnicas utilizadas para el desarrollo de la aplicación al incluir los principales factores de ruido como lo son el ambiente, la cantidad de personas, las características físicas entre distintos sexos, etc.. A continuación se presentan los resultados para cada una de estas pruebas.



Figura 1: Sujetos para prueba inicial del sistema.

En la figura 1, se muestran los sujetos de análisis para la primera de las pruebas realizadas mediante la interfaz desarrollada. Al inicializar la prueba los resultados son satisfactorios ya que en todos

los casos se logró el correcto reconocimiento de la persona como se muestra en los datos de la figura 2 para el sujeto número 1, además de las imágenes para análisis disponibles del mismo sujeto.

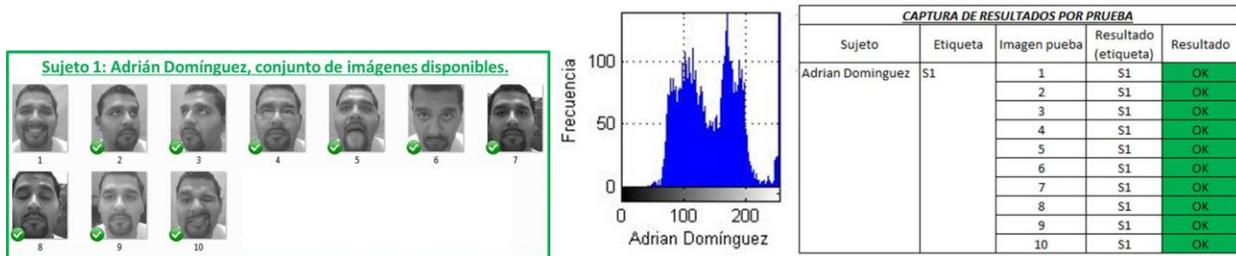


Figura 2: Capturas disponibles para sujeto 1, así como resultados obtenidos para la prueba inicial de validación.

El motivo para realizar pruebas sobre personas de distinto sexo es con el afán de enriquecer el entrenamiento ya que, debido a las marcadas diferencias entre hombres y mujeres, las características de enmarcado,

distanciamiento y tamaño de caracteres será muy variable. Los sujetos a analizar se muestran en la figura 3, mostrando las capturas disponibles para los mismos.

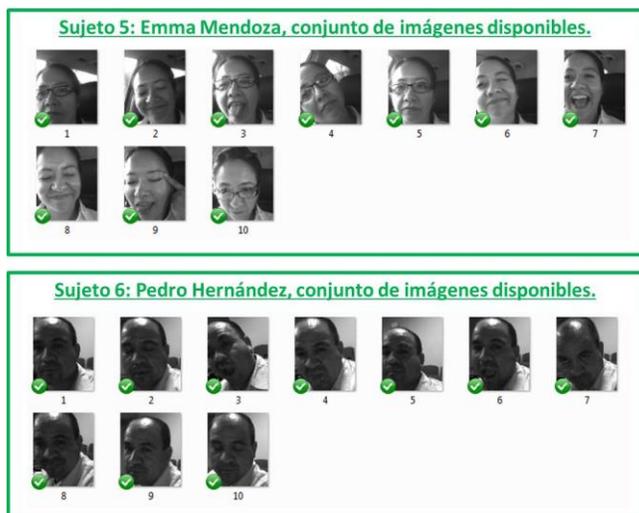


Figura 3: Rostros para análisis de sujetos 5 y 6.

Para ambos sujetos en todas las pruebas realizadas se han obtenido buenos resultados, además con esto, se agrega valor al entrenamiento debido a que limita la asignación de datos y valores a solo dos

posibles sujetos con 20 estimaciones para selección de un resultado por prueba. Los resultados obtenidos son mostrados en la figura 4:

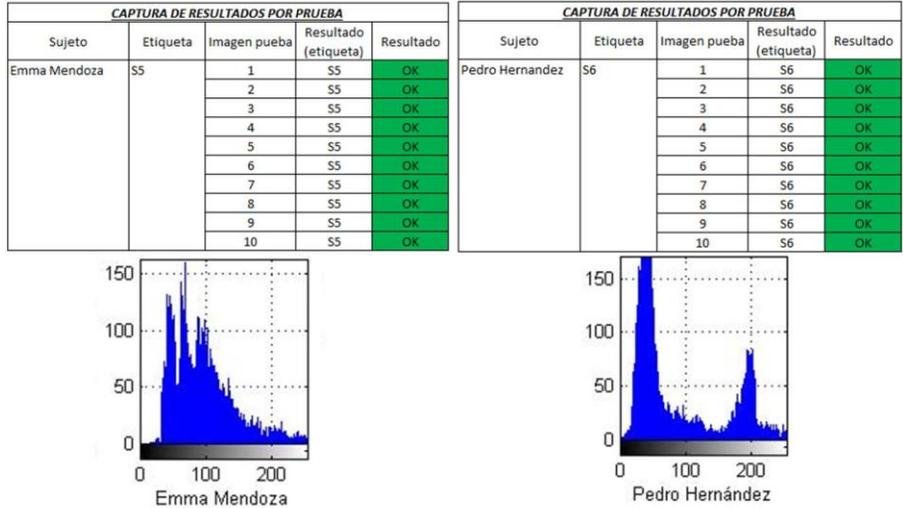


Figura 4: Resultados obtenidos para prueba de diferenciación entre sexos.

Para la siguiente prueba de validación son analizados tres sujetos distintos en ambientes aleatorios así como las expresiones que cada uno representa. En esta prueba los caracteres dominantes son

los del hombre con dos sujetos por un sujeto mujer únicamente. Las imágenes disponibles para esta prueba son las mostradas en la figura 5:

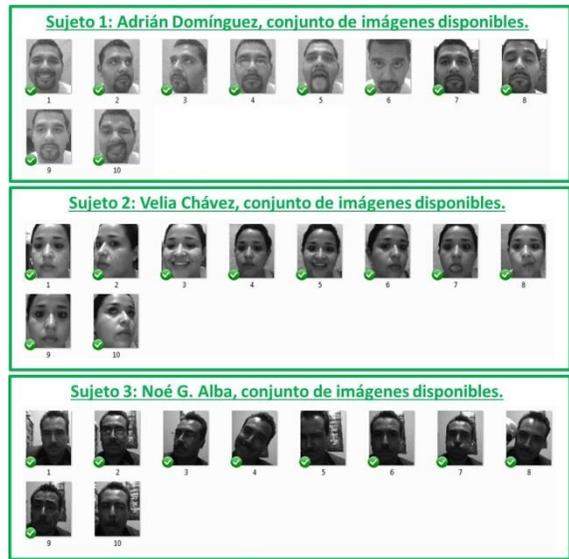


Figura 5: Imágenes analizadas para 3 sujetos con 10 capturas cada uno.

Este grupo de tres sujetos ha tenido resultados satisfactorios ya que en todas las imágenes a analizar se ha coincidido con la identidad de la persona, a pesar que, por ejemplo, en la imagen número 8 del sujeto 3

(Noé Alba), se incluyó la variación de un objeto adicional completamente pegado al rostro del sujeto. Aun así el algoritmo reconoció satisfactoriamente la identidad del

sujeto. Los resultados obtenidos se muestran

en la figura 6.

| CAPTURA DE RESULTADOS POR PRUEBA | | | | |
|----------------------------------|----------|--------------|----------------------|-----------|
| Sujeto | Etiqueta | Imagen pueba | Resultado (etiqueta) | Resultado |
| Adrian Dominguez | S1 | 1 | S1 | OK |
| | | 2 | S1 | OK |
| | | 3 | S1 | OK |
| | | 4 | S1 | OK |
| | | 5 | S1 | OK |
| | | 6 | S1 | OK |
| | | 7 | S1 | OK |
| | | 8 | S1 | OK |
| | | 9 | S1 | OK |
| | | 10 | S1 | OK |

| CAPTURA DE RESULTADOS POR PRUEBA | | | | |
|----------------------------------|----------|--------------|----------------------|-----------|
| Sujeto | Etiqueta | Imagen pueba | Resultado (etiqueta) | Resultado |
| Noe Alba | S3 | 1 | S3 | OK |
| | | 2 | S3 | OK |
| | | 3 | S3 | OK |
| | | 4 | S3 | OK |
| | | 5 | S3 | OK |
| | | 6 | S3 | OK |
| | | 7 | S3 | OK |
| | | 8 | S3 | OK |
| | | 9 | S3 | OK |
| | | 10 | S3 | OK |

| CAPTURA DE RESULTADOS POR PRUEBA | | | | |
|----------------------------------|----------|--------------|----------------------|-----------|
| Sujeto | Etiqueta | Imagen pueba | Resultado (etiqueta) | Resultado |
| Velia Chavez | S2 | 1 | S2 | OK |
| | | 2 | S2 | OK |
| | | 3 | S2 | OK |
| | | 4 | S2 | OK |
| | | 5 | S2 | OK |
| | | 6 | S2 | OK |
| | | 7 | S2 | OK |
| | | 8 | S2 | OK |
| | | 9 | S2 | OK |
| | | 10 | S2 | OK |

Figura 6: Resultados obtenidos para prueba con 3 sujetos distintos (2 hombres y 1 mujer).

Ahora con las pruebas realizadas, se abre el análisis para el total de 6 sujetos en la base de datos de entrenamiento con 10 imágenes para análisis de cada uno de ellos, lo cual es un total de 60 imágenes

disponibles. La figura 7 muestra cómo se inicializa la prueba desde la interfaz desarrollada, proceso que es realizado para cada una de las imágenes de cada sujeto.

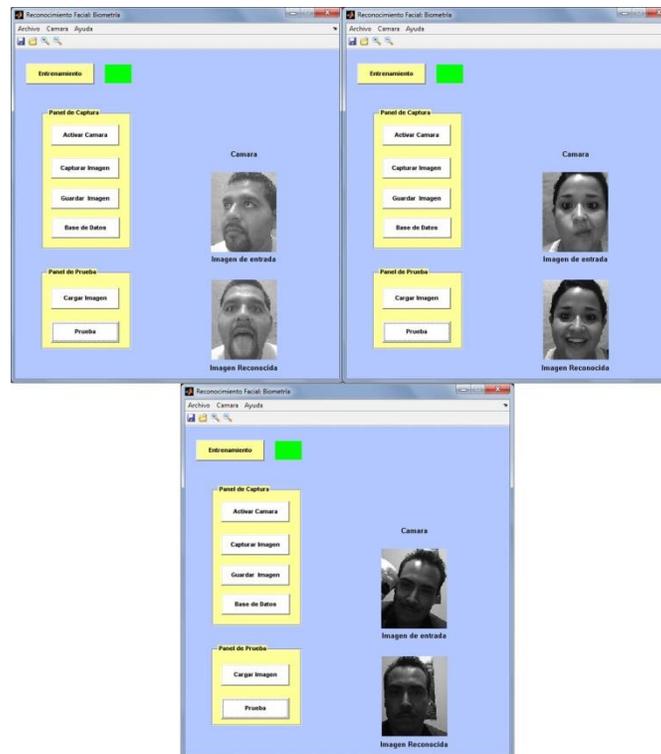


Figura 7: Inicialización de pruebas por medio de la interfaz desarrollada. Este procedimiento es seguido para todas las pruebas de validación realizadas.

Los resultados obtenidos muestran un solo error en todas las pruebas, donde el sujeto Emma Mendoza en su imagen 8 presenta una similitud con el sujeto 2 (Velia Chávez), esto mostrado en la figura 8. Al realizar un análisis a fondo del fallo se encontró que la cantidad en la iluminación de ambos rostros es muy similar, derivando esto en una similitud con el histograma

asignado de una imagen, a un sujeto. A pesar de ello, el algoritmo fue capaz de reconocer su propio fallo enviando un mensaje al usuario, es decir, muestra el rostro que más se acerca a la distribución de los datos, sin embargo se puede decir que es consciente de que no es perteneciente al sujeto en análisis. La figura 9 muestra cómo se da esta confirmación de error.

| CAPTURA DE RESULTADOS POR PRUEBA | | | | |
|----------------------------------|----------|---------------|----------------------|-----------|
| Sujeto | Etiqueta | Imagen prueba | Resultado (etiqueta) | Resultado |
| Adrian Dominguez | S1 | 1 | S1 | OK |
| | | 2 | S1 | OK |
| | | 3 | S1 | OK |
| | | 4 | S1 | OK |
| | | 5 | S1 | OK |
| | | 6 | S1 | OK |
| | | 7 | S1 | OK |
| | | 8 | S1 | OK |
| | | 9 | S1 | OK |
| | | 10 | S1 | OK |

| CAPTURA DE RESULTADOS POR PRUEBA | | | | |
|----------------------------------|----------|---------------|----------------------|-----------|
| Sujeto | Etiqueta | Imagen prueba | Resultado (etiqueta) | Resultado |
| Graciela Saenz | S4 | 1 | S4 | OK |
| | | 2 | S4 | OK |
| | | 3 | S4 | OK |
| | | 4 | S4 | OK |
| | | 5 | S4 | OK |
| | | 6 | S4 | OK |
| | | 7 | S4 | OK |
| | | 8 | S4 | OK |
| | | 9 | S4 | OK |
| | | 10 | S4 | OK |

| CAPTURA DE RESULTADOS POR PRUEBA | | | | |
|----------------------------------|----------|---------------|----------------------|-----------|
| Sujeto | Etiqueta | Imagen prueba | Resultado (etiqueta) | Resultado |
| Emma Mendoza | S5 | 1 | S5 | OK |
| | | 2 | S5 | OK |
| | | 3 | S5 | OK |
| | | 4 | S5 | OK |
| | | 5 | S5 | OK |
| | | 6 | S5 | OK |
| | | 7 | S5 | OK |
| | | 8 | S2 | NO |
| | | 9 | S5 | OK |
| | | 10 | S5 | OK |

| CAPTURA DE RESULTADOS POR PRUEBA | | | | |
|----------------------------------|----------|---------------|----------------------|-----------|
| Sujeto | Etiqueta | Imagen prueba | Resultado (etiqueta) | Resultado |
| Velia Chavez | S2 | 1 | S2 | OK |
| | | 2 | S2 | OK |
| | | 3 | S2 | OK |
| | | 4 | S2 | OK |
| | | 5 | S2 | OK |
| | | 6 | S2 | OK |
| | | 7 | S2 | OK |
| | | 8 | S2 | OK |
| | | 9 | S2 | OK |
| | | 10 | S2 | OK |

| CAPTURA DE RESULTADOS POR PRUEBA | | | | |
|----------------------------------|----------|---------------|----------------------|-----------|
| Sujeto | Etiqueta | Imagen prueba | Resultado (etiqueta) | Resultado |
| Noe Alba | S3 | 1 | S3 | OK |
| | | 2 | S3 | OK |
| | | 3 | S3 | OK |
| | | 4 | S3 | OK |
| | | 5 | S3 | OK |
| | | 6 | S3 | OK |
| | | 7 | S3 | OK |
| | | 8 | S3 | OK |
| | | 9 | S3 | OK |
| | | 10 | S3 | OK |

| CAPTURA DE RESULTADOS POR PRUEBA | | | | |
|----------------------------------|----------|---------------|----------------------|-----------|
| Sujeto | Etiqueta | Imagen prueba | Resultado (etiqueta) | Resultado |
| Pedro Hernandez | S6 | 1 | S6 | OK |
| | | 2 | S6 | OK |
| | | 3 | S6 | OK |
| | | 4 | S6 | OK |
| | | 5 | S6 | OK |
| | | 6 | S6 | OK |
| | | 7 | S6 | OK |
| | | 8 | S6 | OK |
| | | 9 | S6 | OK |
| | | 10 | S6 | OK |

Figura 8: Resultados obtenidos para el total de sujetos en la base de datos, mostrando el error en reconocimiento para la prueba número 48.

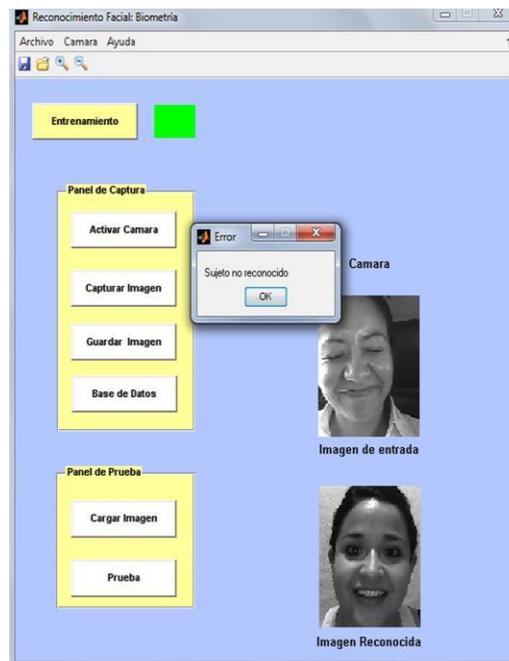


Figura 9: Mensaje de error por parte del algoritmo al haber equivocado el reconocimiento para el sujeto número 5.

Conclusiones

Comúnmente, al desarrollar técnicas de reconocimiento facial, los desarrolladores enfocan sus esfuerzos en medir, clasificar y cuantificar las características físicas de cada sujeto a analizar, retirando la atención de que es con imágenes con lo que el reconocimiento efectivo se centra. El incluir

una etapa de asociación descriptiva con histogramas, abre la posibilidad de variar los ambientes y características de análisis facial, en donde no es crítico el hecho de medir y etiquetar a cada sujeto, sino obtener la información que su imagen percibe para asociarla con el mismo.

Referencias

Christian Tenllado, J. I. (2010). Improving face recognition by combination of natural and Gabor faces. *Pattern Recognition Letters*, 1453-1460.

Debasmita Chakrabartia, D. D. (2013). Facial Expression Recognition Using Eigenspaces. *International Conference on Computational Intelligence: Modeling Techniques and Applications*. Kolkata, India.

Iborra, M. J. (2006). Analisis de Metodos Comparativos en subespacios aplicados al reconocimiento de caras. *Universidad de Valencia*, 23-35.

Kim, H. C. (2001). Face recognition using the mixture of eigenfaces method. *Pattern Recognition Letters*, 1549-1558.

Muge Carikci, F. O. (2012). Face Recognition System Based on Eigenfaces Method. *Procedia Technology*, 118-123.

Xiaoqing Gao, H. R. (2013). Implicit learning of geometric eigenfaces. *Vision Research*, 1-7.

Yingjie Wang, C.-S. C. (2005). Face recognition from 2D and 3D images using 3D Gabon Filters. *Image and vision computing*, 1018-1028.

Reconocimiento de objetos en una plataforma robótica móvil

Lorenzo García Tena¹, Humberto Sossa², Alejandro Alvarado¹, Osslán Vergara¹,
Victor Manuel Hinostrroza Zubia¹, Francisco Javier López Benavides¹

¹Ing. Industrial y Manufactura – Ing. Eléctrica y Computación de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez.

²Centro de Investigación en Computación del Instituto Politécnico Nacional

Resumen

La implementación de los algoritmos de reconocimiento de patrones SURF y SIFT en plataformas robóticas móviles permite el uso de los mismos en una serie de tareas amplias como lo pueden ser el acomodo de libros en una biblioteca de manera automática o la selección y aislamiento de material peligroso. Este trabajo se realizó utilizando la Interfaz de Programación de Aplicaciones (API) de una plataforma robótica móvil Robotino, las librerías de código libre OpenCV y el sensor de visión propio del robot. Ambos casos presentan ventajas y desventajas definidas ampliamente en la parte de desarrollo, así como los retos aún existentes en la investigación que continua en labor. Se busca ampliar los datos obtenidos implementando dichos algoritmos de manera autónoma en plataformas nuevas adquiridas y calibrando empíricamente cada algoritmo independientemente.

Palabras clave: Puntos característicos, descriptores, clasificación, algoritmo, SIFT, SURF, Robotino.

Introducción

En las últimas décadas las tecnologías de información se han convertido en herramientas clave para la realización de tareas automatizadas en la vida cotidiana del humano, así como en los procesos industriales. Entre las diferentes disciplinas que contribuyen a dicho proceso, la visión por computadora y el reconocimiento de patrones han sido ampliamente utilizados para aplicaciones industriales y especialmente para la visión en robots.

El seguimiento de objetos en el campo visual es un tema importante en las tareas multiobjetivo, particularmente en aplicaciones tales como las teleconferencias, la vigilancia y la interfaz hombre-máquina (Tzafestas, 2013). La tarea

de reconocimiento de objetos consiste en determinar la posición de un objeto en imágenes de forma continua y fiable en escenas dinámicas y/o que presentan ruido constante (Kang, & Lee, 2002).

El reconocimiento de objetos, puede variar en las características específicas de acuerdo al elemento que es descrito como perceptor, esto es, existen propiedades que ayudan a definir a un objeto como tal utilizando diferentes criterios de clasificación según la percepción de visor. Un niño pequeño es capaz de reconocer un gran variedad de objetos, por ejemplo, puede generalizar la idea de un perro presentándole ejemplos de este animal, al mostrarle una raza específica no vista por el

niño antes, es aún capaz de reconocer el tipo de objeto que se le presenta e identificarlo como un perro. Por otro lado, insectos como las abejas son capaces de llevar a cabo reconocimiento visual para la navegación y encontrar su colmena ayudadas de la identificación de forma en las flores y plantas (Krapp, 2007).



Figura 1. Plataforma *Robotino*

El propósito principal del reconocimiento de objetos por medio de computadora es el tomar la información aparentemente no relevante para el ojo humano común que se presenta en imágenes de diferentes tipos y asociarla de alguna manera con un concepto dado.

Un sistema de reconocimiento de patrones completo consiste en:

- Un sensor que toma las observaciones a clasificar por medio de imagen.
- Un sistema de extracción de características que transforma la información observada en valores numéricos o simbólicos.

- Un sistema de clasificación o descripción que, basado en las características extraídas, clasifica la medición.

Una necesidad recurrente dentro de la industria es automatizar el proceso *pick-and-place* de tomar objetos, realizar algunas tareas, para después, colocar el objeto en una ubicación diferente (Bozma, & Kalalıoğlu, 2012). La mayoría de los elementos de *pick-and-place* están básicamente compuestos de sistemas como actuadores y sensores (Harada, Tsuji, Nagata, Yamanobe, & Onda, 2014). Los sensores están a cargo de la conducción de los actuadores del robot a la ubicación del objeto, para luego posiblemente ir a la orientación del siguiente objeto a ser tomado, lo anterior se relaciona como restricción directa del número de grados de libertad que presenta el robot.

El acopio de objetos puede ser muy complicado si el escenario no está bien estructurado y limitado, o en caso que las habilidades y funcionalidades del robot no sean lo suficientemente avanzadas. La automatización de la selección del objeto mediante el uso de cámaras es generalmente requerida para detectar y localizar objetos en la escena. Dichas tareas son cruciales para otras aplicaciones de visión por computadora, como lo son la recuperación de imágenes y vídeo, o la navegación autónoma de robots (Tsai & Song, 2009).

En el presente se describe la implementación de dos algoritmos para reconocimiento de patrones por medio de detectores de características en una plataforma robótica móvil presentándole como parte de la investigación diferentes

tipos de objetos, un acomodo aleatorio de ellos, así como un escenario no establecido para la detección de los mismos.

El primer algoritmo de reconocimiento propuesto es el detector de características SIFT (*Scale-Invariant Feature Transform*), que se centra en buscar puntos característicos que cumplen criterios espacio-escalares. Los descriptores se calculan a través de la orientación de los gradientes de cada punto. El segundo es SURF (*Speeded Up Robust Features*), uno de los algoritmos más utilizados para la extracción de puntos de interés en el reconocimiento de imágenes. La extracción de los puntos la realiza detectando en primer lugar los posibles puntos de interés y su localización dentro de la imagen.

Trabajos Relacionados

En 2009 Du, Su, & Cai presentan un trabajo relacionado a la extracción de características usando SURF para reconocimiento facial, donde se destaca que SURF es un algoritmo de escala y rotación en el plano detector de invariantes y descriptor, el cual da un rendimiento comparable o incluso mejor con SIFT. Lo anterior debido a que SURF tiene sólo 64 dimensiones en general y un sistema de indexación se construye mediante el uso de la señal de la laplaciana, SURF es mucho más rápido que el SIFT 128-dimensional en el paso correspondiente. Por lo tanto en base a las ventajas mencionadas en dicho trabajo respecto a SURF, proponen explotar las características de SURF en el reconocimiento de rostros en dicho trabajo.

Las ventajas mencionadas en la investigación fueron reflejadas en el trabajo presente, sin aún tener valores suficientes para hacer un análisis estadístico, sin embargo, el funcionamiento mostrado por ambas implementaciones refleja las mismas tendencias en comparación de SURF y SIFT.

Por otra parte, en 2010 Valgren & Lilienthal presentan un trabajo donde abordan el problema del aire libre, la localización topológica por la apariencia, en especial durante largos períodos de tiempo en que los cambios estacionales alteran el aspecto del medio ambiente. Se investiga un método sencillo que se basa en características de la imagen de la zona de comparar pares de una sola imagen. En primer lugar, plantean los autores, se buscó los algoritmos dominantes que cuentan con características de manejo de imagen, SIFT o la más reciente SURF, concluyen son de lo más adecuado para esta tarea. Después, ponen a punto su algoritmo de localización en términos de precisión, y también introducen la restricción epipolar para mejorar aún más el resultado.

El algoritmo de localización final se aplica en múltiples conjuntos de datos, cada uno compuesto de un gran número de imágenes panorámicas, que fueron adquiridos durante un período de nueve meses con grandes cambios estacionales. La tasa de localización final en el juego de una sola imagen, con cambios de temporada es entre el 80% y el 95%.

Los resultados de sus experimentos iniciales mostraron que SURF, o más bien la versión "vertical" de SURF denotado U-

SURF, tuvo el mejor rendimiento. En general, con el algoritmo de U-SURF encontraron puntos clave más relevantes (es decir, puntos significativos que generan similitudes o emparejamientos válidos) y era mucho más rápido que SIFT. Tal vez esto en su caso no es sorprendente teniendo en cuenta la naturaleza aproximada del algoritmo SURF, junto al hecho que U-SURF deja fuera invariancia rotacional y también utiliza un descriptor más corto que SIFT y SURF-128.

SIFT (Scale Invariant Feature Transform).

Ha sido demostrado que la idea de utilizar características locales es el método más eficaz de reconocimiento visual y localización de robots.

El primero fue Christoph von der Malsburg usando filtros de Gabor orientados a escalas diferentes en el mismo gráfico. Después, fue David Lowe el que mezcló estas características de la escala, con su escala SIFT, y ha resultado tener resultados bastante notorios en el ámbito de reconocimiento.

El término SIFT proviene de Scale-Invariant Feature Transform. Es decir, es una transformación de la información que proporciona una imagen en coordenadas invariantes a la escala en el ámbito local (Chen & Hsieh, 2015). A partir de las características locales, se busca conseguir invariancia a la escala, orientación, parcialmente a cambios de iluminación, etc. También se puede utilizar para buscar correspondencias entre diferentes puntos de vista de una misma escena. Estas

características locales se almacenan en los descriptores.

El algoritmo cuenta con varias características principales, según la literatura actual (Liu, Liu & Wang, 2015):

1. Construcción del espacio de escalas:

La representación espacio-escala es un tipo especial de representación multi-escala que incluye un parámetro continuo de escala y preserva el mismo muestreo espacial para todas las escalas. Así, la representación espacio-escala de una señal es empotrar la señal original en una familia de señales de un sólo parámetro construidas mediante la convolución con señales gaussianas de varianza creciente.

2. Detección de máximos y mínimos espacio-escala:

El siguiente paso es la búsqueda de puntos en la imagen que puedan ser *puntos clave*. Se realiza usando diferencias de funciones gaussianas para hallar puntos interesantes que sean invariantes a la escala y a la orientación.

3. Localización de los *puntos clave*:

De los puntos obtenidos en el apartado anterior se determinan la localización y la escala de los mismos, de los cuales se seleccionan los *puntos clave* basándose en la medida de la estabilidad de los mismos.

4. Asignación de la orientación:

A cada localización del *punto clave* se le asigna una o más orientaciones, basado en las orientaciones de los gradientes locales de la imagen.

5. **Descriptores de los *puntos clave*:** Los gradientes locales se miden y se transforman en una representación que permite importantes niveles de la distorsión de la forma local y el cambio en la iluminación.
6. **Cálculo de correspondencias:** Al ya tener un descriptor, que es un conjunto de elementos que tienen las principales orientaciones de un punto clave, se deberá determinar si en dos imágenes existen correspondencias, es decir similitud, para lo cual se usa la diferencia euclideana.

SURF (Speed Up Robust Feature).

SURF es otro detector de variables locales, y fue presentado por primera vez por Herbet Bay en el 2006 y se inspira en el descriptor SIFT, pero presentando ciertas mejoras, como son:

- Velocidad de cálculo considerablemente superior sin ocasionar pérdida del rendimiento.
- Mayor robustez ante posibles transformaciones de la imagen.

Estas mejoras se consiguen mediante la reducción de la dimensionalidad y complejidad en el cálculo de los vectores de características de los puntos de interés obtenidos, mientras continúan siendo suficientemente característicos e igualmente repetitivos.

SURF es uno de los algoritmos más utilizados para extracción de puntos de interés en el reconocimiento de imágenes (Valgren & Lilienthal, 2010). La extracción de los puntos la realiza detectando en primer lugar los posibles puntos de interés y su localización dentro de la imagen.

Es mucho más rápido que el método SIFT, ya que los *puntos clave* contienen muchos menos descriptores debido a que la mayor cantidad de los descriptores son cero. Este descriptor se puede considerar una mejora debido a que la modificaciones que supondría en el código no serían excesivas, ya que el descriptor SURF utiliza la gran mayoría de las funciones que utiliza el descriptor SIFT (Huang, Chen, Shen, & He, 2015).

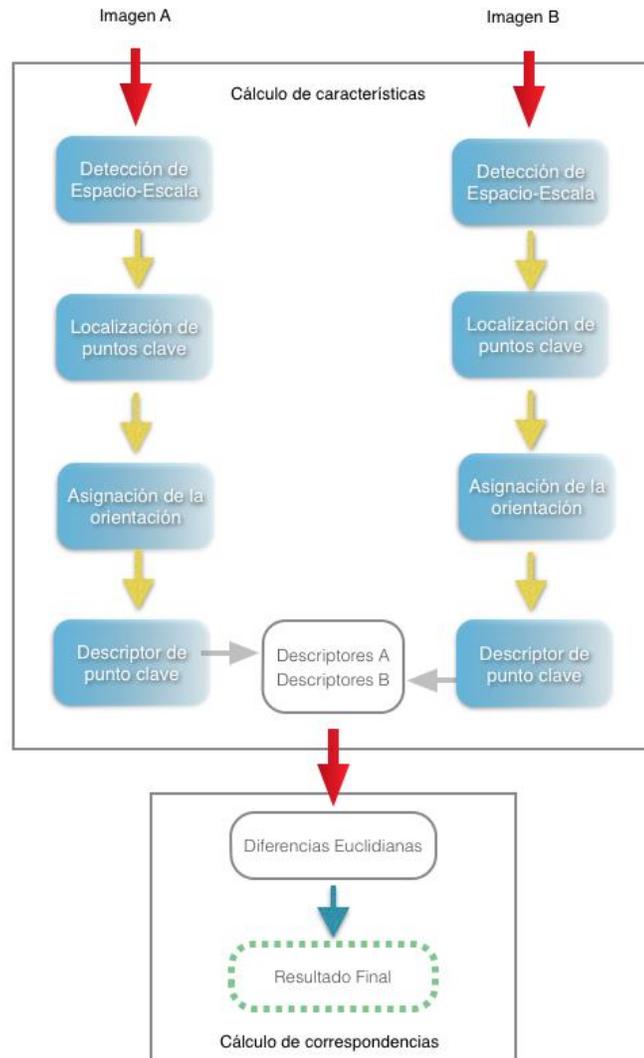


Figura 2. Diagrama de flujo de algoritmo *SURF*

El descriptor SURF hace uso de la matriz Hessiana, más concretamente, del valor del determinante de la matriz, para la localización y la escala de los puntos. El motivo para la utilización de la matriz Hessiana es respaldado por su rendimiento en cuanto a la velocidad de cálculo y a la precisión.

Lo realmente novedoso del detector incluido en el descriptor SURF respecto de otros detectores es que no utiliza diferentes medidas para el cálculo de la posición y la escala de los puntos de interés individualmente, sino que utiliza el valor del determinante de la matriz Hessiana en ambos casos (Miao, Wang, Shi, Lin, & Ruan, 2011).

Materiales y Métodos

Las herramientas para la creación de nuevas funcionalidades con las que trabaja el API del robot son un creador de bloques de función, el uso de un sistema de creación de proyectos *CMake* y el ambiente de desarrollo de software de *Microsoft Visual Studio*. Dichas herramientas son elementos no únicos para desarrollo de bloques a usar dentro del software del fabricante de la plataforma robótica, pueden ser usados otros elementos. Para el presente se usaron las descritas a continuación.

Function Block Manager

Para la creación de un nuevo bloque de función con fines de uso dentro de Robotino® View 2 se requiere crear un proyecto de Visual C++. Dicho software incluye la herramienta “Function Block Manager”, la cual permite designar diferentes especificaciones al bloque tales como nombre del desarrollador, nombre del bloque, imagen de icono, entradas y salidas entre otros parámetros y a su vez, permite habilitar el bloque para su uso dentro de la interfaz gráfica una vez que el mismo haya sido generado, véase Figura 3 a continuación.

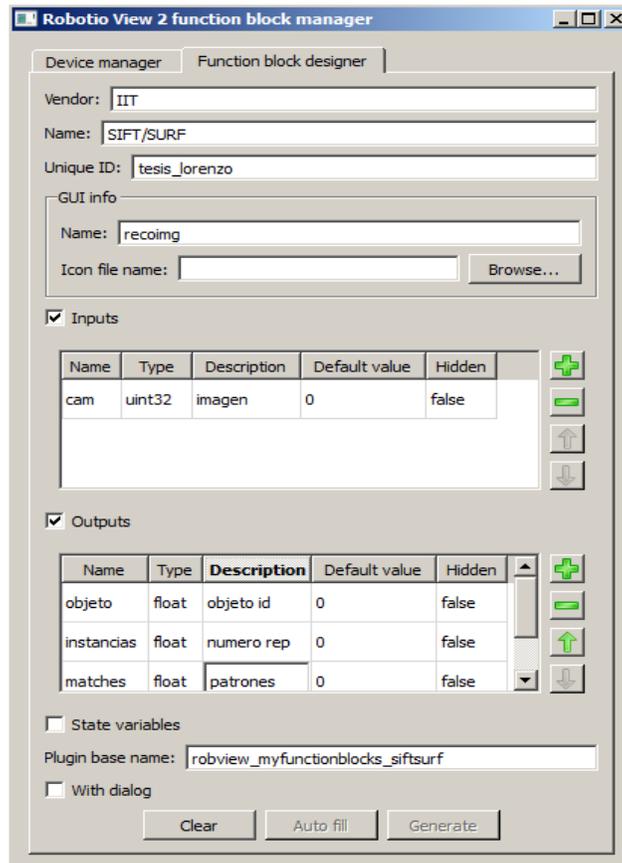


Figura 3. Herramienta *Function Block Manager*

La herramienta “Function Block Manager” genera el nuevo bloque de función y un subdirectorio en una carpeta específica del sistema el cual contiene un archivo de descripción XML, archivos de texto *CMake* y archivos raíz en lenguaje C++ sin función alguna.

CMake

Una vez generado el archivo de texto “CMakeLists” se emplea la interfaz gráfica de *CMake*, el cual es un sistema de código libre de creación, prueba y empaquetado de proyectos para múltiples plataformas de software. Ver Figura 4.

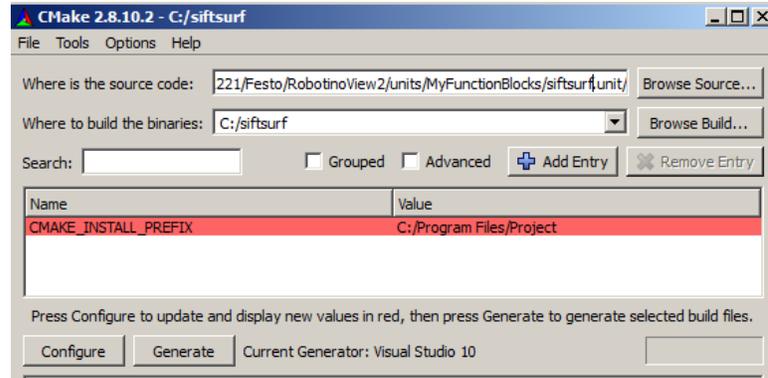


Figura 4. Herramienta *CMake*

Microsoft Visual C++

Visual C++ es un ambiente de desarrollo de aplicaciones que permite la implementación

de código en lenguaje C++ para crear diferentes tipos de aplicaciones como librerías de enlace dinámico o ejecutables.

Resultados

Como base de datos se toman una serie de lomos de libros para ser reconocidos por los algoritmos. En las imágenes a continuación se aprecian los diferentes tamaños y patrones de acuerdo al libro en cuestión.

Las imágenes se presentan en blanco y negro debido a que es en escala de grises como se almacenan para ser comparadas y eventualmente recuperadas dentro de una imagen posterior presentada por el sensor del robot.



Figura 5. Base de datos de prueba.

SIFT

La detección de máximos y mínimos en espacio-escala es la etapa donde los puntos de interés, que se llaman puntos clave (punto clave) en el marco de SIFT, se detectan. Para ello, la imagen se procesa con filtros gaussianos a diferentes escalas, y luego se calcula la diferencia de los sucesivos puntos Gaussianos que se han encontrado en la imagen.

Los máximos y mínimos de la función proporcionan las características más estables, con lo que estos serán nuestros puntos clave.

Luego, el *espacio-escala* de detección da como resultado demasiados candidatos punto clave, algunos de los cuales son inestables. El siguiente paso en el algoritmo es realizar un ajuste detallado de los datos más cercanos para la localización exacta, la escala y proporción de curvaturas principales.

Esta información permite poder rechazar puntos que tienen bajo contraste (y por tanto son sensibles al ruido) o están mal localizados.

La asignación de una orientación a los *puntos clave* es muy importante, ya que si se consigue una orientación coherente basada en las propiedades locales de la imagen, el descriptor puede ser representado en relación de dicha orientación y por lo tanto ser invariante a la rotación.

Este enfoque contrasta con la de otros descriptores invariantes a la orientación, que buscan propiedades de las imágenes basadas en medidas invariantes a la rotación. La desventaja de este enfoque es que limita el número de descriptores que se pueden usar y rechaza mucha información de la imagen.

Una vez que ya se tienen todos los *puntos clave* de la imagen, se tiene que segmentar la vecindad del *punto clave* en

regiones de píxeles. Una vez que ya se ha dividido la vecindad del *punto clave*, se genera un histograma de orientación de gradiente para cada región. Para ello, se utiliza una ponderación gaussiana con un ancho sigma.

Esta construcción puede representar problemas, ya que en el caso de un pequeño desplazamiento espacial, la contribución de un pixel puede pasar de una casilla a otra, lo que provoca cambios repentinos del

descriptor. Este desplazamiento también puede deberse al hecho de una pequeña rotación.

Las imágenes en la Figura 6 muestran resultados del uso de extractores y descriptores SIFT. Se llevaron a cabo acomodos aleatorios de los libros representados en la base de datos, obteniendo siempre un reconocimiento similar sin importar el acomodo de los mismos.

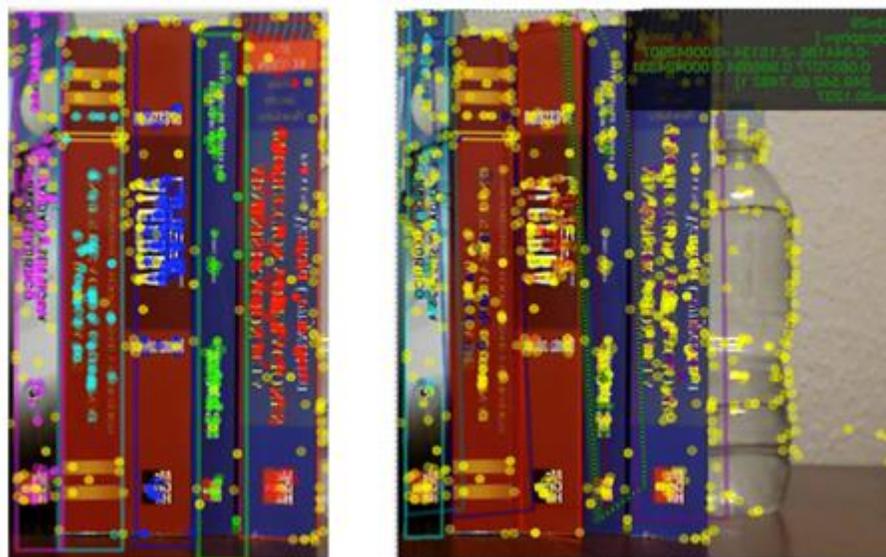


Figura 6. Resultados con detector y descriptor *SIFT*

SURF

El espacio escala para el descriptor SURF, al igual que en el caso del descriptor SIFT, está dividido en octavas. Sin embargo, en el descriptor SURF, las octavas están compuestas por un número fijo de imágenes como resultado de la convolución de la misma imagen original con una serie de filtros cada vez más grande (Sykora, Kamencay, & Hudec, 2014). El incremento o paso de los filtros dentro de una misma

octava es el doble respecto del paso de la octava anterior, al mismo tiempo que el primero de los filtros de cada octava es el segundo de la octava predecesora.

Después, para calcular la localización de todos los puntos de interés en todas las escalas, se procede mediante la eliminación de los puntos que no cumplan la condición de máximo en un vecindario de la ventana asignada. De esta manera, el máximo determinante de la matriz Hessiana

es interpolado en la escala y posición de la imagen.

La siguiente etapa en la creación del descriptor corresponde a la asignación de la orientación de cada uno de los puntos de interés obtenidos en la etapa anterior. Es en esta etapa donde se otorga al descriptor de cada punto la invariancia ante la rotación mediante la orientación del mismo.

Para los descriptores SURF se construye como primer paso una región cuadrada de tamaño dado alrededor del

punto de interés y orientada en relación a la orientación calculada en la etapa anterior. Esta región es a su vez dividida en sub-regiones dentro de cada una de las cuales se calculan las respuestas de Haar de puntos con una separación de muestreo en ambas direcciones.

Por simplicidad, se consideran las respuestas de Haar en las direcciones horizontal y vertical respectivamente relativas a la orientación del punto de interés.

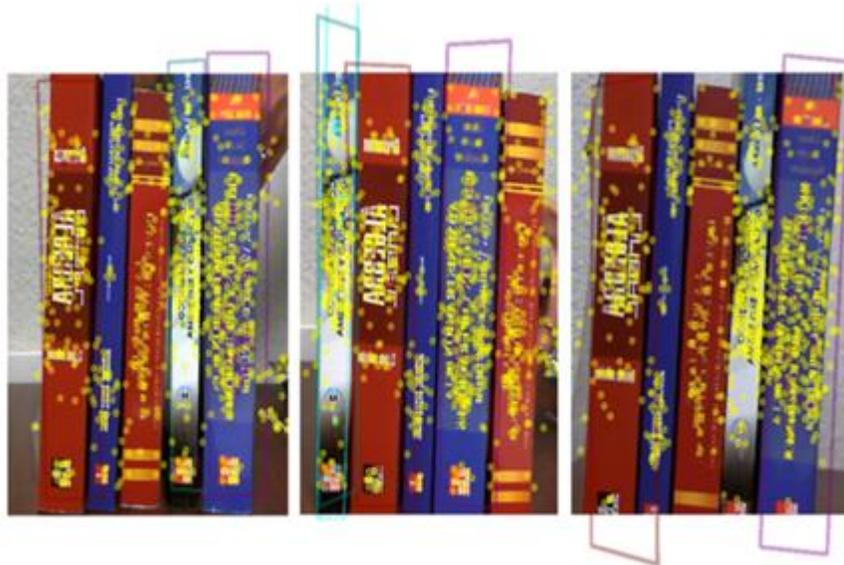


Figura 7. Resultados con detector y descriptor SURF

La aplicación de ambos algoritmos en la plataforma fue ejecutada desde un esquema maestro-esclavo, tal que el procesamiento del módulo de reconocimiento de objetos se lleva a cabo

por la computadora que manda las instrucciones a ejecutar por el robot, no por el robot. Lo anterior debido al costo computacional que representa ejecutar las tareas de reconocimiento de patrones.

Conclusiones

En el caso particular de SIFT la aplicación de prueba resulto tener un reconocimiento con menor éxito que los presentados con SURF. Sin embargo en las pruebas también se mostraron resultados combinatorios, donde, la base de datos se tomaba con ambos algoritmos y la recuperación de patrones se veía beneficiada en rapidez. Esta tendencia solo fue comprobada tomando el uso de SURF para el análisis de la imagen entregada por el sensor de visión de la plataforma.

El propósito principal del trabajo fue cumplido ya que ambos algoritmos son capaces de ejecutar las tareas de recuperación, cada uno con limitaciones. Se pretende continuar con el trabajo durante verano y llegar a obtener dos puntos clave:

- Autonomía total de la plataforma robótica.
- Ajuste de algoritmos para mejorar resultados.

Para el primer punto, se debe integrar por completo el procesamiento dentro del robot. Para esto se está trabajando ya con las nuevas plataformas que ha adquirido la Universidad. Hasta ahora se han logrado hacer pruebas utilizando las librerías de *OpenCV* con resultados favorables.

Se espera adquirir la nueva API de dichas plataformas, ya que debido al firmware la versión de las plataformas con las que se realizó el presente son

incompatibles para desarrollo de nuevos bloque de función.

El segundo punto involucra la obtención de tiempos y la delimitación de factores de ruido en la recuperación de patrones. Una vez tomados datos suficientes, se debe comprobar mediante un estudio estadístico que los resultados propuestos favorezcan el funcionamiento general del bloque de reconocimiento de patrones.

Uno de los puntos claves que pueden afectar el tiempo en que se logren correr los algoritmos de manera totalmente independiente en la plataforma recientemente adquirida, es la limitante de no poder trabajar con varias *CF Cards* y por tanto, diferentes versiones de OS al mismo tiempo.

Dichas plataformas tienen una capacidad superior de procesamiento, pero no permiten llegar a la raíz de manera tan directa como las versiones anteriores.

Se sabe que la versión actual de *OpenCV* se puede ejecutar sin ningún problema, pero las pruebas se han ejecutado hasta ahora siguiendo pasos considerando una versión "lite" de dichas librerías.

Actualmente la universidad cuenta con 4 Robotinos, los cuales no son integrados en ningún curso impartido a nivel licenciatura. Se busca incorporar los trabajos realizados en tesis hasta el día de hoy, como prácticas regulares para alguna

Referencias

Chen, C. C., & Hsieh, S. L. (2015). Using binarization and hashing for efficient SIFT matching. *Journal of Visual Communication and Image Representation*, 30, 86-93.

Du, G., Su, F., & Cai, A. (2009, October). Face recognition using SURF features. In *Sixth International Symposium on Multispectral Image Processing and Pattern Recognition* (pp. 749628-749628). International Society for Optics and Photonics.

Harada, K., Tsuji, T., Nagata, K., Yamanobe, N., & Onda, H. (2014). Validating an object placement planner for robotic pick-and-place tasks. *Robotics and Autonomous Systems*, 62(10), 1463-1477.

Huang, L., Chen, C., Shen, H., & He, B. (2015). Adaptive registration algorithm of color images based on SURF. *Measurement*, 66, 118-124.

Kang, S., & Lee, S. W. (2002). Real-time tracking of multiple objects in space-variant vision based on magnocellular visual pathway. *Pattern recognition*, 35(10), 2031-2040.

Krapp, H. G. (2007). Polarization vision: how insects find their way by watching the sky. *Current biology*, 17(14), R557-R560.

Liu, Y., Liu, S., & Wang, Z. (2015). Multi-focus image fusion with dense SIFT. *Information Fusion*, 23, 139-155.

Miao, Q., Wang, G., Shi, C., Lin, X., & Ruan, Z. (2011). A new framework for on-line object tracking based on SURF. *Pattern Recognition Letters*, 32(13), 1564-1571.

Sykora, P., Kamencay, P., & Hudec, R. (2014). Comparison of SIFT and SURF Methods for Use on Hand Gesture Recognition based on Depth Map. *AASRI Procedia*, 9, 19-24.

Tsai, C. Y., & Song, K. T. (2009). Dynamic visual tracking control of a mobile robot with image noise and occlusion robustness. *Image and Vision Computing*, 27(8), 1007-1022.

Tzafestas, S. G. (2013). *Introduction to mobile robot control*. Elsevier.

Valgren, C., & Lilienthal, A. J. (2010). SIFT, SURF & seasons: Appearance-based long-term localization in outdoor environments. *Robotics and Autonomous Systems*, 58(2), 149-156.

Reducción de piezas defectuosas en máquina de prensado de tablillas electrónicas aplicando herramientas de solución de problemas

César Enríquez¹, Noé Alba Baena¹, Javier Molina¹, Jorge Flores Garay¹, Karla Gabriela Gómez Bull¹, René Ramón Martínez Arroyo¹, Jesús Gonzalo Palacios Valerio¹

¹Universidad Autónoma de Ciudad Juárez.

Resumen

Ante la apertura del mercado y globalización, las compañías necesitan mejorar y volverse más competitivas, eliminando desperdicios en todo el proceso de producción, volviendo el proceso más racionalizado, exacto y eficiente. El desperdicio, representado por partes rechazadas por el control de calidad es considerado uno de los grandes problemas en la industria, demostrando la ineficiencia del proceso. La solución de problemas de manufactura se traduce en incremento en productividad y ganancias, mejorando la calidad del producto, por lo que es del interés de las compañías emplear métodos que ayuden para este fin. El presente proyecto presenta un problema de calidad en manufactura, presente en una planta de electrónica automotriz, resuelto a partir del análisis y empleo de herramientas de solución de problemas, siguiendo el método de ingeniería. Herramientas como lluvia de ideas, visualizaciones o caricaturas, diagramas de flujo, diagramas de concentración, pareto, diagramas causa-efecto y cinco porque son empleados de manera sistemática y creando un ciclo de mejora continua PDCA. Al final se realiza una prueba estadística en la cual se comprueba la mejora del proceso de manufactura. El resultado del presente proyecto muestra la efectividad de las herramientas para diagnosticar correctamente el problema y sus causas.

Palabras clave: Reducción de defectos, análisis causa-efecto, análisis pareto, método de ingeniería, solución de problemas.

Introducción

En el presente proyecto se trabaja en la solución de un problema de manufactura en una planta de electrónica automotriz en Ciudad Juárez que produce la unidad de control denominada ESP, siendo uno de los productos más importantes por su importancia en el vehículo y de alto costo de unidades de control electrónico. El problema que presenta esta máquina se denomina

“Tablilla electrónica sin prensar” la cual se presenta de dos maneras: el primer modo de falla aparece al descargar la tablilla sobre la carcasa plástica sin estar prensada, el segundo modo de falla se presenta al descargar la tablilla y la carcasa plástica de manera separada, véase la Figura 1. Las fallas se presentan en la segunda estación de la máquina de prensado de tablillas. En la

Figura 2 se muestran las proporciones de

defectos.

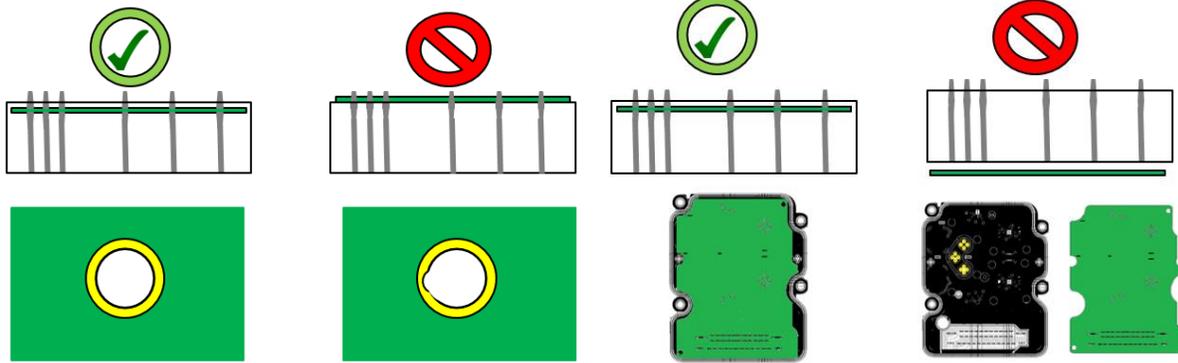


Figura 1. Defecto por colisión y por tablilla no tomada por “pick and place”

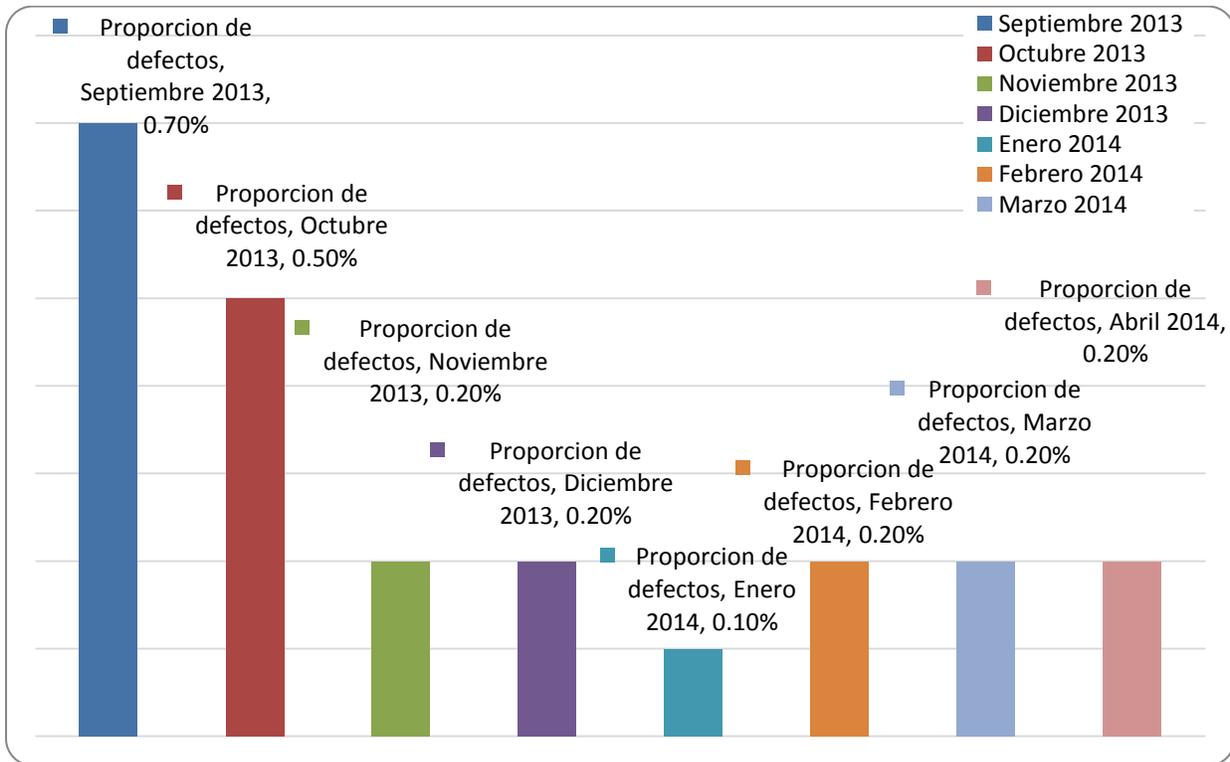


Figura 2 Situaciones de proporción de desperdicio

El objetivo del presente trabajo es la reducción de la proporción de defectos presentados mediante la aplicación de una metodología de solución de problemas que

involucre diversas herramientas de análisis. Se tiene como hipótesis a comprobar que la proporción de defectos después del proyecto es menor que antes de las mejoras.

Marco Teórico

Existen algunos casos de estudio en los que diversas herramientas de solución de problemas son aplicadas para la reducción de defectos en un proceso de manufactura. Uno de los casos es la reducción de desperdicio en una fundidora de aluminio, utilizando herramientas de calidad (Oliveira Morais, Brejao, & de Oliveira, 2014).

En este trabajo se utiliza como herramientas de solución de problemas el diagrama causa-efecto de Ishikawa y lluvia de ideas. Indica que su metodología es de acción-investigación que es un método empírico basado en investigación social, donde los involucrados e investigadores trabajan en conjunto. Este proyecto se desarrolló el análisis de Febrero hasta Agosto de 2013, un periodo de seis meses, donde muestran alta proporción de desperdicio.

Durante el desarrollo del análisis se muestra el desarrollo de un diagrama de flujo para comprender el proceso, que sirvió para señalar en que parte de él se encuentra el problema. Luego se realiza un diagrama de concentración donde se muestrean piezas y se señala el área donde se concentra la mayoría de los defectos, se definió el problema mayor sin mostrar gráfica pero se indica que el problema principal abarca el 71% del desperdicio, se realizó el diagrama Ishikawa y se ponderaron las causas basados en una escala adaptada de FMEA cuarta edición, no se detallan las acciones correctivas a los problemas principales se menciona que se desarrollaron de Septiembre de 2013 a Enero 2014,

mostrando gráficamente la disminución de la proporción de desperdicio en ese periodo de tiempo, alcanzando un nivel aceptable.

Otro caso de estudio de aplicación de herramientas de solución de problemas es la desarrollada en un equipo en la industria de semi-conductores utilizando la metodología llamada “teoría de solución de problemas inventiva” (TRIZ) donde además después de implementar algunas de sus herramientas como contradicción de ingeniería y los 40 principios inventivos, se tuvieron que aplicar un enfoque avanzado llamado “Algoritmo de solución de problemas inventiva” (ARIZ) (Jin, & San, 2010). Iniciaron por comprender el problema describiéndolo y desarrollando un modelo de función, para luego utilizar un análisis de cadena de causa y efecto con el propósito de identificar la desventaja clave o la potencial causa raíz, aplican la herramienta de cinco porque, para ir encontrando desventajas, realizándolo hasta que no se tenga más respuesta. Al identificar la causa raíz principal se aplica las contradicciones de ingeniería donde se identifican los parámetros a mejorar y los parámetros que pueden empeorar y se decide qué solución elegir dentro de los 40 principios inventivos. Al final aplican la herramienta ARIZ donde se formula una idea final a implementar después del análisis del problema y su modelo, en este caso se resolvió el defecto de un eyector.

Otro caso de estudio se basó en PDCA para encontrar la causa raíz de la variación de una válvula de control hidráulica (Smith, 2001). Se integró un

equipo de trabajo, donde se utilizaron herramientas estadísticas para descubrir la causa raíz e implementar soluciones. Primero se definió el problema con un enunciado simple, luego se demostró la magnitud del problema por medio de un histograma que mostraba resultados de presión de esta válvula, se continuó con una lluvia de ideas y se identificaron causas como el proceso de calibración, el diseño del orificio, diseño de cabezal, continuando con un árbol de solución. Luego se realizó un GR&R para el sistema de medición, se

realizó un intercambio de componentes entre una pieza mala y Buena, esto es una herramienta de Shainin Red X, donde se compara una pieza Buena identificada como BoB con una pieza mala identificada como WoW y se intercambian partes para identificar donde se encuentra el defecto. Se realizaron diseño de experimentos como un factorial completo y Taguchi controlando dimensiones de los componentes y así lograron resolver el problema conociendo la causa.

Metodología

En el presente trabajo se tomó como base el método de ingeniería, con el cual se organiza una serie de pasos, tareas,

herramientas y métodos. A continuación en la Figura 3 se muestra el diagrama de flujo de la metodología utilizada.

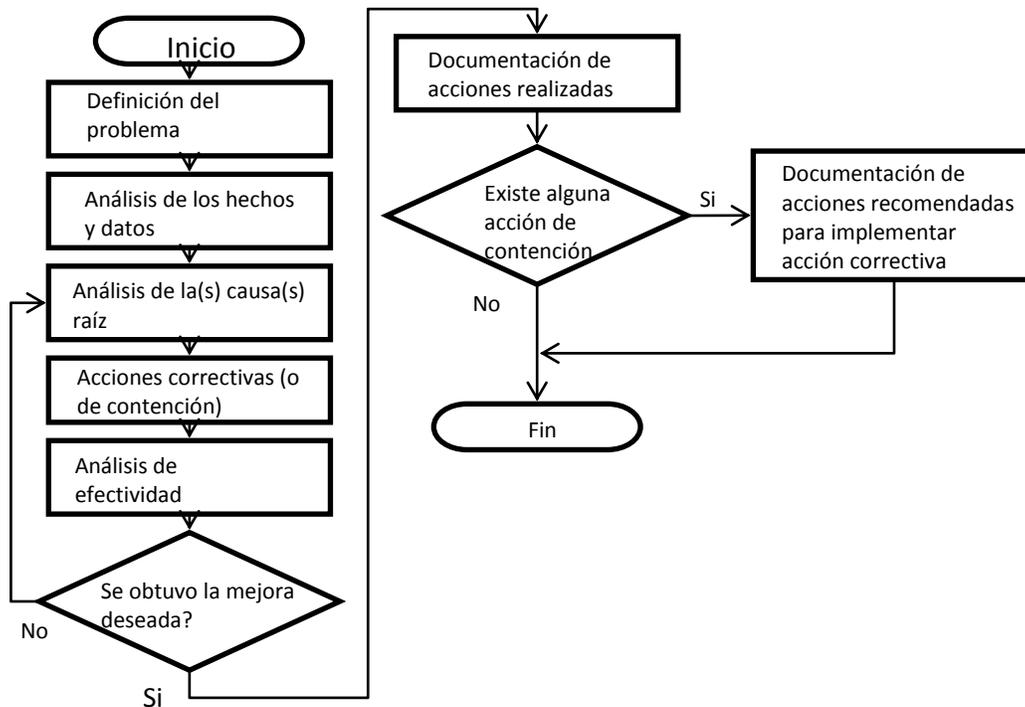


Figura 3. Diagrama de flujo de metodología

En cada uno de los pasos se utilizaron herramientas de definición y solución de problemas como visualizaciones o caricaturas, diagramas de flujo, pareto, diagramas de concentración y herramientas de análisis de causa raíz como lluvia de

ideas, diagramas causa-efecto y 5 porque. Cada acción correctiva fue validada monitoreando diariamente la proporción de defectos para, al final, realizar una prueba estadística donde se evalúa la mejora en el proceso.

Resultados

Al observar una muestra de piezas defectuosas y observar que condición presentaban. Se observó que algunas de ellas tienen daños en los orificios de la tablilla, pero otras no tienen ningún daño y, sin embargo, fueron rechazadas por la máquina.

Comenzamos con el primer modo de falla, realizando una lluvia de ideas de las posibles causas para luego clasificarlas en un diagrama Ishikawa, tal como se indica en las Figura 4 y 5.

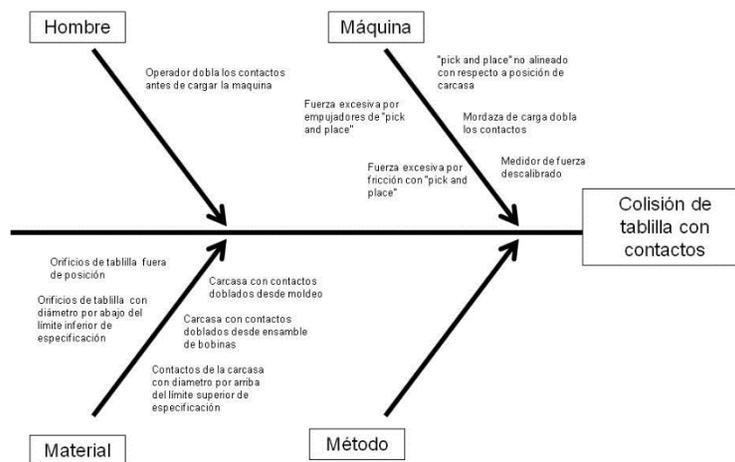


Figura 4. Diagrama Ishikawa de modo de falla "colisión de tablilla con contactos"

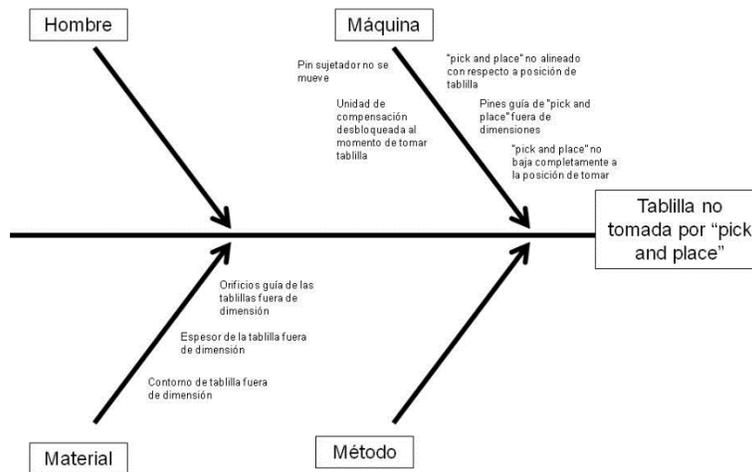


Figura 5. Diagrama Ishikawa de modo de falla “Tablilla no tomada por ‘pick and place’”.

Se observó que de alguna manera el sistema de medición detectaba fuerza de colisión cada ciclo, como se observa en la Figura 6.

Al revisar estas piezas, a pesar de que no eran rechazadas por el equipo se observaron daños en los orificios de la

tablilla. Al definir el modo de falla de colisión como defecto en la parte, se realizó un diagrama de concentración con el objetivo de encontrar alguna tendencia, observando que el defecto se concentraba en un contacto en específico perteneciente a una bobina, véase la Figura 7.

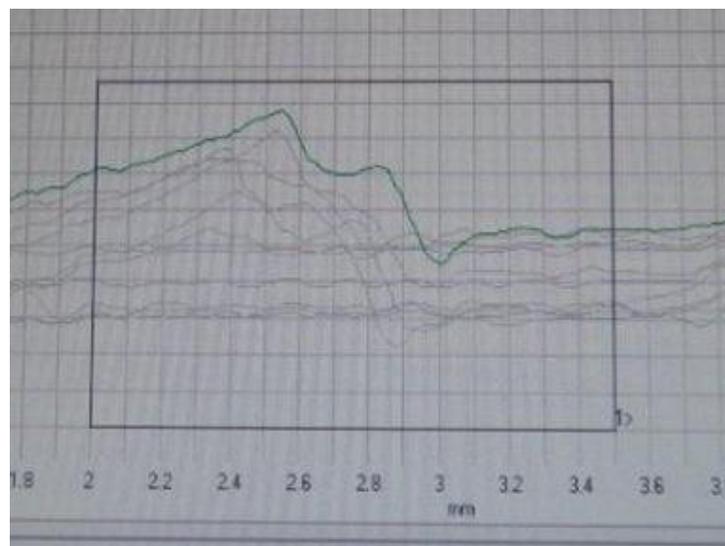


Figura 6. Detección de fuerza durante colocación de tablilla sobre carcasa

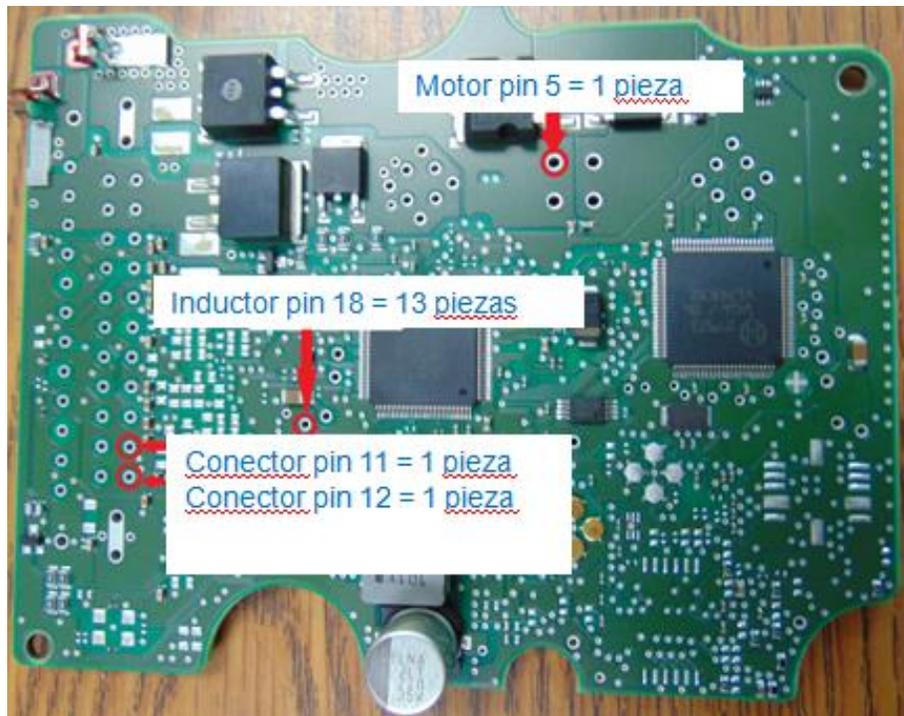


Figura 7. Diagrama de concentración para una muestra de 16 piezas defectuosas

En el análisis de causas existen dos que pueden crear este problema, que el pin 18 de las bobinas venga doblado desde su ensamble, el operador doble la terminal durante el manejo de material o que la mordaza de carga la doble.

Se comenzó por analizar en qué posición se encuentra ese contacto antes de ser tomado por el operador y la mordaza, justo después de ser ensambladas las bobinas. Para eso se tiene una máquina de prueba entre el ensamble de bobinas y prensado de tablillas que verifica que todos los contactos se encuentren dentro de un radio de 0.5mm respecto a su centro teórico. Esta máquina guarda un “log file” para cada

pieza que inspecciona en un archivo con extensión “.res”, el cual se puede abrir en la computadora con el programa “notepad”.

Para efectos de obtener la posición de los pines no era eficiente revisar uno a uno cada archivo y extraer los valores, por lo que se creó una macro en el programa “Access” el cual extrae la posición “x” y “y” de todos los contactos de cada archivo, seleccionando la ruta del folder donde guardemos todos los archivos de las piezas a analizar. Luego de correr la macro y graficar cada coordenada se obtuvo que el pin 18 en específico se encontraba muy alejado del centro teórico, pero dentro del límite de 0.5 mm, véase la Figura 8.

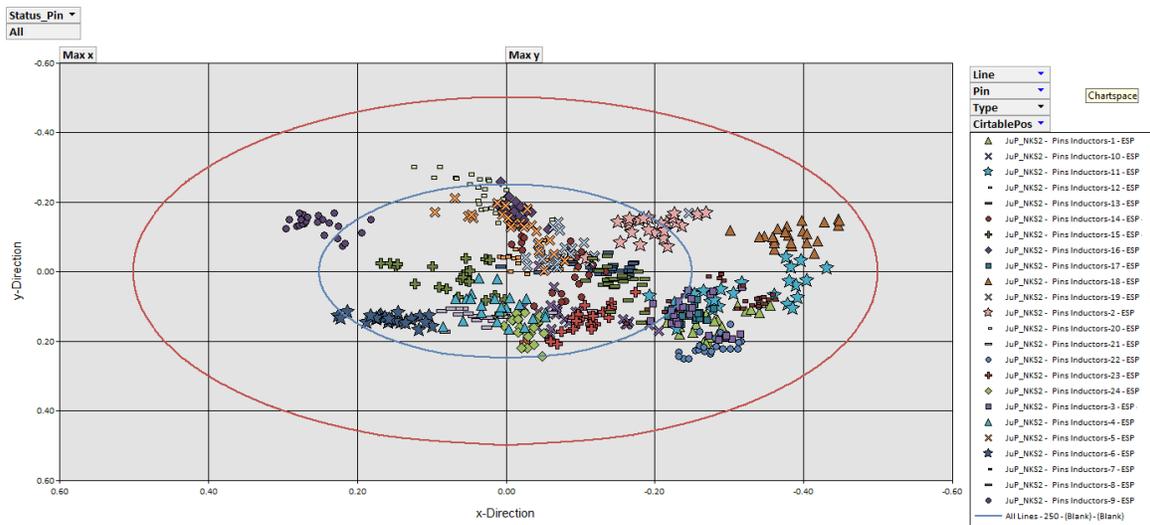


Figura 8. Gráfico de ubicación de contactos de bobinas

Se verificó alineación de máquina de ensamble de bobinas sin encontrarla fuera de posición. Para reducir esta desviación se determinó mover el nido de ensamble

0.2mm al sentido contrario de la inclinación del pin y observar la nueva ubicación, observando mejora en el pin 18, pero el pin 9 fuera de posición, véase la Figura 9.

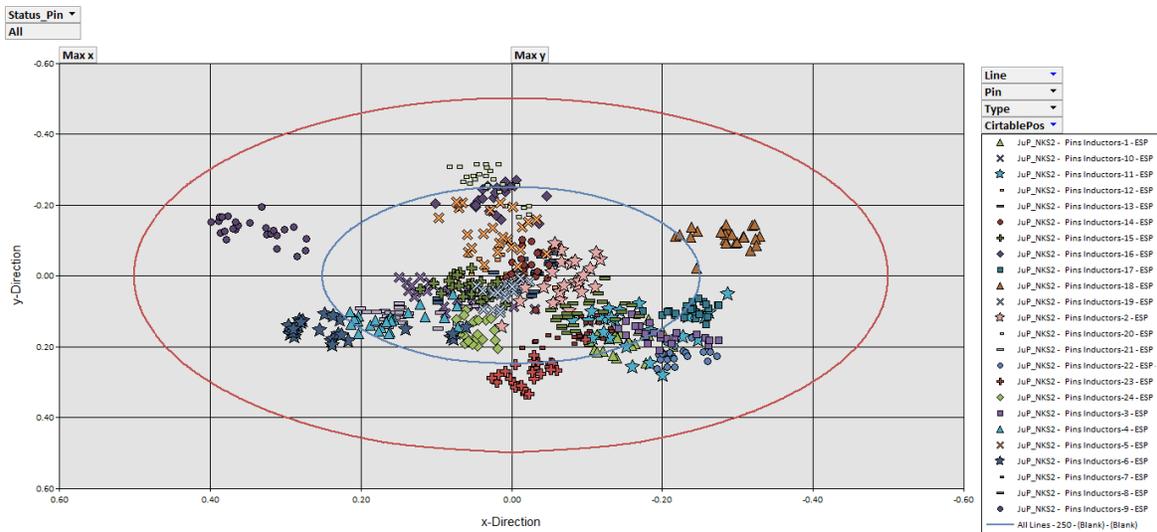


Figura 9. Posición de los contactos despues del movimiento

Se realizó una prueba funcional en la máquina de prensado de tablilla y se observó que el comportamiento de la fuerza medida

mejora, véase la Figura 10, sin detectar fuerza alguna en estas condiciones.

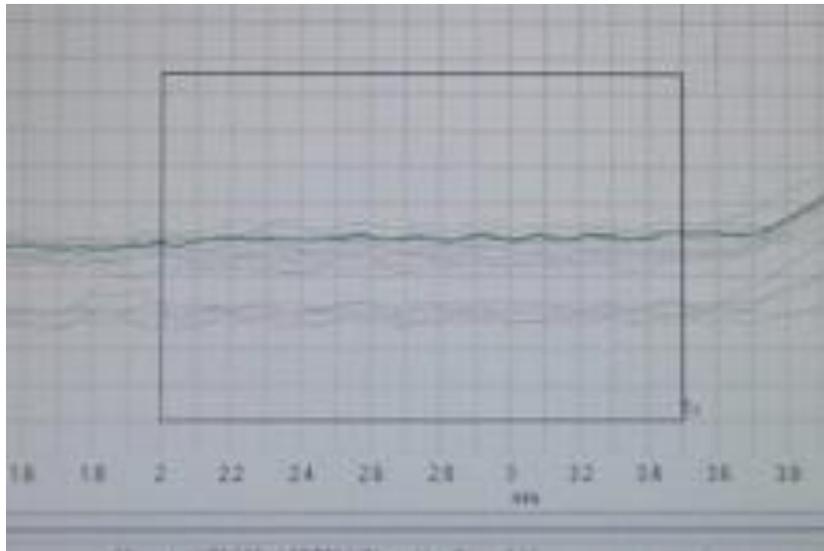


Figura 10. Medición de fuerza después del movimiento

Al observar la posición de los pines que se encuentran fuera de posición se decidió ver si la herramienta de prensado de bobinas se encuentra fuera de posición.

Al no contar con un equipo para realizarlo rápidamente, se decidió tomar una

fotografía a cada empujador y se sobrepuso el plano para observar si existía alguna desviación encontrando desviaciones en los empujadores de los contactos que se ven en las Figura 11 y 12 que no se encuentran centrados.

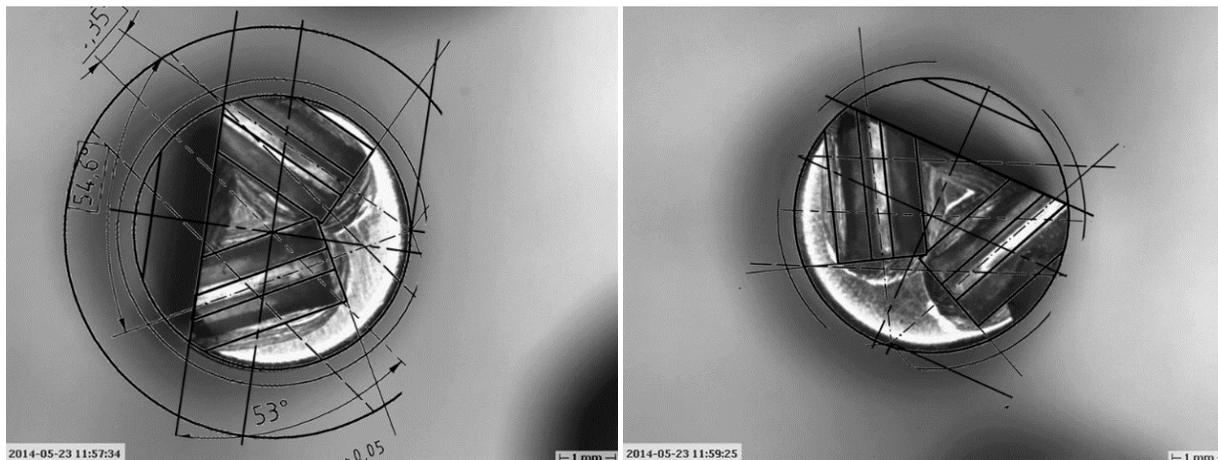


Figura 11. Fotografía del empujador 2 y 6 con plano sobrepuesto para observar desviación

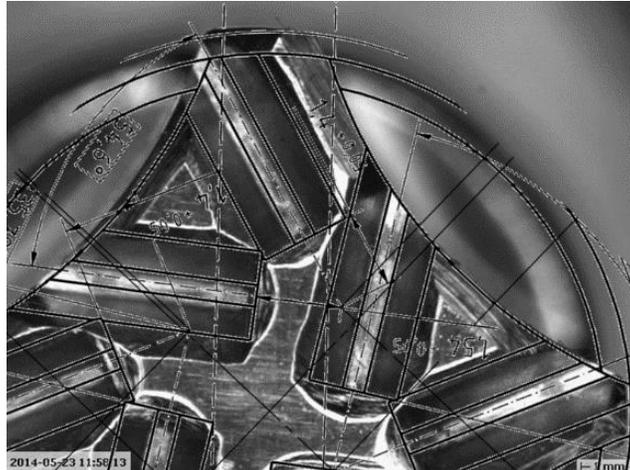


Figura 12. Fotografía del empujador 3 con plano sobrepuesto para observar desviación

Luego se analizó el problema de PCB no tomada por el pick and place. Para esto se revisó la alineación de los nidos con respecto al gripper, luego se realizaron pruebas para ver si el eje servoasistido llegaba siempre a la misma posición, detectando visualmente que no lo hacía, luego se abrió la transmisión para revisar sus componentes y se encontró la banda que mueve las poleas con serios daños lo cual causaba que deslizara y no permitiera alcanzar siempre su posición final. Esta banda se reemplazó y se tuvo que realizar un ajuste completo al equipo, alineándolo y grabando posiciones de toma de material y de colocación.

Al realizar esta alineación completa y continuar con la producción vimos un cambio enorme en la cantidad de piezas con este defecto. Por último se revisó el “pick and place” y sus componentes, encontrando uno de los pines guía desgastado. Para encontrar la causa del desgaste se observó el funcionamiento de la máquina y la interacción de ese pin con los demás componentes. Al observar el proceso se

detectó que este pin rosaba con la tablilla cada vez que esta era depositada, ya que no la liberaba si no que esta era empujada por unos empujadores utilizados para este fin. Se realizó un diagrama de flujo de cómo debía funcionar el proceso de toma y colocación de material y al compararlo con el programa del PLC se encontró que el paso de liberación de ese pin en específico se había omitido en la secuencia, lo cual se corrigió. También el pin gastado era una de las causas para que el “pick and place” no tomara la tablilla ya que algunas ocasiones la tablilla se deslizaba por el desgaste de este pin. El pin se reemplazó y se instaló un diseño mejorado, el cual es más largo y puede abarcar mejor el espesor de la tablilla. Al final de las implementaciones se dejó la máquina producir piezas para observar y validar que los cambios tienen efectividad.

Podemos ver que ambos problemas tienen un impacto positivo en la cantidad de piezas que se rechazan antes y después, en la Figura 13 se muestra el comportamiento cada mes.

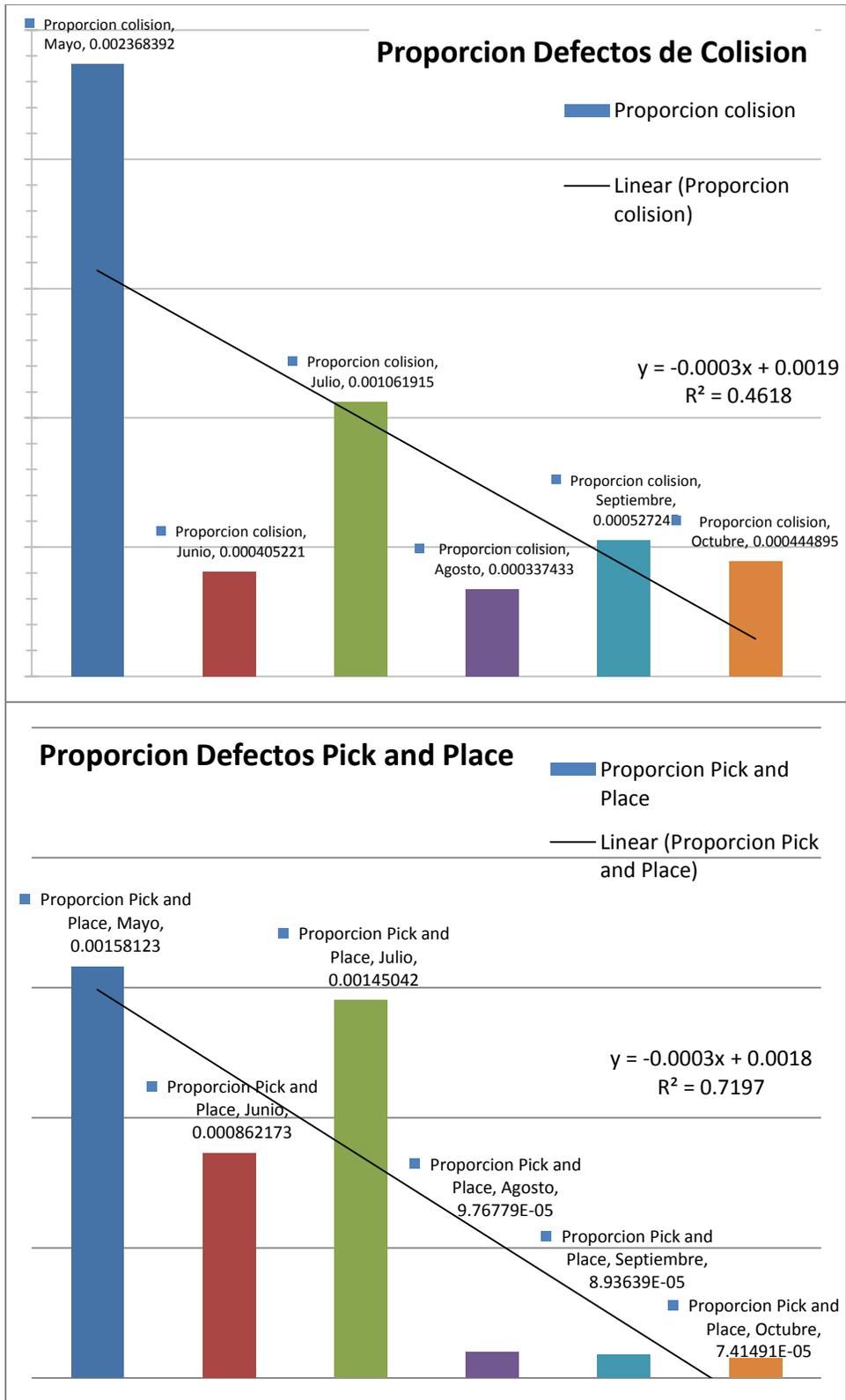


Figura 13. Tendencia de rechazos por colisión y “pick and place” mes a mes durante el proyecto

Se observa un cambio con reducciones de 66 % y 93 % en cada uno de los problemas.

Lo siguiente fue realizar la prueba estadística para comprobar que cumplimos con nuestro objetivo, realizando una prueba estadística para dos proporciones, para esto se obtuvieron los totales de producción y se

sacó la proporción de los defectos de los primeros tres meses: Mayo, Junio y Julio , y se compararon con los totales de producción y se sacó la proporción de defectos de los meses de validación de Agosto, Septiembre y Octubre, realizando la prueba con un nivel de confianza de 95 %, obteniendo el siguiente resultado.

| Sample | X | N | Sample p | Difference = p (1) - p (2) |
|--------|-----|--------|----------|-------------------------------------------------------------|
| 1 | 913 | 338029 | 0.002701 | Estimate for difference: 0.00215454 |
| 2 | 189 | 345894 | 0.000546 | 95% lower bound for difference: 0.00199382 |
| | | | | Test for difference = 0 (vs > 0): Z = 22.05 P-Value = 0.000 |
| | | | | Fisher's exact test: P-Value = 0.000 |

Con la proporción alcanzada en los últimos tres meses de validación el desperdicio tendría un costo de \$3375 dólares mensuales, que continuando con esa tendencia el costo sería de \$40500 dólares

al año, eso se traduce a un ahorro en comparación a las condiciones anteriores de \$121500 dólares en un año, una reducción en costo por defectos y proporción del 75%.

Conclusiones y Recomendaciones

Durante el desarrollo del proyecto se tomó como base el método de ingeniería y al revisar la literatura existente se fueron incluyendo distintas técnicas de solución de problemas durante cada iteración. Se trató de descartar métodos numéricos y realizar mejoras e implementaciones basadas en los hechos. Cada uno de los problemas fue analizado con sus datos iniciales y monitoreado diariamente, observando la efectividad de las acciones en tiempo real. Al observar los resultados inmediatos de cada una de las herramientas y al momento de mezclarlas podemos concluir que de manera efectiva se excedieron las

expectativas esperadas. Los siguientes pasos sería incursionar en métodos estadísticos, como seis sigma, y continuar nuestro proceso de mejora y poder medir el cambio que se podría alcanzar con estos nuevos métodos partiendo del nivel alcanzado en este momento.

Durante la evaluación de la colisión de tablilla no se prestó atención a la variable medida por el sistema, el enfoque fue directamente en las piezas, por lo que se recomienda adaptar al sistema para guardar la variable y evaluarla, creando un análisis de datos continuos y buscar mejorar aún más los resultados. Los mecanismos observados

pueden mejorarse utilizando componentes libres de fricción y de desgaste. Una lección aprendida es la revisión de la alineación de ruedas dentadas en transmisiones que utilizan bandas, implementación de un programa de mantenimiento predictivo en este tipo de aplicaciones para la detección de estos defectos en etapas tempranas. Una de

las causas está enfocada al factor humano, por lo que un proyecto propuesto es desarrollar un método de manejo de material eficiente, para evitar que las personas puedan dañar el material durante su manejo y evitar defectos relacionados a esa causa identificada y evaluar su impacto.

Referencias

Chaudhari, S.R., Yawale, V.A., & Dalu, R. C. (2004). Low Cost Approach to Manufacturing Problem Solving. *International Journal of Material Science and Engineering*, Vol. 2, No.1 June 2014.

Coletta, M., Ueliton, F., and Ferreira, T., "Problem Resolution Process," SAE Technical Paper 2010-36-0459, 2010, doi:10.4271/2010-36-0459.

Doggett, A. (2004). Selected Collaborative Problem-Solving Methods for Industry. Architectural and Manufacturing Sciences Faculty Publications. Western Kentucky University.

Jin, Y. T. San, Y. T.(2010) TRIZ: Application of Advanced Problem Solving Methodology (ARIZ) in Manufacturing 34th International Electronic Manufacturing Technology Conference.

Kosina, J. (2013) Quality Improvement Methods for Identification and Solving of large and complex problems. *Journal of Interdisciplinary Research* 03(01), 142-145.

Liebemann, E. K., Meder, K., Schuh, J., & Nenninger, G. (2004). Safety and performance enhancement: The Bosch electronic stability control (ESP). SAE Paper, 20004, 21-0060.

Mach, P., Guaqueta, J. (2001). Utilization of the Seven Ishikawa Tools (Old Tools) in the Six Sigma Strategy

Oliveira Morais, M., Brejao, A.S., de Oliveira Costa Neto, P. L. (2014) Application of Quality Tools for Process Improvement to Reduce Scrap in an Aluminum Smelter. APMS 2014, Part III, IFIP AICT 440, pp. 59-677.

Osma, A. and Sayginer, A., "An Assessment on Problem Solving Approaches in Automotive Industry: Illustrative Templates, Similarities and Differences," SAE Technical Paper 2010-01-0698, 2010, doi:10.4271/2010-01-0698.

Reif, K. (2014). Electronic stability program. In *Fundamentals of Automotive and Engine Technology* (pp. 194-201). Springer Fachmedien Wiesbaden.

Saad, N. M., Al-Ashaab, A., Shehab, E., & Maksimovic, M. (2013) A3 thinking approach to support problem solving in lean product and process development. In *Concurrent Engineering Approaches for Sustainable Product Development*. In *Multi-Disciplinary Environment* (pp. 871-882) Springer London.

Sferco, R., Page, Y., Le Coz, J. Y., & Fay, P. (2001, June). Potential effectiveness of electronic stability program (esp)-what European field studies tell us. In *Proceeding of 17 th ESV Conference* Amsterdam, The Netherlands.

Smith, G.M.(2001). Six Sigma Quality-PDCA Methodology. SAE Technical Paper 2010-01-1117.

Mejora de proceso para la manufactura de evacuador para sistemas de irrigación laparoscópicos

Alejandrina González¹, Noé Alba Baena¹, Jorge García¹, Rodrigo Ríos Rodríguez¹, Gerardo Sandoval Montes¹, Ángel Israel Soto Marrufo¹, María Guadalupe Valdivia Urdiales¹

¹Universidad Autónoma de Ciudad Juárez.

Resumen

El proyecto consiste en mejorar el proceso de manufactura de evacuador para sistemas de irrigación laparoscópicos, reduciendo su nivel de desperdicio a un 97 %. Se tenía un problema de fuga y era necesario regresar al estado del proceso original, durante el análisis de la falla se observó una oportunidad de mejora en el sistema de medición de prueba de fuga ya que no estaba detectando las piezas defectuosas resultantes. Para realizar el análisis se utilizaron varias herramientas como: el diagrama de flujo del proceso, análisis de modo y efecto de falla y la herramienta 6Ms para el análisis de las causas potenciales y poder identificar la causa raíz. Una vez identificada se reprodujo el modo de falla, se asignaron las acciones de mejora e implementaron al proceso para corregir y prevenir este modo de falla. Se capturaron los datos del después y se aseguró que los datos estén en control y tengan un nivel aceptable de capacidad del proceso para comparar los datos de antes contra los del después. Se validaron los datos estadísticamente para demostrar que la hipótesis se haya comprobado y poder rechazar hipótesis nula con suficiente evidencia estadística y así se poder concluir con el proyecto exitosamente.

Palabras clave: Proceso de manufactura, diagrama de flujo del proceso, análisis de modo, efecto de falla, 6Ms.

Introducción

En este proyecto se despliega la manera de cómo se mejoró un proceso de ensamble reduciendo su nivel de desperdicio ya que la competitividad de una empresa y la satisfacción del cliente están determinadas por la calidad del producto, el precio y la calidad del servicio. Se es más competitivo si se puede ofrecer mejor calidad, a bajo precio y en el menor tiempo (Gutiérrez Pulido, 2004).

Durante el proceso normal de ensamble en el producto NDH evacuador para sistemas de irrigación laparoscópicos se

encontró material defectuoso al final de las pruebas, esto provoco problemas de alto desperdicio creando la necesidad de disminuirlo para evitar quejas de cliente y el aumento de costo del producto utilizando las herramientas del método de ingeniería como seis sigma y DMAMC

Inicialmente se tenía 119.55 piezas con fuga en promedio en lotes de 2,500 y el estado deseado es reducirse a un máximo de 3.59 piezas por día y así poder contribuir con los métricos de la empresa como son la calidad, producción y nivel de desperdicio.

Los clientes finales es el paciente y el doctor, si el producto está defectuoso y se usa en un procedimiento de cirugía está en riesgo la salud del paciente.

La variable clave de respuesta es la cantidad de fugas que se tiene en cada uno de los lotes, es por eso que se utilizaron herramientas como gráficas para entender el estado actual de la cantidad de fugas, los beneficios esperados para este proyecto será

la disminución del riesgo de quejas de cliente, aumento de productividad y disminución de desperdicio.

Este proyecto pretende mejorar el proceso de sub-ensamble de NDH evacuador en el modo de falla de fuga de fluido, quedando excluidos los otros modos de falla creados durante el proceso de ensamble así como los modos de falla creados en las líneas finales de ensamble.

Métodos

Para resolver el proyecto se utilizaron algunas de las herramientas de la metodología de seis sigma, la cual consiste en crear procesos que no resulten en más de 3.4 defectos por millón (Levine, 2006) y en la herramienta DMAMC. Este nivel de calidad se aproxima al ideal de los cero defectos, concepto introducido por Crosby (Cantú Delgado, 2001) y puede ser aplicado

no solo a procesos industriales de manufactura. El término Seis Sigma fue introducido por Motorola como una estrategia de negocios y de mejoramiento de la calidad (Gutiérrez Garza, 2004). Para resolver de manera estructurada, sistemática y llegar al objetivo establecido se planteó los pasos a seguir basándose en la metodología de ingeniería, ver la Figura 1.

Resultados

Para confirmar que el proceso esté fuera de especificación y saber el estado del proceso actual, para definir el tamaño de muestra se utilizó la fórmula siguiente (1) que corresponde a datos para atributos y dio como resultado 44 piezas.

$$n = \frac{Z_{1-\frac{\alpha}{2}}^2 \hat{p} \hat{q}}{e^2} \quad (1)$$

En la Figura 2 se muestra el sub-ensamble completo que consta

principalmente del ensamble de los anillos a los pistones, el soldado de los botones a los pistones, el ensamble de los pistones al cuerpo y el torque de QD.

Para entender el proceso se dividió en variables controlables y variables de ruido y en su variable de salida: Prueba de fuga. Se plantearon las hipótesis donde la hipótesis alternativa (H_1) es a donde queremos llegar y la hipótesis nula (H_0) es el estado actual.

H_0 : La cantidad de fugas semanal es igual o mayor $H_0: \mu_1 = \mu_2$

H_1 : La cantidad de fugas se disminuirá $H_1: \mu_1 > \mu_2$

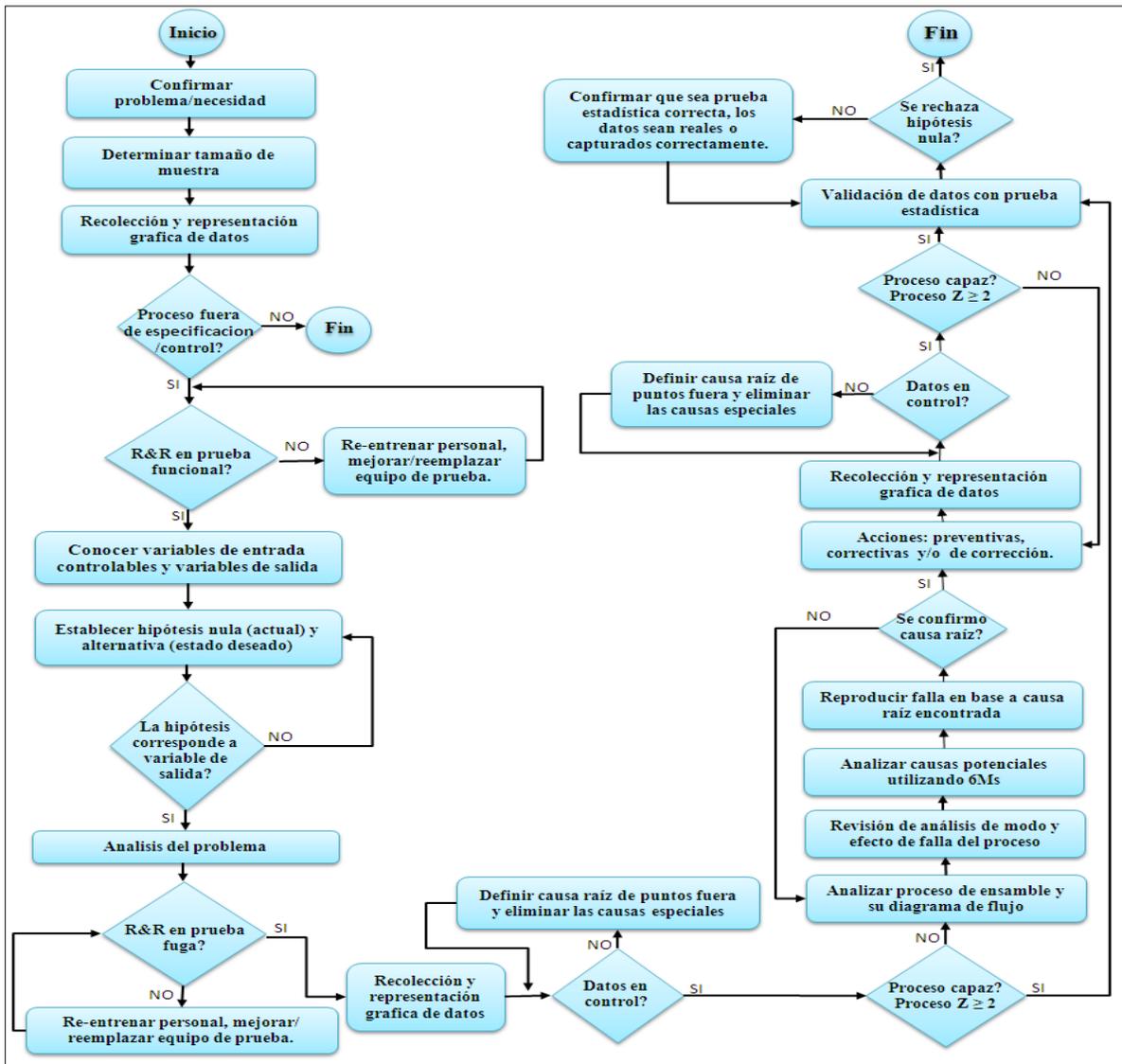


Figura 3. Diagrama de Flujo de metodología.

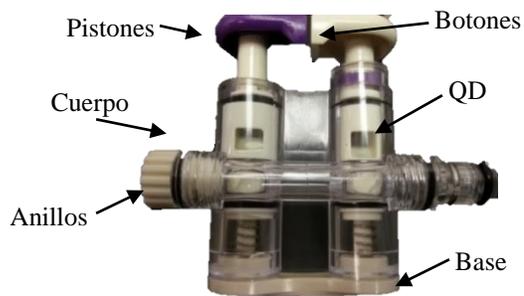


Figura 4. NDH Evacuador

Se midió el sistema de medición no tenga errores esto se realiza a través de un estudio de repetibilidad y reproducibilidad (GR&R) ver Tabla 2 para porcentajes y así determinar si el sistema de medición es aceptable.

Tabla 1. Porcentaje de aceptación para GR&R

| Porcentaje | Conclusión |
|---------------|-------------|
| De 90% a 100% | Aceptable |
| De 80% a 90% | Marginal |
| Menos de 80% | Inaceptable |

En la Figura 3 se muestra la probadora de fuga marca USON y el escantillón que se utiliza para colocar la pieza

Se realizó el estudio de R&R para saber el porcentaje de variación del proceso relacionado a la repetibilidad y reproducibilidad del sistema de medición (Figura 4) y este fallo como se muestra abajo ninguno de los tres operadores llegó más del nivel de 70%.

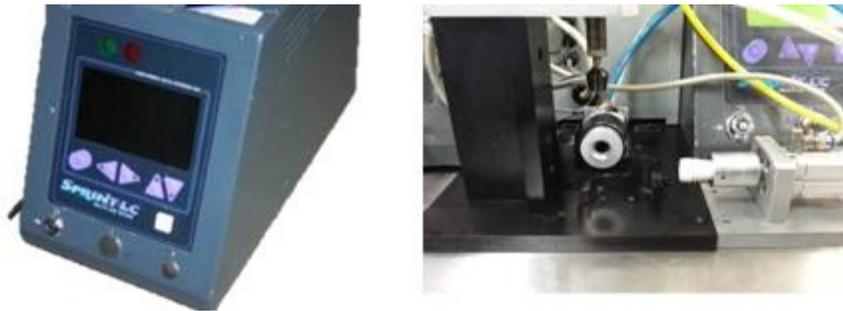


Figura 3. Probadora de fuga

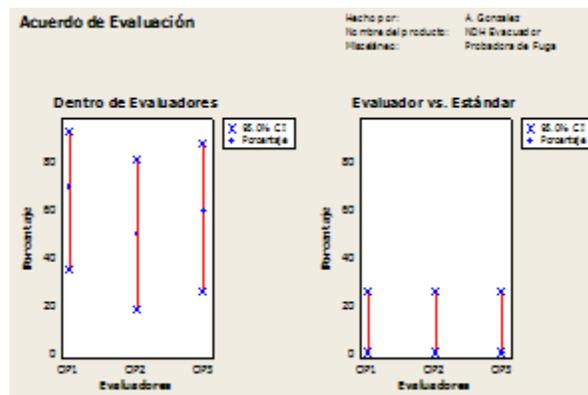


Figura 4. G&R NDH Evacuador

Por lo tanto se tiene como conclusión en base al estudio de MSA de reparar el sistema de medición donde se identificaron tres oportunidades de mejora como diseñar un escantillón contraparte para evitar movimiento durante la prueba de fuga (Figura 5-A). También se notó que el pistón Fabco-Air® Modelo FCQN que presiona el botón con una carrera de 1 pulgada, se vio que no presionaba completamente el botón

dejando un espacio entre el puerto de salida de aproximadamente 1/16 pulgadas este se corrigió ajustando el tope (B) y por último un movimiento oscilatorio se mejoró el diseño del émbolo (C).

Se probó el equipo de nuevo retando su repetibilidad y reproducibilidad mediante un GR&R (Figura 6) y este fue resultado obtenido de un nivel de 100%.



Figura 5. Mejorar al escantillón de prueba de fuga.

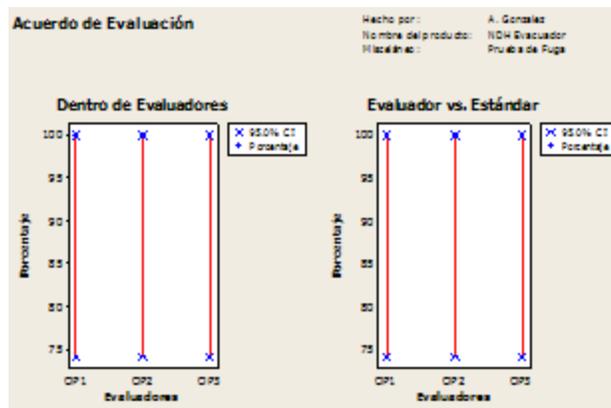


Figura 6. GR&R para proceso de NDH

Ya con el sistema de medición reparado, se empezaron a tomar datos del incremento de fugas en la línea de ensamble, es decir solo tomando en cuenta la prueba de

fuga donde su muestra una media de 119.55 piezas y se realizó la prueba de capacidad donde se busca que la variable Proceso Z sea mayor a 2 y se obtuvo 1.6765 ver Figura 7.

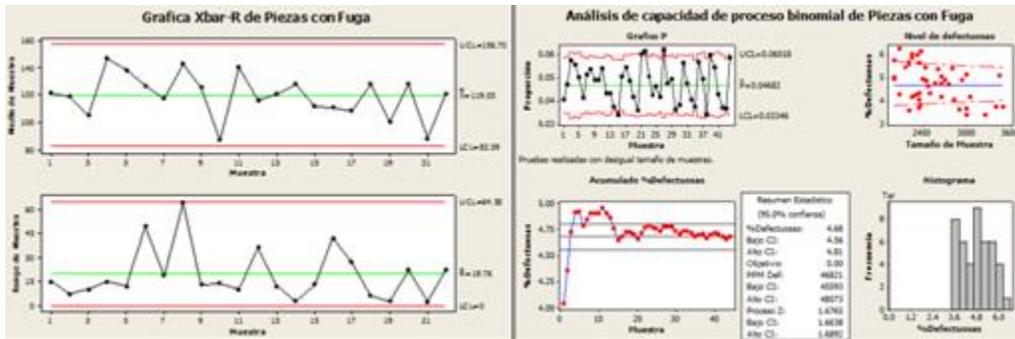


Figura 7. Total de Fugas por lote y análisis de capacidad.

En conclusión se cuenta con un proceso incapaz pero controlado por lo tanto si se puede mejorar, en la siguiente fase se recurrió al diagrama del proceso de ensamble y así conocer cada una de los procesos donde se encuentra oportunidad de mejora. También se utilizó la revisión del

análisis de modo y efecto de falla del proceso con la intención de qué impacto tendrá en el paciente un ensamble defectuoso con este modo de falla (tabla 2) y se utilizó la herramienta 6M que nos ayuda a aislar el problema cuando aún no se ha podido llegar a la causa raíz (Tabla 3).

Tabla 2. Análisis de modo y efecto de falla del proceso

| Proceso /Comp. | Modo potencial de falla | Efectos potenciales de falla | Severidad | Causas potenciales de falla | Ocurrencia | Actuales controles | Detección |
|----------------|-------------------------------------------------------------------|---------------------------------|-----------|-----------------------------|------------|----------------------------------------------|-----------|
| Pistón | Línea de unión desfasada/con rebaba en las ranuras para el anillo | Fuga/Sellado débil (con anillo) | 5 | Baja calidad de proveedor | 3 | Medición del material 100% Prueba de Fuga | 2 |

Tabla 3. Causas potenciales de mano de obra.

| | Causas Potenciales | Análisis de las Causas Potenciales |
|-----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Mano de Obra | El personal encargado no siguió el método de ensamble correcto | Se revisó que el método como lo indica el procedimiento y se comparó con el que el personal está siguiendo descartando esta causa. |
| | No tiene el entrenamiento el personal encargado para realizar la operación. | La evidencia de entrenamiento se obtuvo y se confirmó que están entrenados. |
| | El personal no tiene la habilidad o capacidad de realizar la operación. | Se confirmó que el personal tenía la habilidad y la capacidad de realizar la operación de ensamble. |
| Maquina | La herramienta que se utiliza para el ensamble de los anillos al pistón está dañada o no es la adecuada. | Se revisaron las herramientas que se utilizan para deslizar el anillo al pistón y se comprobó que son las adecuadas según el procedimiento validado y no están desgastadas o dañadas. |
| | Existió un reemplazo de herramienta incorrecto provocando daños al producto. | La herramienta fue verificada y no ha sido reemplazada además no causa daños al producto utilizando el método. |
| Método | En el procedimiento no está explícito el método del ensamble | Se comprobó que las instrucciones del procedimiento están claras, definidas y no provocan dañar el anillo o pistón. |
| | Durante el ensamble del pistón y anillo se genera materia extraña | Se removieron los anillos de las piezas con falla y no se encontró materia extraña, además los anillos fugan del mismo lugar aunque se colocan el mismo número de parte de anillo en otros lugares del producto. |
| | Las responsabilidades y el documento de procedimiento de proceso no está definido o la información no es accesible | Se revisó el lugar de los procedimientos y estos son accesibles además las responsabilidades están claramente asignadas. |
| Medición | La prueba de fuga no puede detectar las piezas defectuosas en la línea | Se detectó que la probadora de fuga en la línea no es capaz de detectar este modo de falla, por lo tanto se realizaron ajustes y aun así es detección de falla y no se atribuye a la causa raíz. |
| | La característica que se debe medir, en este caso fuga no está definida. | Se revisó el procedimiento de prueba de fuga y está correcto. |
| Medio Ambiente | El clima y la temperatura exterior provocan que el lubricante tenga una consistencia menor. | El lubricante fue sometido directamente a la temperatura exterior para utilizarlo en el ensamble pero no se pudo reproducir la falla. |
| Material | Los componentes: anillo, pistón o cuerpo de evacuador esta(n) fuera de especificación dimensional. | Los componentes fueron medidos 44 de cada cavidad del lote de proveedor afectados y no se encontró alguna dimensión fuera, además se des-ensamblaron las 3 primeras piezas encontradas con el modo de falla para medir los componentes y se encontraron dentro de la especificación. |
| | Los componentes anillo, pistón y/o cuerpo de evacuador en sus dimensiones máx./min causan fuga al ensamblarlos | Se realizó un estudio jugando con las tolerancias y no se encontró que hubiera una interferencia que provocara una fuga o similar a este modo de falla. |
| | El pistón de irrigación en la ranura donde se coloca el anillo tiene rebaba o línea de unión de moldeo fuera de especificación | Se revisaron los tres pistones de irrigación de las primeras piezas encontradas con modo de falla y tienen muy pronunciado la rebaba, no se pudieron medir con el actual método de medición, se intentó reproducir la falla sorteando el componente pistón con el mejor y peor caso pudiendo reproducir la falla con el peor caso de rebaba. |

La tercera causa potencial por parte del material resulto causa raíz ver figura 10 donde está la imagen de un pistón con los anillos ya ensamblados y una imagen ampliada del área de un pistón donde está la presencia de rebaba.

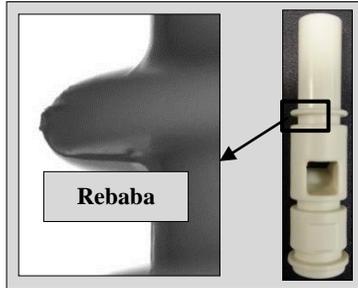


Figura 8. Presencia de rebaba en pistón.

Se pudo concluir que esta es la causa raíz ya que fue con la condición que se pudo reproducir el modo de falla, al reanudar producción normal con piezas del sorteo y equipo de medición ajustado empezó la cantidad de fugas a disminuir notablemente. Los primeros datos fueron obtenidos cuando el sistema de medición aun no era corregido Zona 1, los siguientes datos muestra el proceso con el sistema de medición corregido, la Zona 3 se refiere al periodo de variabilidad y la última zona se refieren a los datos capturados después de implementar las mejoras.

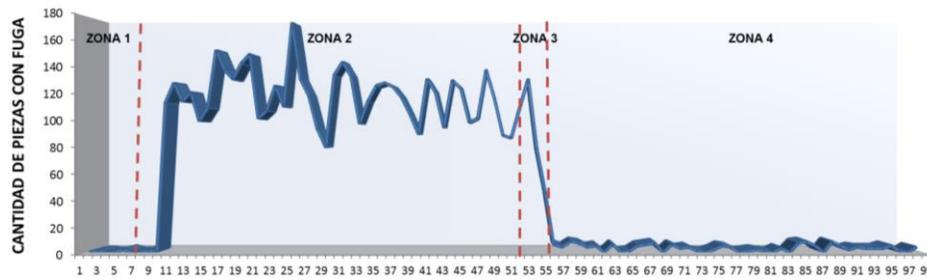


Figura 8 Cantidad de Fugas: previos, antes, durante y después.

Los datos del después graficados se muestran en control refiérase a Figura 12 donde se tiene una media de 3.39 piezas con fuga por lote. Respecto a la capacidad del

proceso (figura 12) se pudo observar que el Proceso Z es de 2.99 por lo tanto es aceptable ya que es mayor a 2.

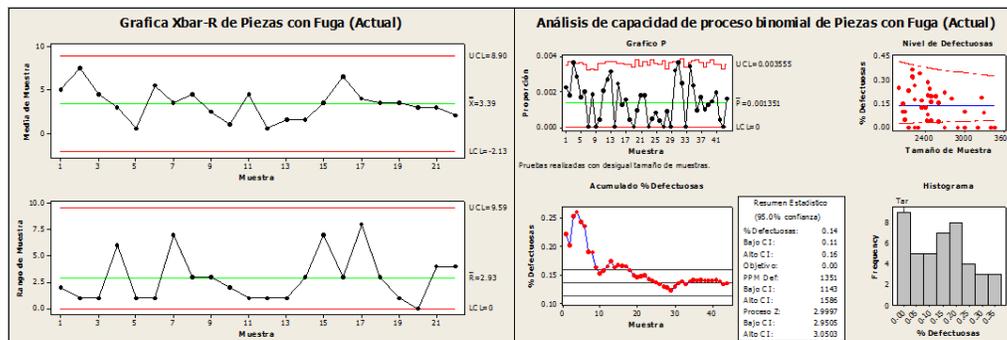


Figura 9. Gráfico de control y análisis de capacidad del proceso binomial.

Se utilizó prueba de dos proporciones para la validación de datos, la hipótesis que se había mencionado como se muestra ambos valor-p resultan 0 por lo

tanto se rechaza hipótesis nula confirmando que la causa raíz potencial fue identificada correctamente

T Prueba e Intervalo de confianza (CI) para dos proporciones

| | Muestra | X | N | Muestra p |
|---|---------|------|--------|-----------|
| 1 | | 5260 | 112342 | 0.046821 |
| 2 | | 149 | 110266 | 0.001351 |

Diferencia = $p(1) - p(2)$

Estimación para diferencia: 0.0454700

95% limite bajo para diferencia: 0.0444175

Prueba para diferencia = 0 (vs. >0): Z = 71.06 Valor P = 0.000

Prueba exacta de Fisher's valor P=0.000

Con esto se concluye se cumplió el objetivo ya que se rechazo hipótesis alternativa con evidencia estadística objetiva

además que con datos actuales el proceso de ensamble de NDH evacuador es capaz y está controlado.

Conclusiones

Se concluye que el objetivo se cubrió al lograr mejorar el proceso de ensamble y reducir el desperdicio utilizando las herramientas de seis sigma y validando los datos estadísticamente esto se realizó de una manera ordenada, intentado descartar toda posibilidad aunque fuera obvia, gracias a esto se aceleró la solución del problema.

Queda como experiencia y recomendación siempre verificar los sistemas de medición primero ya que gracias a esta investigación se logró detectar y mejorar la medición del proceso. Se creía que era un error de ensamble pero en realidad era un error de proveedor que gracias a utilizar las herramientas adecuadas y en orden se pudo deducir y corregir.

Cuando la intención es de reducir desperdicio y mejorar la calidad del proceso en general, se pueden emplear las herramientas utilizadas en este proyecto, el cual consistió en garantizar que se llevara a cabo un proceso formal y estructurado que asegurara llegar al objetivo.

Se aportó con la contribución durante el desarrollo del proyecto de establecer un diagrama de flujo que aplica en otra situación de problema ya sea fuera de especificación o control en un proceso y no solo a este proyecto y así se podrá utilizar como herramienta para la solución de futuros eventos.

También se aprendió a fundamentar las ideas a realizar para la solución del proyecto es decir estructurar una receta de

herramientas antes de ser utilizadas para tener una imagen más clara de cómo se va a

llegar a la solución del problema antes de la fase de ejecución de análisis.

Referencias

Cantú Delgado, H. (2001). Desarrollo de una cultura de calidad (22ª Edición) (Pág. 35). México: McGraw Hill.

Goffnett, S. (2004). Understanding Six Sigma Implications for Industry and Education (Volume 20, Number 4) (Pág.6). Journal of Industrial Technology.

Gutiérrez Garza, G. (2004). Aterrizando Seis Sigma (2ª Edición) (pp. 11-13). México: Regiomontanas.

Gutiérrez Pulido, H. y. (2004). Control Estadístico de la Calidad y Seis Sigma (Pág. 4). México: Editorial McGraw Hill.

Levine, D. M. (2006). Statistics for Six Sigma Green Belts. New Jersey, US: Pearson Prentice Hall.

Análisis de uso de un juego didáctico para la enseñanza de figuras geométricas

Manuel González¹, Noé Alba Baena¹, Cesar Arreola¹, Francisco Estrada¹, Antonio Antolin Fonseca¹,
Mario Elías Borunda Escobedo¹

¹Universidad Autónoma de Ciudad Juárez.

Resumen

En el siguiente documento se explica la utilización y los resultados de un prototipo automatizado para el aprendizaje de las figuras geométricas, esta es una innovación tecnológica que garantiza un aprendizaje sólido y rápido por medio de la interacción. Este prototipo, está dirigido a segundo grado de la educación básica por tener allí sus inicios con las figuras geométricas. Es un prototipo con características de un juguete, sus componentes y elementos pertenecen a una tecnología utilizada comúnmente en la industria, pero en esta ocasión se aplica a la educación por contar con algunos beneficios como: confiabilidad precios moderados y sobre todo de muy poco peligro para la interacción con los niños.

Palabras clave: Juguete interactivo, Juguete automatizado, Interacción con figuras geométricas.

Introducción

La educación juega un papel importante en la vida de cada individuo, el sistema educativo de un país tiene dos principales objetivos: primero, establecer en los estudiantes habilidades, conocimientos y actitudes fundamentales para su desarrollo económico, social y cultural. Segundo, reducir las diferencias en oportunidades entre los individuos sin importar su género. Desafortunadamente la educación en México atraviesa por un momento difícil, el sistema educativo está fallando al no garantizar una educación obligatoria, gratuita y sobre todo de buena calidad, esta situación tiene un fuerte impacto en el aprendizaje del alumno, sin embargo, este

problema es responsabilidad de todos como país; gobierno, alumnos, maestros, padres de familia y alumnos por no exigir una educación digna y sobre todo por no darle el valor adecuado a la educación (Animal Político, 2013).

El objetivo de este proyecto es ser llevado a la educación básica, es la etapa más representativa en la formación de la niñez, por esta razón se propone la utilización de un prototipo para mejorar el aprendizaje de alguna asignatura, en este caso se utiliza el tema de las figuras geométricas que son vistas por primera vez en segundo grado de primaria.

Este aparato integra: componentes mecánicos, electrónicos y neumáticos, cada componente tiene su tarea específica, algunos de ellos solo cambian de posición como figuras geométricas, otros encienden y apagan en un determinado momento, otros solo sirven para registrar algún movimiento dentro del prototipo. Este aparato está conformado por un control lógico programable PLC que representa la computadora principal, además cuenta con sensores que son los encargados de registrar y llevar la instrucción recibida, todos los elementos están condicionados para tener una interacción con el usuario. Este aparato tiene una programación simple y básica para realizar sus rutinas, además de no obligar al niño a un esfuerzo en su raciocinio sino dejarle un aprendizaje fácil y divertido.

El objetivo principal de este proyecto es utilizar un prototipo para mejorar el aprendizaje de las figuras geométricas en niños de segundo grado, poniendo a su disposición un método de enseñanza por interacción muy diferente al método tradicional.

Modelos de juegos interactivos previos

Juegos interactivos para aprender jugando, es un juego dirigido a niños y niñas de educación infantil y especial hecho por Salomé Recio Caride, consiste en un juego que permite trabajar con el teclado del ordenador y con el ratón, y se utiliza información auditiva, vídeos con lenguaje, refuerzos verbales de forma constante, efectos sonoros y voces naturales y expresivas (Recio, 2012).

Diseño de videojuego como apoyo en el aprendizaje de niños sordos entre los 5 y los 9 años es un juego que aborda el desarrollo un video juego educativo para niños entre 5 y 9 años de apoyo al aprendizaje del tema de órganos de los sentidos, relacionado los estándares del ministerio de educación en el área de ciencias Naturales (Carmona, Cruz, & Zabaleta, 2013).

Juego multimedia, didáctico e interactivo para el aprendizaje a temprana edad, Orlando Barcia Ayala, Mario Lazo Tuárez, Danny Maruri Morán, Guido Caicedo R, el prototipo consiste en un juego multimedia didáctico e interactivo que toma en cuenta las condiciones de motricidad e interacción a esas edades (Barcia, Lazo, Maruri, & Caicedo, 2009).

Descripción y funcionamiento del prototipo.

Este proyecto está dirigido a la educación básica, su objetivo es mejorar el aprendizaje en alguna asignatura o materia, para ello se utiliza un prototipo interactivo, el cual es una estación móvil que requiere energía eléctrica y energía neumática para su funcionamiento, una vez teniendo ambas fuentes de alimentación se puede iniciar el juego, para iniciar no debe de estar ninguna figura colocada en su cavidad, de lo contrario se indica mediante la luz roja del semáforo y una chicharra que hay alguna figura colocada y se debe de retirar para poder iniciar el ciclo, ahora el niño puede colocar su mano en la cavidad indicada, al ser detectada la mano enciende la luz ámbar del semáforo como señal juego en acción, aquí el niño debe de colocar cada una de las

doce figuras en su cavidad correspondiente, al momento de ser colocada cada figura es detectada por un sensor inductivo o para metal y enciende una luz de color verde como señal de colocación correcta, cada figura ya identificada es registrada en un control lógico programable o PLC que espera la colocación de las doce figuras colocadas, no existe un orden de colocación y el niño puede colocar la que más le agrade al momento.

Una vez colocadas las doce figuras geométricas en su cavidad se enciende la luz verde del semáforo como señal de que ha terminado el juego satisfactoriamente, además encienden tres interruptores luminosos, cada uno de ellos entrega una

respuesta al ser accionado como señal de victoria. El foco número uno de color azul al ser presionado activa una electro válvula y con ella inicia el movimiento un mono de tela simulando un baile, el foco número dos de color rojo al ser presionado activa una bocina recreando el canto de un gallo, el foco número tres de color rojo al ser presionado activa una segunda electro válvula y con ella inicia el movimiento de un segundo mono de tela simulando un baile, no importa el orden de presionar los focos, pues harán su función en cualquier momento y con ello se pone fin al juego, ahora ya se pueden retirar las figuras de su posición para iniciar otro juego. Los componentes del juego se muestran el Figura 1.

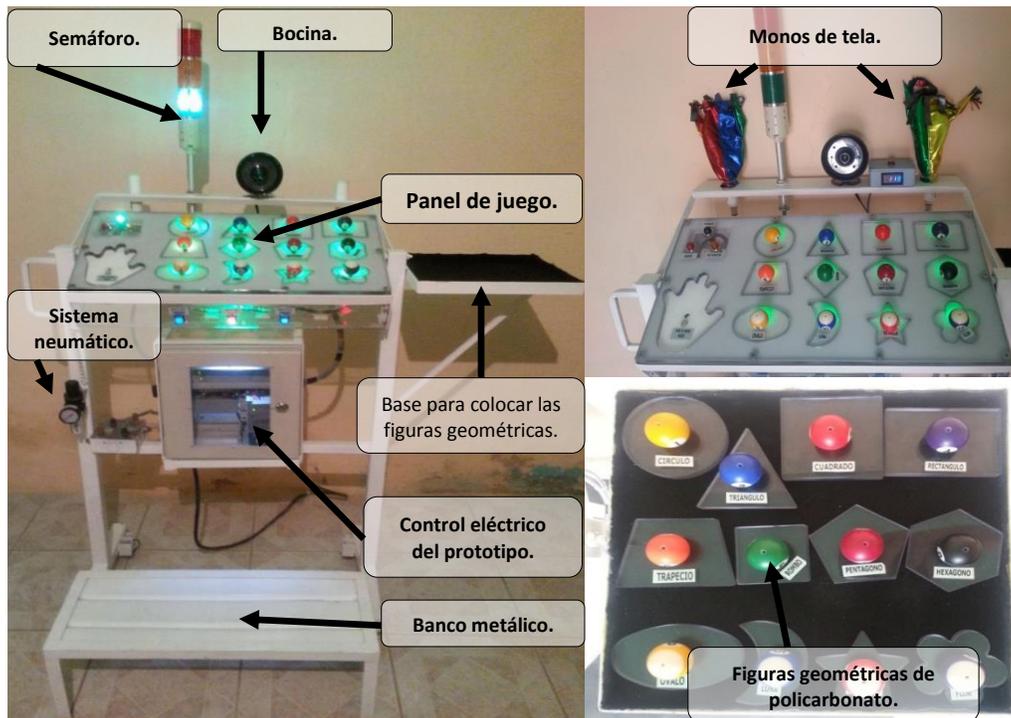


Figura 1. Prototipo y sus partes.

Partes esenciales del prototipo.

El control lógico programables PLC que es una máquina secuencial que ejecuta correlativamente las instrucciones indicadas en el programa de usuario almacenado en su memoria, generando unas órdenes o señales de mando a partir de las señales de entrada leídas, al detectarse cambios en las señales, el autómatas reacciona según el programa hasta obtener las órdenes de salida necesarias. Esta secuencia se ejecuta continuamente para conseguir el control actualizado del proceso (García, 2004).

Su utilización tiene grandes ventajas como: menor tiempo de elaboración de proyectos puesto que no es necesario dibujar el esquema de contactos, se le pueden añadir modificaciones sin costo agregado a otros componentes, utiliza un mínimo espacio de ocupación, menor costo de mano de obra por la instalación, mantenimiento económico, posibilidad de gobernar varias máquinas con el mismo PLC y un menor tiempo de puesta en funcionamiento. Para fines de este proyecto, este elemento resulta ser el

cerebro del prototipo, es el dispositivo que coordina cada uno de los movimientos realizados con las figuras geométricas.

Los Sensores inductivos los cuales sirven para detectar materiales metálicos ferrosos. Son de gran utilización en la industria, tanto para aplicaciones de posicionamiento como para detectar la presencia o ausencia de objetos metálicos en un determinado contexto: detección de paso, de atasco, de codificación y de conteo (Marcos, Vivas, Rodríguez, y Davila, 2002).

Este tipo de sensores, véase la Figura 2, llevan un devanado interno y cuando una corriente fluye por el mismo, se genera un campo magnético, el cual tiene la dirección de las flechas de color naranja, de manera que cuando un metal es acercado al campo magnético generado por el sensor de proximidad, este es detectado. Este componente tiene la tarea de detectar la presencia o ausencia de las figuras geométricas y así mismo entregar la señal recibida al PLC.

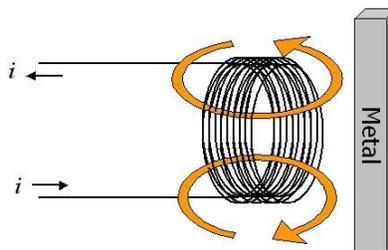


Figura 1. Sensor inductivo.

Los sensores capacitivos reaccionan ante metales y no metales que al aproximarse a la superficie activa sobrepasan una determinada capacidad. La distancia de conexión respecto a un

determinado material es tanto mayor cuanto más elevada sea su constante dieléctrica, este tipo de sensores está formado por un oscilador cuya capacidad la forman un electrodo interno y otro externo, el electrodo

externo puede estar realizado de dos modos diferentes; en algunas aplicaciones dicho electrodo es el propio objeto a censar, previamente conectado a masa; entonces la capacidad en cuestión variará en función de la distancia que hay entre el sensor y el objeto. La tarea de este elemento dentro del prototipo es iniciar la secuencia del juego una vez que sea colocada la mano del niño sobre la cavidad, de esta manera será recibida la señal y entregada al PLC (Vilas, Marcos, Perez, y Quintans, 2005).

Metodología del proyecto.

La metodología para la utilización del prototipo en nivel básico está representada por una serie de pasos dados a continuación.

Identificación del problema, se tiene que actualmente la educación en el país atraviesa por un momento difícil, principalmente en la educación básica, pues los niños cuentan con un pobre y lento aprendizaje en las diferentes asignaturas, aunque existen diferentes razones todos somos partes de esta problemática, gobierno, ciudadanos, padres de familia, estudiantes, profesionistas y hasta el mismo niño por su falta de interés.

Recolección de información se busca información fundamentada de la cual se puede partir para poder atacar una parte del problema, encontrando como área de oportunidad mejorar el aprendizaje de los

niños de nivel básico, segundo grado específicamente.

Búsqueda de soluciones creativas, se analizan diferentes alternativas para llevar un aprendizaje más sólido al niño, encontrando que la mejor opción es mediante la interacción, agregándole a ello la fusionarlo con ciencia, tecnología e innovación, para ello se utiliza el prototipo antes descrito.

Evaluación del prototipo seleccionado, se tiene un acercamiento con el prototipo y una etapa de pruebas con un tiempo de dos semanas, donde se observa el comportamiento del juego, se evalúa cada una de sus rutinas, cada una de sus respuestas, esta etapa previa a integración del prototipo con una escuela de nivel básico.

Validación del prototipo, se da a través de la visita a una escuela de nivel básico, en ella se pide la colaboración de niños de segundo grado, se les coloca un examen previo al uso del aparato, posteriormente cada uno de ellos utiliza el juego en tres ocasiones, una de ellas apagado y otras dos con el aparato encendido, y por último se aplica un examen posterior al uso del aparato, a partir de allí se hacen estudios estadísticos para entender el comportamiento del método interactivo contra el método tradicional en dicha escuela.

Resultados

Se elige una escuela de nivel básico de bajos recursos para presentar, utilizar y validar el prototipo, en dicha escuela se pide la

colaboración de dos grupos de segundo grado, cada uno de ellos tiene un total de 25 niños, con todos reunidos en un salón de

clase, se muestra el aparato, se explican los objetivos, se explica el funcionamiento del aparato y se describe la dinámica de la actividad.

El principal objetivo es confirmar que el prototipo deja más aprendizaje de las figuras geométricas que el modelo

tradicional, para ello se utiliza una herramienta estadística con una prueba t de dos muestras entre el examen previo y posterior al uso del prototipo, obteniendo un valor p menor a 0.05, lo cual indica que el objetivo general se cumple satisfactoriamente, véase la Figura 3.

| T de dos muestras para Aciertos Examen previo vs. Aciertos Examen posterior | | | | |
|------------------------------------------------------------------------------------|----------|--------------|------------------|-----------------------------------|
| | N | Media | Des. Est. | Error estándar de la media |
| Aciertos Examen previo | 50 | 4.32 | 1.30 | 0.18 |
| Aciertos Examen posterior | 50 | 11.200 | 0.948 | 0.13 |

Diferencia = μ (Aciertos Examen previo) - μ (Aciertos Examen posterior)
 Estimado de la diferencia: -6.880
 Límite superior 95% de la diferencia: -6.502
 Prueba T de diferencia = 0 (vs. <): Valor T = -30.23 **Valor P = 0.000** GL = 89

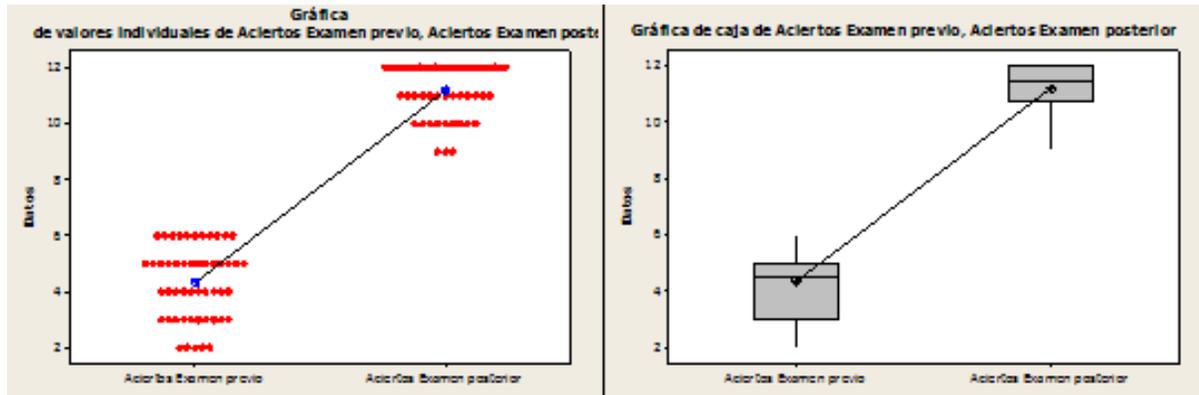


Figura 2. Gráfica de valores individuales y gráfica de caja ambas de los aciertos

En las gráficas anteriores se puede observar claramente que existe un cambio entre el conocimiento de las figuras geométricas antes y después del uso del prototipo. También se tienen algunos objetivos específicos como; validar estadísticamente el funcionamiento del prototipo, que el niño conozca y aprenda las figuras geométricas por su nombre y forma más rápido con el método propuesto que con

el método tradicional, mejorar la habilidad y destreza de las manos de cada niño y que pierda temor a la ciencia, tecnología e innovación desde temprana edad.

Para lograr los objetivos ya mencionados se pide ayuda a un total de 50 niños, los cuales son dos grupos de segundo año, cada uno de ellos utiliza el aparato en tres ocasiones, una en modo apagado y dos en modo encendido.

a) Se utilizan los tiempos tomados en la operación del prototipo en modo apagado y modo encendido por primera ocasión para ser analizados estadísticamente mediante una prueba t pareada y se obtiene un

valor p menor a 0.05, lo cual indica que el niño agarra cierta habilidad en el modo encendido por primera ocasión, véase la Figura 4, comparado con el modo apagado.

T pareada para apagado-Encendido 1

| | N | Media | Des. Est. | Error estándar de la media |
|-------------|----|-------|-----------|----------------------------|
| Apagado | 50 | 40.40 | 10.77 | 1.52 |
| Encendido 1 | 50 | 32.25 | 9.15 | 1.29 |
| Diferencia | 50 | 8.145 | 5.093 | 0.720 |

Límite superior 95% para de la diferencia: 6.937

Prueba T de diferencia media = 0 (vs. >0): Valor T = 11.31 **Valor P = 0.000**

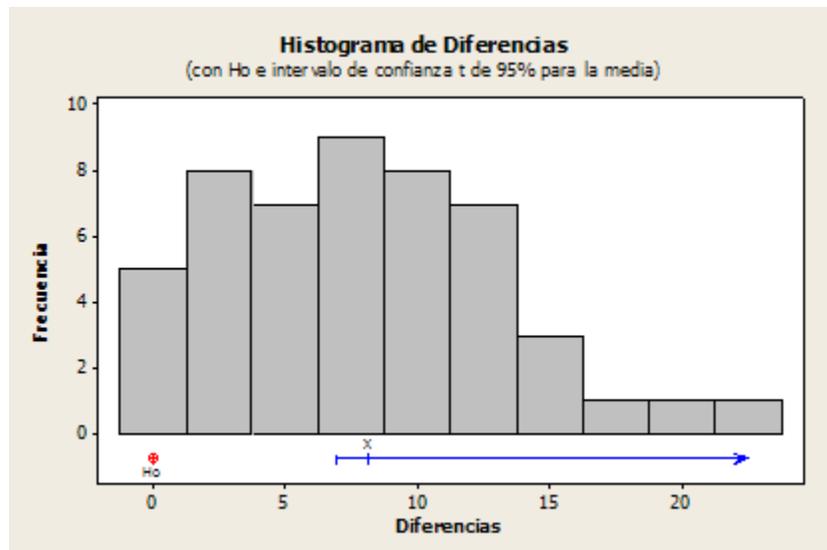


Figura 3. Histograma de diferencias modo apagado-modo encendido 1

En el histograma de diferencias se puede apreciar que el tiempo de operación del prototipo es mayor con el aparato apagado que en modo encendido, teniendo una durando de cero a quince segundos.

apagado y modo encendido por segunda ocasión para ser analizados estadísticamente mediante una prueba t pareada y se obtiene un valor p menor a 0.05, lo cual indica que el niño agarra cierta habilidad en el modo encendido por segunda

b) Se utilizan los tiempos tomados en la operación del prototipo en modo

ocasión comparado con el modo

apagado, véase la Figura 5.

T pareada para apagado-Encendido 2

| | N | Media | Des. Est. | Error estándar de la media |
|-------------|----|--------|-----------|----------------------------|
| Apagado | 50 | 40.40 | 10.77 | 1.52 |
| Encendido 2 | 50 | 28.22 | 8.63 | 1.22 |
| Diferencia | 50 | 12.181 | 5.786 | 0.818 |

Límite superior 95% para de la diferencia: 10.809

Prueba T de diferencia media = 0 (vs. >0): Valor T = 14.89 Valor P = 0.000

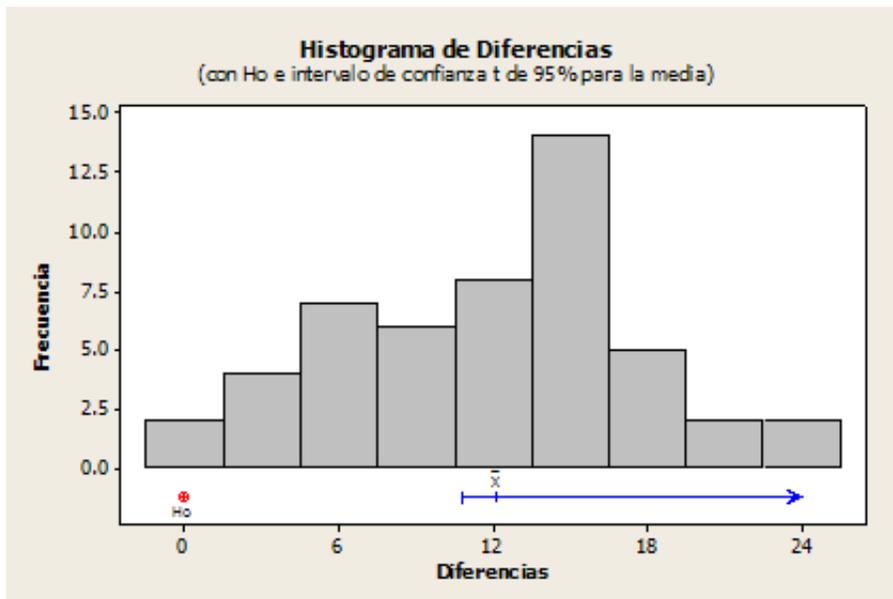


Figura 4 . Histograma de diferencias modo apagado - modo encendido 2

En el histograma de diferencias se puede apreciar que el tiempo de operación del prototipo es mayor con el aparato apagado que en modo encendido por segunda ocasión, teniendo una duración de cero a dieciocho segundos.

c) Por último se utilizan los tiempos tomados en la operación del prototipo en modo encendido por

primera ocasión y modo encendido por segunda ocasión para ser analizados estadísticamente mediante una prueba t pareada y se obtiene un valor p menor a 0.05, lo cual indica que el niño ya tiene una mejor habilidad en el modo encendido por segunda ocasión comparado con el modo encendido por primera ocasión, véase la Figura 6.

T pareada para Encendido 1-Encendido 2

| | N | Media | Des. Est. | Error estándar de la media |
|-------------|----|-------|-----------|----------------------------|
| Encendido 1 | 50 | 32.25 | 9.15 | 1.29 |
| Encendido 2 | 50 | 28.22 | 8.63 | 1.22 |
| Diferencia | 50 | 4.036 | 2.456 | 0.374 |

Límite superior 95% para de la diferencia media: 3.409

Prueba T de diferencia media = 0 (vs. >0): Valor T = 10.79 Valor P = 0.000

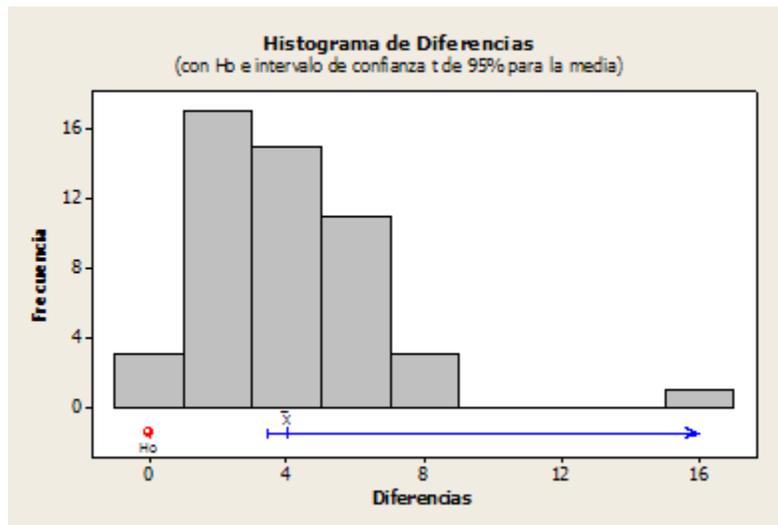


Figura 5. Histograma de diferencias modo encendido 1 - modo encendido 2

En el histograma de diferencias se puede apreciar que el tiempo de operación en modo encendido por segunda ocasión es

menor al tiempo de operación en modo encendido por primera ocasión.

Conclusiones

Se logra utilizar y validar el prototipo en una escuela primaria, con la utilización del aparato por niños de segundo grado se puede recabar información para comprobar que el método interactivo deja mejores resultados en el aprendizaje que el método tradicional, el prototipo resulta ser muy atractivo y divertido para los niños que lo utilizan, se colocan un examen previo y

uno posterior al uso del aparato donde claramente se mira una mejoría después del uso del aparato, además con tres veces que utiliza cada niño el aparato se mira una toma de habilidad en sus manos, así como también se observa que los niños pierden el temor por la tecnología entre más utilizan el aparato.

Agradecimientos

El autor principal agradece a todas las personas que ayudaron de alguna manera directa o indirecta para el desarrollo de este proyecto principalmente, Dr. Noé

Gaudencio Alba Baena, Dr. Javier Molina Salazar, Dr. Francisco Javier Estrada, Maestro. Luis Ricardo Vidal Portilla.

Referencias

Animal Político. (2013, diciembre 3). México, el peor de la OCDE en educación. En <http://www.animalpolitico.com/2013/12/mexico-el-peor-de-la-ocde-en-matematicas-lectura-y-ciencias/>, Octubre, 2014.

Barcia, O. Lazo, M. Maruri, D. Caicedo, G. (2009). Juego multimedia, didáctico e interactivo para el aprendizaje a temprana edad. Tesis de Escuela Superior Politecnica del Litoral. En: <http://192.188.59.56/bitstream/123456789/703/1/1215.pdf>

Carmona, Y. D., Cruz, F. L., Zabaleta G. V. (2013) Diseño de videojuego como apoyo en el aprendizaje de niños sordos entre los 5 y los 9 años Carmona Medrano,. Tesis de Corporación Universitaria Rafael Núñez, Colombia. En: <http://siacurn.curnvirtual.edu.co:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/808/DISE%C3%91O%20DE%20VIDEOJUEGO%20COMO%20APOYO%20EN%20EL%20APRENDIZAJE%20DE%20NI%C3%91OS%20SORDOS%20ENTRE%20LOS%205%20Y%20LOS%209%20A%C3%91OS.pdf?sequence=1>

García, F. J. (2004). Control Lógico Programable, Universidad Tecnológica de Puebla. En: <http://electricidad.utpuebla.edu.mx/Manuales%20de%20asignatura/5to%20cuatrimestre/Control%20logico%20programable.pdf>

Marcos, J. Vivas, C. Rodríguez, F. y Davila, M. A.. (2002). Maqueta para la realización de prácticas de laboratorio con sensores de proximidad inductivos y capacitivos. V Congreso de Tecnologías. Aplicadas a la Enseñanza de la Electrónica (TAEE 2002). Las Palmas de Gran Canaria. 13 – 15.

Recio S. (2012). Juegos interactivos para aprender jugando. Murcia: Consejería de Educación, Formación y Empleo. En: <http://diversidad.murciaeduca.es/publicaciones/dea2012/docs/srecio.pdf>

Vilas, J.M. Marcos, J. Perez S.y Quintans. C. (2005). Sistema multimedia para la enseñanza de los sensores de proximidad. Simposio Nacional de Tecnologías de la Información y de las Comunicaciones en la Educación (SINTICE2005). Granada, España.

Integración de un control automático de conmutación eléctrica

Pedro Hernández¹, Noé Alba Baena¹, Francisco Lopez¹, Rafael Martínez Peláez¹,
José Manuel Mejía Muñoz¹, Erika Guadalupe Meraz Tena¹

¹Universidad Autónoma de Ciudad Juárez.

Resumen

En este proyecto se implementa un prototipo de control de conmutación eléctrica de diferentes fuentes de alimentación eléctrica, las cuales brindan la seguridad de que una carga eléctrica este energizada, mientras alguna de las alimentaciones eléctricas este presente. La alimentación de respaldo y principal pueden ser de red eléctrica, de un generador de combustible y/o de energías renovables, según se tenga la disponibilidad de alguna una de estas clases de alimentaciones eléctricas. Para implementar el prototipo, se utilizo la plataforma electrónica Arduino que es una placa para realizar proyectos de control, y se utilizo el software labview, que muestra en un panel de control la situación actual del proyecto, lo cual hace más visible las graficas de las salidas y entradas. Es importante mencionar que el arduino es capaz de simular el comportamiento de sistemas eléctricos, por ello resulto una herramienta de control bastante eficaz y simple de utilizar. También resulta importante mencionar que este proyecto funciona como un buen antecedente para poder realizar investigaciones futuras en el área de control y generación de un control que mantenga de manera permanente energizada una carga eléctrica. Finalmente el control de conmutación eléctrica por medio del arduino, resulto una buena opción de diseño, ya que cumplió con el objetivo propuesto, obteniendo un control de bajo costo, fácil diseño y confiable.

Palabras clave: Arduino, Conmutación eléctrica, Circuitos, Control automático.

Introducción

El control automático moderno surgió hace varias décadas debido en gran parte a la necesidad de la industria mundial de hacer más eficientes los distintos procesos de producción (Kuo, 1996).

Al incrementar la complejidad de los sistemas en la industria, también aumento la cantidad de variables físicas a controlar y vigilar. El control automático viene entonces a compensar la incapacidad del ser humano para realizar ciertas actividades, puesto que su sensibilidad y respuesta a estímulos es muy limitada en comparación a una máquina (Mandado, Marcos, Fernández, y Armesto, 2009).

Sin embargo, aún con muchos años de existir, el control automático todavía pasa por una etapa de desarrollo e innovación. Existe en la industria, mucho interés en invertir en investigación y perfeccionamiento de métodos de control cada vez más avanzados y prácticos (principalmente en los países desarrollados). Otro motivo de la implementación de controles automáticos es la demanda de mayor productividad, que aunado a los recortes de presupuesto y reducción de las plazas de trabajo resultan importantes para las grandes compañías que quieren mantenerse vigentes en el

competitivo mercado (Ochoa y Espinoza 2012).

Por otra parte son innumerables los casos en que por fallas en la provision de energía eléctrica se puede producir accidentes. Hoy en día, no solo existen sistemas electromecánicos industriales o domiciliarios accionados por corriente eléctrica, sino también una gama de equipamiento hospitalario que no puede quedarse sin energía. Esto llevo a la implementación de los denominados sistemas auxiliares de abastecimiento de energía que son manejados por un control de conmutación que nos asegura un suministro constante de energía.

El tablero de transferencia es un sistema de control automatizado diseñado que opera en forma continua para alimentar las cargas conectados a la unidad básica de transferencia ya sea por el lado de respaldo con la planta eléctrica de emergencia o por energías renovables también de respaldo.

Por otro lado el PLC (Controlador Lógico Programable) es utilizado también para crear controles de conmutación eléctrica. Para este proyecto se utilizó el microcontrolador por su flexibilidad y versatilidad, un ejemplo de ello es en la utilización como cerebro de una gran variedad de sistemas de automatización en la industria domótica, y en dispositivos de la vida diaria como vehículos. Para la implementación, se decidió utilizar hardware y software libres, por lo que se utilizó la plataforma electrónica Arduino que cumple con esos requisitos. También cabe mencionar que este control es de lazo abierto.

La aparición de la primera generación de computadoras en los años 40's y 50's generó una revolución en la velocidad de solución de los problemas matemáticos y los automatismos auxiliados por estas máquinas. Con el desarrollo actual de la informática y la aparición de cada vez más poderosos microprocesadores, se ha logrado desarrollar complejos sistemas de monitoreo, control, y automatización computarizados, estos sistemas reciben el nombre de instrumentos virtuales, ya que aprovechan la potencia de cálculo, productividad y capacidad de conexión de las computadoras, a través de las cuales se realizara la simulación e implementación del control (Lajara, y Pelegrí, 2011). Un ejemplo de ello es el software de ingeniería labview que es bastante amigable y tiene la virtud de ser muy visual y vistoso además de fácil de entender. Este software es compatible con la placa arduino por lo cual es una combinación que se utiliza para controlar el prototipo y mostrarlo de una manera entendible. Otra cosa importante de mencionar es que las alimentaciones además de la red eléctrica pueden ser: Sistema fotovoltaico que inclusive ya se utilizan en la red pública, esto es importante porque es una alternativa viable para el consumo de electricidad. Los paneles solares son generadores de potencia que puede y debiera ser utilizada para respaldo del suministro de energía eléctrica

La necesidad de utilizar energías de fuentes renovables radica en que la energía es una de las problemáticas que definirán el destino de México y el mundo. Las fuentes primarias de energía que dominan en el

mundo son los hidrocarburos (Estrada & Arancibia, 2010).

El potencial solar que tiene la Tierra es enorme, se recibe una gran cantidad de energía procedente del Sol que en lugares

favorables puede llegar a ser del orden de 2000 kW/m² anuales; el 2% de ella se transforma en energía eólica capaz de proporcionar una potencia del orden de 10¹⁷ kW (Fernández, 2007).

Metodología

La Figura 1 muestra el diagrama de flujo de la metodología que se desarrollarán en este trabajo con la finalidad de buscar resultados que ayuden a concluir con los objetivos planteados.

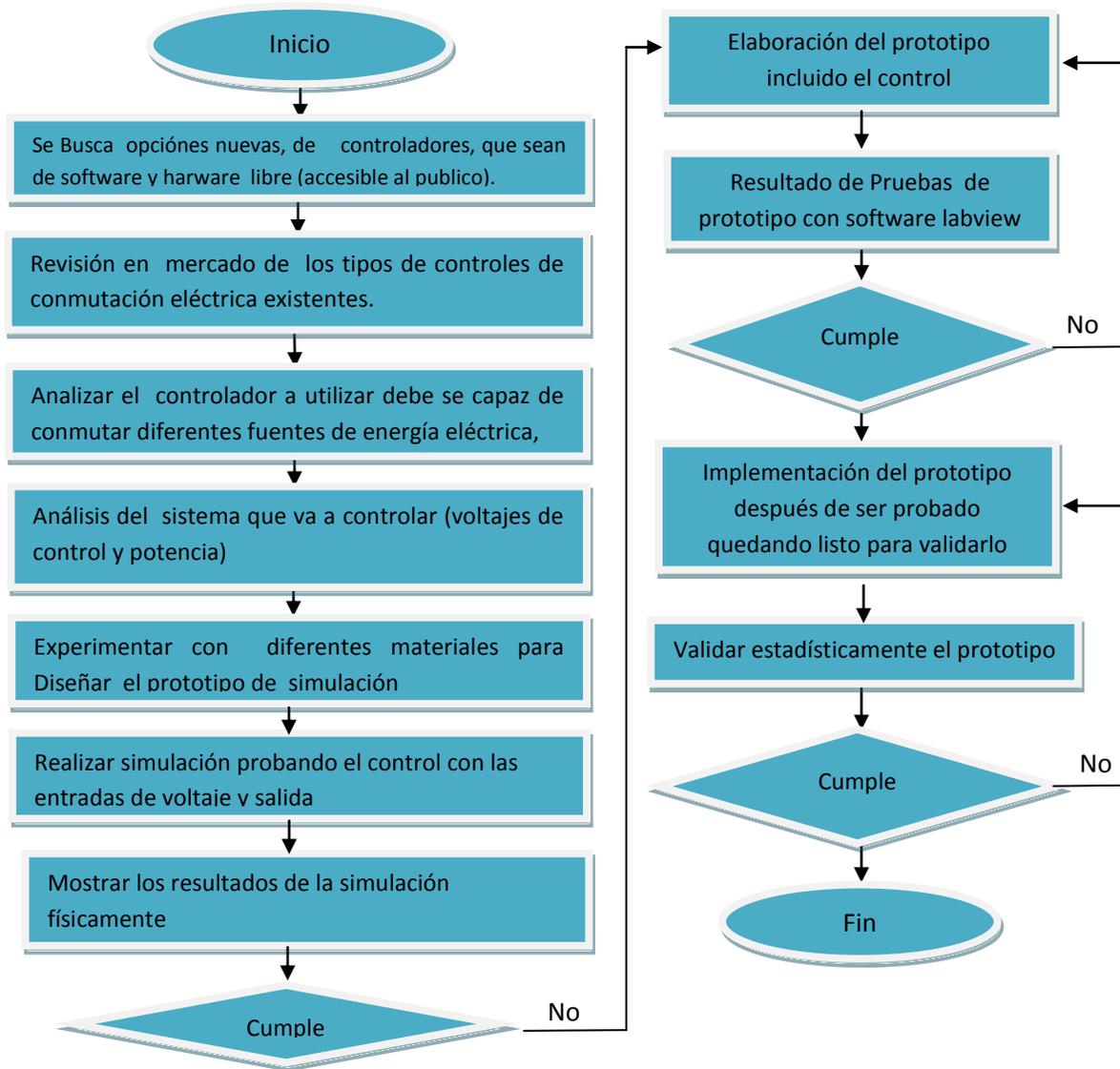


Figure 1 Diagrama de flujo de la metodología

Resultados

Desarrollo del concepto

Para este prototipo se tienen tres alimentaciones que deben servir de respaldo y principal según sea el caso, las cuales deben ser conmutadas según las necesidades de la salida. Se eligió la placa Arduino como controlador por ser un dispositivo de bajo costo y fácil programación, también para este prototipo se utilizó voltajes que fueran de seguridad pero que a su vez fueran capaces de controlar señales de potencia. La placa Arduino utiliza 5 volts de corriente directa, para las acciones de control. Este voltaje es bastante accesible y seguro por lo cual los dispositivos a manejar en su salida son de 5 volts de corriente directa. Para la simulación del voltaje proporcionado por una fuente renovable se optó, por una pila de 9 voltaje directo al cual se conectó en su salida un regulador de voltaje de 5 volts de salida, además de acondicionar otras señales para tener otras

Fuentes de voltaje. Estas Fuentes de energía son controladas por el Arduino en base a señales e digitales.

Desarrollo del prototipo

Diseño del circuito de acondicionamiento de señales de voltaje

El diseño de la planta, para de modelar las tres Fuentes de energía mencionadas, tenía que ser una muy cercana a la realidad, confiable y segura por lo cual se optó por el uso de la electrónica de potencia (optoacopladores, triac, etc) para aislar el control de la potencia, para el control se utilizaron Fuentes de poder de 5 volts de corriente directa como ya fue mencionado.

Fue necesario construir 2 fuentes de poder que mantuvieran 5 VCD (voltaje de corriente directa), para la alimentación de Arduino y la conmutación de los optoacopladores, véase la Figura 2.

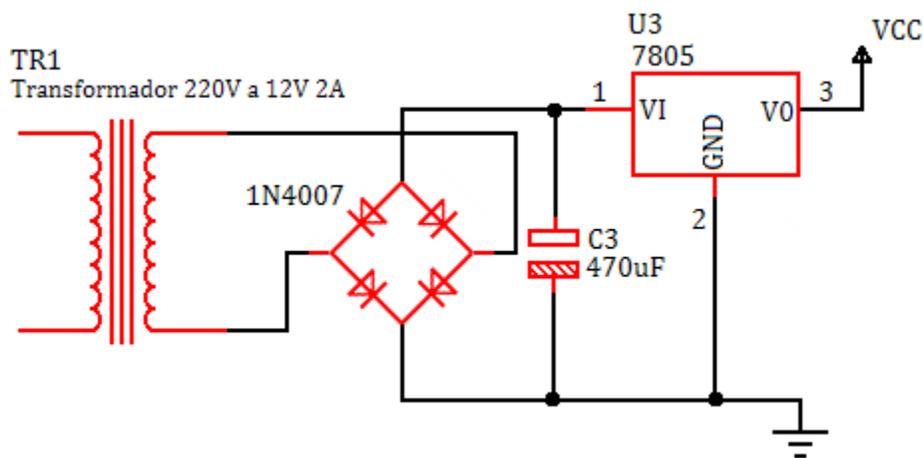


Figura 2: Diagrama de fuentes de poder de 5 volts

Se realizaron pruebas buscando los materiales apropiados que cumplieran con el objetivo de diseñar el prototipo. Estos deberían ser capaces de brindar seguridad y confiabilidad al proyecto, la seguridad es de vital importancia porque la placa Arduino mega trabaja en sus entradas y salidas con 5 volts de corriente directa. Cualquier incremento en el voltaje o entrada de voltaje de otro sistema, como el voltaje alterno, causa serios percances en el controlador, que pueden incluso quemarlo. Así que la mejor opción son los optoacopladores porque aíslan completamente a la placa Arduino del sistema a controlar. El optoacoplador es el

4N28, el cual cuenta con un fotodiodo que le envía una señal a un fototransistor, el cual cierra circuitos aislados del control, y aísla cualquier entrada de potencia que venga del exterior. Como indicador se colocó un led por entrada y uno para salida para tener monitoreado nuestro sistema. Se utilizaron dos resistencias para protección tanto del led indicador como del led del optoacoplador. Del lado de led del optoacoplador se conecta a positivo de las fuentes y también a cada entrada del Arduino mega previamente programado.

En la Figura 3 se muestra el diagrama de los componentes y como es conectado a la placa Arduino.

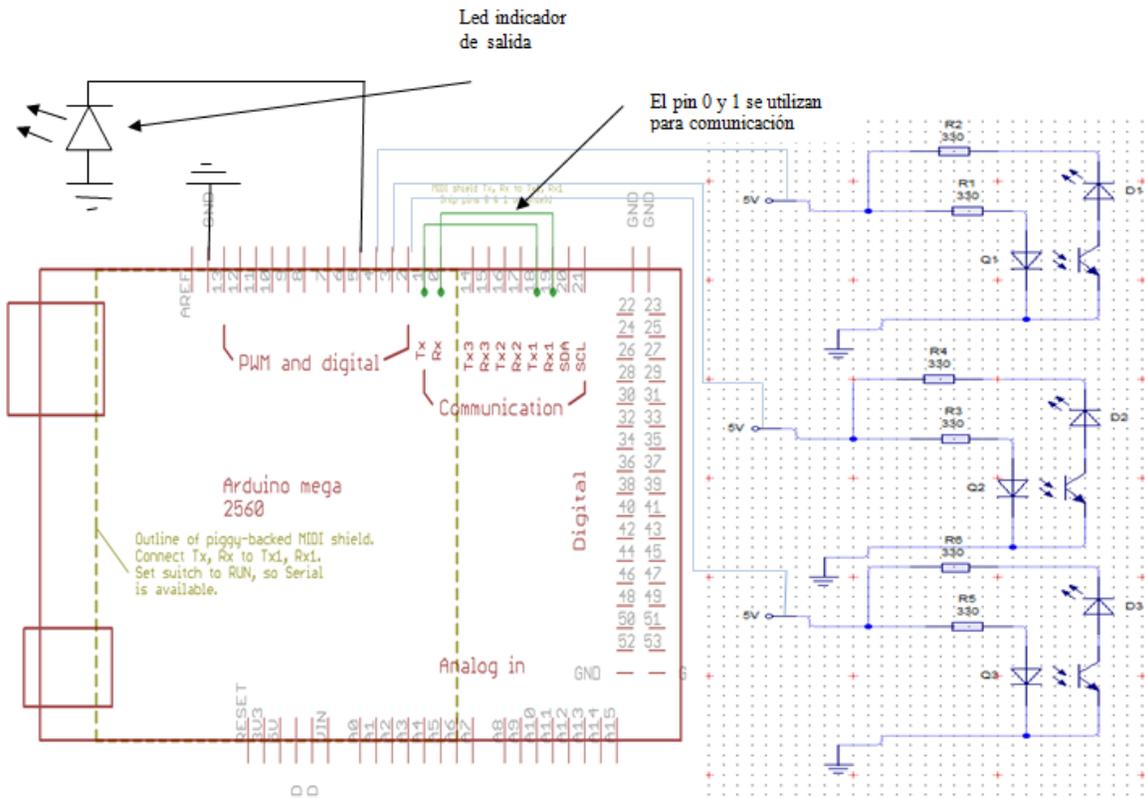


Figura 3: Diagrama de componentes

Programación del Arduino con Labview

Como se observa en la Figura 4 el programa se toma como variables de entrada, tres pins digitales de Arduino los cuales son el 2,3,4, así mismo se toma el pin 5 también digital como salida, de esta manera cuando este activada una de las entradas la salida estará activada.

Este programa es básicamente un **OR**, en español un **O** lo cual quiere decir una conjunción mientras tenga un 1 o encendido en la entrada, tendrá un 1 en la salida.

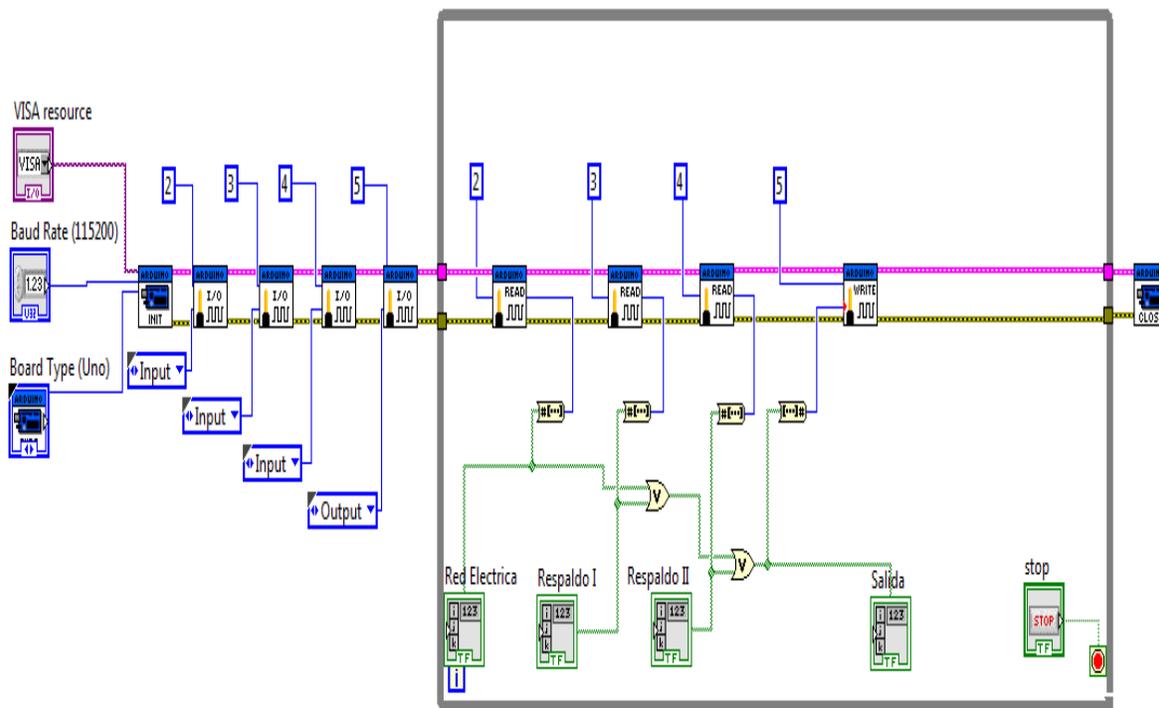


Figura 4 Programa en Labview

Implementación del prototipo

En las ilustraciones mostradas en la Figura 5 se muestra la conexión del prototipo con la interfase de labview a la computadora, además se puede observar como, teniendo una entrada energizada tenemos la salida también energizada y en consecuencia

tenemos constante un voltaje. Por otro lado también se muestra una caída de tensión marcada en el multímetro esto es causado por la resistencia de los cables conductores utilizados que es de 11.55Ω y el amperaje que entrega el Arduino que son 40mA- Usando la ley de ohms

$$V = R \times A \text{ (Voltaje = Resistencia por Amperaje)}$$

$$11.55\Omega \times .40A = 4.62v.$$

Cabe destacar que esta caída de tensión no afecta el desempeño control, puesto que es de 0.38 v, no tiene gran significancia, ya que manera dispositivos electronicos de control, y no la fuerza que esa si necesita mas potencia eléctrica.

En la figura 6 se muestra como el voltaje se mantiene constante y que al ser un prototipo, existió un falso contacto y el voltaje cayó a 0 pero después se mantuvo constante.



Figura 5: Pruebas realizadas

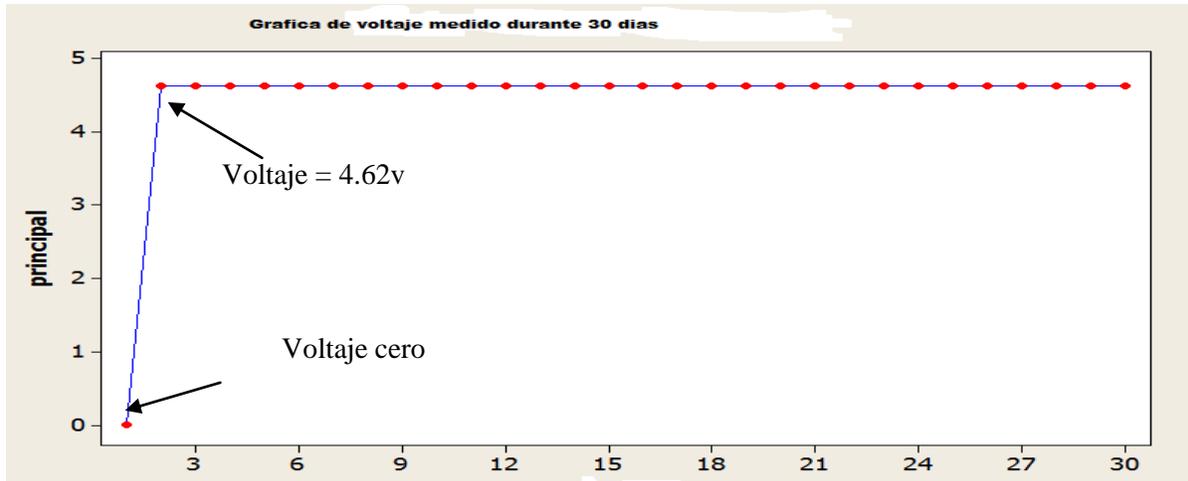


Figura 6: Voltaje medido

Validación del proyecto

Validar la simulación estadísticamente

Para la validación estadística Se recolectan datos de pruebas de las muestras antes expuestas en las figuras de cada una de las entradas al encender la salida. Este dato significativo es el voltaje medido por el

múltímetro. Aquí se puede ver que la mayoría de los datos contienen el dato de voltaje de 4.62 v. También es importante estipular que cuando aparecen ceros en la tabla fue debido a falsos contactos en el sistema y que fueron corregidos y después de estas correcciones en el prototipo, se mantiene constante el voltaje y en una media.

Descripcion estadística : Principal

| Variable | media | Desviacion Estandar | Mediana |
|-----------|-------|---------------------|---------|
| Principal | 4.312 | 1.172 | 4.620 |
| Principal | | | |

Descripcion estadística : Respaldo 1

| Variable | media | Desviacion Estandar | Mediana |
|------------|-------|---------------------|---------|
| Respaldo 1 | 4.312 | 1.172 | 4.620 |
| Respaldo 1 | | | |

Descripcion estadística : Respaldo 2

| Variable | media | Desviacion Estandar | Mediana |
|------------|-------|---------------------|---------|
| Respaldo 2 | 4.466 | 0.843 | 4.620 |

Conclusiones y Recomendaciones

Este proyecto, logro adentrarse en el conocimiento experimental del control, para lo cual fue necesario aprender acerca de la tarjeta Arduino, y su múltiple uso en el control así como el uso del software Labview, que al ser muy amigable y gráfico es capaz de mostrar datos y señales que son entendibles fácilmente.

Con los resultados obtenidos de la recolección de datos se validó el funcionamiento del prototipo. El cual no pudo ser comparado para validar contra otro equipo igual porque no se encontró datos estadísticos que contribuyeran a realizar una comparación con el prototipo del este proyecto.

Este control debido a su versatilidad puede controlar diferentes voltajes, necesarios para el funcionamiento de equipos diversos, tanto en corriente alterna como en directa.

Se observó que la utilización del Arduino como un sistema de adquisición de datos es una buena opción, en interface con el software LabVIEW, para proyectos de control.

Las recomendaciones son:

Probar el control con señales analógicas, ya que este prototipo de control realizado en este proyecto funciona con señales digitales, después convendría comparar las señales para buscar tener otra perspectiva.

Incluir tiempos entra las caídas de tensión de las fuentes y mostrarlo, es decir que de tiempo a recuperarse a la fuente de alimentación si es una falla momentánea o dejar entrar la fuente de alimentación de respaldo. Todo mostrado gráficamente en labview.

Referencias

Estrada, C. A., & Arancibia, C. A. (2010). Las energías renovables: la energía solar y sus aplicaciones. Revista digital universitaria 11, 1-27.

Fernández, P. (2007). Energía eólica. línea], España: Departamento de Ingeniería Eléctrica y Energética, Universidad de Cantabria, 1-19.

Kuo, B. (1996). *Sistemas de control automático*, Séptima Edición, México: Prentice Hall Hispanoamérica,.

Lajara, J. R., & Pelegrí, J. (2011). LabView: entorno gráfico de programación. México: marcombo.

Mandado, E. Marcos, J. Fernández, C. Armesto, J. (2009). "Autómatas programables y sistemas de automatización", Segunda Edición, España: Marcombo S.A.

Ochoa, J. V., & Espinoza, P. J. (2012). Diseño e implementación de un módulo entrenador para transferencia automática de energía eléctrica (Doctoral dissertation).

Modelo estructural del síndrome de *Burnout* y obesidad en mandos medios y superiores de la industria maquiladora en Ciudad Juárez

María del Rocío Camacho Alamilla¹, Aidé Aracely Maldonado Macías¹, Jorge Luis García Alcaraz¹,
Jesús Gonzalo Palacios Valerio¹, José Jorge Valenzuela Corral¹

¹Universidad Autónoma de Ciudad Juárez.

Introducción

En este artículo se exponen el contenido del trabajo como un desencadenante del Síndrome de Burnout (BO) y sus antecedentes, así como, los efectos negativos de ambos sobre la obesidad y las organizaciones.

Antecedentes

Desde la década de los setenta, una gran mayoría de los modelos aplicados al estudio del estrés laboral se han basado en la falta de ajuste entre las demandas de la organización y los recursos del individuo para afrontarlas. Sobresale el de Demandas-Control (Karasek, 1979; Karasek y Theorell, 1990), el cual sugiere que el desarrollo de las enfermedades en el trabajador surgen cuando los empleos son muy demandantes, con bajo control y baja ayuda social (Karasek, Baker, Marxer, Ahlbow, Theorell, 1981) generando una mala calidad en el trabajo (Nakata, Takahashi, Ikeda, Hojou y Araki, 2007). Éstas consecuencias, han contribuido que su estudio sea tema de interés central para las sociedades y los gobiernos (Gil-Monte, 2010).

Actualmente variables como la alta carga de trabajo, el control y la pobre habilidad de discreción así como, la inseguridad laboral han sido asociadas a la pérdida de productividad (Van den Berg, Robroek, Plat, Koopmanschap & Burdorf, 2011). Por otra parte, autores como, (Alarcón, 2011; Maslach, Schaufeli y Leiter, 2001; Castanheira y Chambel, 2013), han relacionado alguna de estas características de éste modelo como causas del desarrollo de BO. Un síndrome considerado un riesgo psicosocial principal de los países en desarrollo (Patlán, 2013), cuyas dimensiones clave son un agotamiento emocional, cinismo y una baja eficacia profesional provocada por estresores en el contexto laboral (Martínez, 2010). Si bien, en México, las profesiones comúnmente analizadas son médicos (19.3%) y enfermeras (17.9%) (Juárez-García, Idrovo, Camacho-Ávila y Placencia-Reyes, 2014), se ha encontrado un 30% de prevalencia los mandos medios y superiores de la industria automotriz de Ciudad Juárez (Camacho, 2013; Camacho, Maldonado, García y Hernández, 2014); sin embargo, aún faltan áreas por explorar

sobre todo con mejores diseños de investigación (Juárez et al, 2014).

Los efectos perjudiciales para la salud de los trabajadores asociados a los factores de riesgo psicosocial han sido demostrados en varias investigaciones (Charria, Sarsosa y Arenas, 2011). Destacan enfermedades del corazón, problemas cerebrovasculares, y la diabetes tipo II y la obesidad, primeras causas de muerte entre los fronterizos (Félix, 2013). Esta última, de acuerdo con Luckhaupt, Cohen, Li y Calvert (2014), se ha asociado en varias investigaciones con el modelo de demanda-control ya que el ser una enfermedad multicausal, puede incluir varias características del trabajo. Además, durante periodos estresantes, puede generar cambios en el comportamiento alimenticio (Nevanperä, 2012). Por otra parte, hay una falta de estudios sobre el efecto de alguna de las dimensiones del BO sobre éstos comportamientos (Nevanperä, 2012). Según estadísticos recientes, México ocupa el segundo lugar a nivel mundial; siendo Ciudad Juárez, la tercera urbe a nivel nacional con éste problema de salud pública (Reza, 2012).

Por otro lado, considerando que Ciudad Juárez es distinguido como un centro principal para la producción manufacturera a nivel nacional, con 204,000 empleos registrados (Arenaza, 2014), esto significa que los aspectos psicosociales y las enfermedades que estos generan también lo hacen. Por ende su correcta detección es fundamental para poder prevenir y reducir las consecuencias en todos sus ámbitos. Ya que de acuerdo con Heizer y Render (2009),

la productividad es resultado de una fuerza de trabajo saludable, mejor educada y más motivada. Siendo, la alimentación de la fuerza de trabajo una variable clave.

Planteamiento del Problema

Para plantear el problema de este proyecto se han considerado los efectos negativos del BO y de la obesidad en las organizaciones, de manera particular en la industria maquiladora, la falta de atención que se ha detectado en la literatura de estudios que aborden ambas problemáticas en conjunto y las relaciones que estas guardan entre sí en el ámbito laboral.

Los efectos de tener trabajadores que presentan síntomas de BO, se verán manifestados en el logro los objetivos y resultados de la organización. Algunos son, el aumento del ausentismo, deterioro de la calidad del servicio, conflictos interpersonales con supervisores, compañeros y usuarios de la organización, rotación no deseada, hasta accidentes laborales (Llaneza, 2002). Además, la probabilidad de cometer errores en la práctica profesional al ser menos minuciosos y creativos al resolver problemas (Maslach, 2009). Todo ello, aumenta los costos económicos, al mantener trabajadores que no están siendo competitivos, o por el reclutamiento de nuevo personal, a los cuales les tomará tiempo llegar a tener el ritmo de trabajo requerido. A pesar de ello, según Maslach (2009), es muy frecuente que las organizaciones le resten la importancia al hecho de que sus empleados se sientan estresados. Pues, de esta manera elimina

trabajadores débiles o incompetentes si no hay tolerancia en la presión del trabajo.

Por otra parte, el hecho de estar expuestos a altas demandas psicológicas contribuye el consumo exagerado de alimentos (Rebeca, castillo y García, 2010; Hellerstedt & Jeffrey, 1997); provocando sobrepeso y obesidad, las cuales aumentan de manera significativa al igual que el BO, el ausentismo laboral hasta 1.7 veces (Tucker & Friedman, 1998), y la reducción de productividad. Esta última, como una consecuencia del trastornos músculo esqueléticos que genera (Ricci & Chee, 2005); como el debilitamiento muscular en tronco, rodilla y mano (Hulens et al, 2001); reducción de amplitud de movimientos articulares de hombro, columna lumbar y rodilla (Park, Ramachandran, Weisman, & Jung, 2010). Lo cual implica ser menos productivos, además, de generar costos médicos mayores por incapacidades, basadas en todas las causas de enfermedad general (Zúñiga et al., 2013). Fernández, Marley, Noriega e Ibarra (2011), señalan que la motivación o estado emocional y una dieta adecuada son factores que influyen en la fuerza muscular. Sin embargo, Nevanperä et al., (2012), señalan que existe una falta de estudios sobre efectos del BO (fatiga exhaustiva, cinismo y pérdida de auto eficacia profesional por el estrés crónico en el trabajo) sobre los comportamientos alimenticios.

Objetivos

Los propósitos que se buscan con esta investigación son los planteados a continuación:

- Determinar la relación entre las dimensiones de BO con las dimensiones del contenido del trabajo y su impacto en el sobrepeso en mandos medios y superiores de la Industria maquiladora en Ciudad Juárez, a través del desarrollo de un modelo estructural.
- Determinar cómo se relacionan las dimensiones del contenido de trabajo con las dimensiones del BO.
- Identificar la relación entre las dimensiones del síndrome de BO y la obesidad.
- Determinar la relación de las dimensiones del contenido del trabajo con la obesidad.

Hipótesis

Las hipótesis planteadas para determinar relación entre las variables estudiadas en esta investigación a través del modelo estructural son las mencionadas en los siguientes apartados.

Hipótesis General

Existe una relación positiva entre el contenido del trabajo, el síndrome de BO, y la obesidad en mandos medios y superiores de la industria automotriz en Ciudad Juárez, Chihuahua

Hipótesis Específicas

Existe una relación positiva entre las dimensiones del contenido de trabajo con las dimensiones del BO.

Existe una relación positiva entre las dimensiones del BO y la obesidad.

Existe una relación positiva entre las dimensiones del contenido del trabajo y la obesidad.

Preguntas de Investigación

1. ¿Cómo es la relación entre las dimensiones del contenido de trabajo y las dimensiones del BO?
2. ¿Cómo es la relación entre las dimensiones del síndrome de BO y la obesidad?
3. ¿Cómo es la relación entre las dimensiones del contenido del trabajo y la obesidad?

Justificación

En el problema planteado en este proyecto se han considerado aspectos de interés creciente como la obesidad y el BO en las organizaciones; así como, aportaciones al campo investigativo. Con la finalidad de prevenir accidentes laborales, así como pérdidas económicas.

Los trabajadores mexicanos experimentan un incremento de estrés en comparación con otros países en los últimos dos años, debido a un aumento en la carga de trabajo (Grupo Reuter, 2009). Sin embargo, Estudios referentes a la Industria Mexicana en cuanto a los factores del contenido del trabajo como desencadenantes del BO y de este mismo son escasos en México (Juárez-García et al., 2014; Gómez-Ortiz y Moreno, 2010). Según este autor, solo un 4.68% de las investigaciones considera el contenido o naturaleza del trabajo como variables laborales asociadas al BO. Dentro de las

cuales, se han asociado a la pérdida de productividad y salud de los trabajadores, las demandas psicológicas, la poca libertad de decisión y la inseguridad de perder el trabajo (Van den Berg et al., 2011). Por otra parte, dado que un 50% de las poblaciones estudiadas son médicos y enfermeras, es recomendable ampliar el abanico de ocupaciones estudiadas por BO, mediante mejores diseños de investigación (Juárez-García et al., 2014). De acuerdo Maslach, Jackson & Leiter, (1996), una de las mejores formas para correlacionar el BO con factores desencadenantes como el contenido del trabajo e información de la salud son los modelos de ecuaciones estructurales.

La preocupación por el estudio de estos riesgos psicosociales en el entorno laboral surge por la alta relación encontrada entre “factores psicosociales” y “enfermedad” (Ramírez & Zurita, 2010). Entre ellas, la obesidad, en donde de acuerdo con OCDE (2014), México ocupa el segundo lugar mundial, cuyos gastos en atención médica, hospitalaria y ausencias laborales cuesta 3500 millones de dólares anuales. Por otra parte, de acuerdo con JAK et al., (2014), las personas que sufren de obesidad son más propensas a experimentar lesiones en el lugar de trabajo, además de ser menos productivos. Sin embargo, pocos estudios han examinado la obesidad como una consecuencia de los estados de ánimo alterados por alguna de las dimensiones del burnout (Navanperä et al., 2012).

Ambas problemáticas conllevan a consecuencias graves en la salud del trabajador como en las organizaciones. Por

ello, su correcta evaluación es importante a la hora de abordar tanto la prevención como la intervención; más aún si se hacen presentes en mandos medios y superiores donde la salud física y psicológica es importante para la correcta toma de decisiones que requiere una empresa para permanecer en un mundo globalizado.

Alcance y Delimitación

En cuanto al alcance, esta investigación se incluirá el estudio de las cinco dimensiones del contenido del trabajo, las dimensiones del BO y la relación con la obesidad en mandos medios y superiores de la industria automotriz en Ciudad Juárez, Chihuahua.

Este análisis descriptivo, explicativo y correlacional está limitado a mandos medios y superiores, dentro de los cuales se incluyen supervisores de distintas áreas como calidad, ingeniería, recursos humanos, seguridad y medio ambiente entre otras; también, jefes de grupo, personal administrativo, practicantes y técnicos en la industria automotriz de Ciudad Juárez, Chihuahua. La información fue recabada en la fecha y hora programada por el personal de recursos humanos, de acuerdo a la disponibilidad y tiempo de los participantes. En cuanto a los materiales utilizados para esta investigación todos fueron a costo y con recursos del sustentante.

Marco Teórico

Dentro de los siguientes apartados se define las ecuaciones estructurales, el concepto del síndrome de BO, los diversos desencadenantes que lo generan haciendo énfasis en las dimensiones del contenido del trabajo y las repercusiones que conllevan a nivel fisiológico y comportamental.

Ecuaciones estructurales

Los modelos de ecuaciones estructurales (SEM), es una metodología estadística que toma un enfoque confirmatorio para el análisis de un fundamento teórico de algún fenómeno (Byrne, 2010). El uso de SEM, tiene dos aspectos importantes en su procedimiento; el primero, es que permite al proceso causal bajo estudio ser representado por una serie de ecuaciones estructurales (ejemplo: regresión) (Bentler, 1988); en segundo lugar, que las relaciones entre variables puede ser modelado

pictóricamente de tal forma que permite una conceptualización clara de lo que se está estudiando. Estas cualidades, han permitido que su aplicación en publicaciones académicas sea predominante (Calvo-Porrá, Martínez-Fernández y Juanatey-Boga, 2013).

Contenido del trabajo

Existen diferentes modelos que tratan de explicar los aspectos clave del ambiente organizacional generan estrés. Entre ellos destaca el modelo Demandas-Control el cual se mide a través del Job content Questionnaire (JCQ) de Karasek 1998.

Si bien, en un principio se consideraban dos elementos importantes (Demandas y el control), recientemente se ha agregado el apoyo social, como una variable que amortigua el efecto del estrés

sobre la salud (Jhonson y Hall, 1988). Así el modelo Demanda-control-Soporte (JDSC), se ha utilizado, para relacionarlo con enfermedades cardiovasculares (Gil-Monte, 2010), obesidad (Luckhaupt et. al., 2014), incluso como un antecedente del BO y apnea del sueño (Guglielmi, Jurado-Gámez, Gude y Buela-Casal, 2014).

El elemento de demandas se asocia con la presión del tiempo, la ambigüedad y conflicto de rol (Karasek, 1985). El control de trabajo o libertad de decisión se refiere a la medida en la que un individuo siente que pueden ejercer influencia sobre las tareas que se enfrentan y lo más a menudo es la práctica mediante las construcciones de discreción habilidad y autoridad de decisión. El componente de discrecionalidad habilidad aborda principalmente temas de la variedad de tareas, mientras que el componente de la autoridad de decisión se refiere a la oportunidad de tomar decisiones independientes y tener voz y voto en lo que ocurre en el lugar de trabajo. Por último, el apoyo social se refiere tanto apoyo del supervisor, así como el apoyo de sus colegas y compañeros de trabajo (Pinto, Dawood y Pinto, 2014).

Por otra parte, estos elementos se miden a través de las siguientes dimensiones del JCQ: Habilidad de discreción, autoridad para tomar decisiones, demandas del trabajo, libertad de decisión (suma de habilidad de discreción y autoridad para tomar decisiones), apoyo de compañeros, soporte de supervisor e inseguridad laboral.

Síndrome de Burnout

El Síndrome de BO, también llamado "síndrome del trabajador quemado" o "Síndrome de desgaste profesional", es un tipo de estrés que surge como resultado de una respuesta prolongada a estresores interpersonales crónicos del trabajo. Su etiología es estudiada desde las perspectivas clínica y psicosocial (Tonon, 2003; Guerrero y Vicente, 2001). Desde la perspectiva clínica, existe una tendencia en considerar a Freudenberguer como su pionero en el año de 1974. Él observó que después de uno a tres años de labor, los voluntarios de su "*free clinic*" presentaban irritabilidad, agotamiento, cinismo hacia los clientes, definiendo así a este conjunto trastornos físicos y mentales como BO (Martínez, 2010). Por otra parte, desde el panorama psicosocial es donde han surgido la mayoría de las investigaciones apoyando así la definición trifactorial propuesta por Maslach y Jackson (1980, 1981, 1985 y 1986) citadas por Guerrero y Vicente (2001).

Esta deriva del análisis factorial obtenido de la amplia aplicación del instrumento para medir el BO, denominado Maslach Burnout Inventory (MBI) del cual han derivado diferentes adaptaciones. Los tres factores o dimensiones resultantes son: Agotamiento emocional, conductas de despersonalización o cinismo hacia las personas que el individuo atiende y una sensación de ineffectividad o falta de realización personal (Maslach, Schaufeli y Leiter, 2001).

Los factores considerados tanto como sus detonantes y consecuencias,

abarcan desde el nivel individual, social y organizacional. Dentro de los síntomas asociados destacan: dolores de cabeza, apatía, dolores musculares, ansiedad, aumento de consumo de medicamentos e incluso trastornos en la conducta alimentaria. De acuerdo Llaneza, (2002) en las organizaciones se ven manifiestos el aumento de ausentismo, conflicto con compañeros, incremento de rotación no deseada y de accidentes laborales.

Sobrepeso y Obesidad

La obesidad es una enfermedad multifactorial, que incluye componentes biológicos, psicológicos y sociales y es caracterizada por aumento del tejido graso. En la actualidad es considerada como una epidemia a nivel mundial, la cual genera cargas económicas importantes tanto los países desarrollados, como en vía de desarrollo. Es un factor de riesgo de las enfermedades crónicas más relevantes como: diabetes tipo 2, enfermedades cardiovasculares, la patología musculoesquelética, algunos tipos de cáncer y diversos trastornos psicosociales que precipitan y perpetúan el consumo

exagerado de alimentos (Rebeca, Castillo y García, 2010). Es por ello que la definición y profundización en el estudio de los factores relacionados con esta problemática cobran gran relevancia.

Según estos mismos autores, para el diagnóstico de obesidad el criterio más exacto consiste en determinar el porcentaje de grasa corporal. Los métodos para medir el tejido graso como el antropométrico (peso, talla, perímetros, pliegues) son caros y difíciles de evaluar. Por ello, además de ser barato aunque con menos precisión, el más utilizado es el índice de masa corporal (IMC), puesto que es la misma para ambos sexos y para los adultos de todas las edades. Se calcula dividiendo el peso de una persona en kilos por el cuadrado de su talla en metros (kg/m^2).

Aunque existen grado uno, dos y tres de obesidad, la definición de la Organización mundial de la salud (OMS, 2014) es la siguiente: un IMC igual o superior a 25 determina sobrepeso, mientras un IMC igual o superior a 30 determina obesidad.

Materiales y Métodos

En esta sección se describen los materiales y métodos empleados para la investigación. En cuanto al primero, para la recopilación de información de los mandos medios y superiores de la industria automotriz de Ciudad Juárez, se pretende utilizar un conjunto de cuestionarios. Una carta de consentimiento que incluya el nombre y firma del trabajador como requisito para

utilizar su información. Segundo, el cuestionario JCQ de Karasek et al., (1998) con 27 ítems. Posteriormente otro para la evaluación del Síndrome de desgaste profesional, también conocido como BO, de Moreno, Rodríguez y Escobar (2001) que consta de 16 ítems. Una tercera sección de presencia de molestias musculoesqueléticas de Marley y Kumar (1996) con una escala

de frecuencia del 0-3 y un nivel de incomodidad del 0-10 y finalmente una hoja de información general.

Posteriormente, se creará una base de datos con ayuda del software SPSS v.20.4.0. Por otro lado, para la recopilación de literatura se utilizarán artículos de revista en línea relacionados al tema, libros electrónicos e impresos, periódicos y revistas.

La metodología empleada para determinar la relación entre las

dimensiones del contenido del trabajo, las dimensiones del BO y la obesidad, consistirá en crear un modelo de ecuaciones estructurales a través del software WarpPLS 4.0. Todo esto a un intervalo de confianza del 95%.

El tipo de investigación será descriptiva, causal y transversal, el muestreo no probabilístico dado que los cuestionarios serán aplicados por conveniencia y durante el tiempo asignado.

Resultados

Dado que ambas problemáticas (Burnout y la obesidad) son de interés tanto para las organizaciones como para el país dado que generan repercusiones económicas por ausentismos, reducción de la productividad o por gastos médicos derivados de tanto de la obesidad como de enfermedades crónicas que pueden derivar de ella, su detección y prevención son de suma importancia.

Los resultados que se esperan con esta investigación consisten en lo siguiente; encontrar una relación entre algunas de las dimensiones del contenido del trabajo (Habilidad de discreción, autoridad para tomar decisiones, demandas del trabajo, libertad de decisión, apoyo del compañero

de trabajo, soporte supervisor e inseguridad laboral) como un antecedente del BO. Así mismo, encontrar la relación que guardan las dimensiones del BO (agotamiento emocional, cinismo y eficacia profesional con la obesidad) o una relación entre algunas de las dimensiones del contenido del trabajo sobre la Obesidad.

Encontrar una asociación entre las características del contenido del trabajo como un desencadenante de BO, y este a su vez de la obesidad permitirá tomar acciones en el personal que labora en la industria de la transformación en Ciudad Juárez e incluso otras ramas u ocupaciones.

Referencias

Alarcon, G. M. (2011). A meta-analysis of burnout with job demands, resources, and attitudes. *Journal of Vocational Behavior*, 79(2), 549-562.

Arenaza, A., (Junio de 2014). Ciudad Juárez sigue siendo la capital del empleo manufacturero maquilador en México. *Gaceta trimestral CASEEM*. Pág. 7

Bentler, P. M. (1988). Causal modeling via structural equation systems. En J. R.

Byrne, B. M. (2010). *Structural Equation Modeling with AMOS: Basic Concepts, Applications, and Programming* (2da. ed.). New York: Taylor & Francis Group.

Calvo-Porrá, C., Martínez-Fernández, V. A., & Juanatey-Boga, O. (2013). Análisis de dos modelos de ecuaciones estructurales alternativos para medir la intención de compra. *Revista Investigación Operacional*, 34(3), 230-243.

Camacho, M.R. (2013). *Determinación del síndrome de desgaste profesional en mandos medios y superiores de la industria automotriz en Ciudad Juárez*. (Tesis de Licenciatura no publicada). Ciudad Juárez, Chih. Universidad Autónoma de Ciudad Juárez.

Camacho, R., Maldonado, A., García, J.L. y Hernández, J.L., (2014). Determination of burnout syndrome among middle and senior management personnel in automotive industry in Juárez City Mexico. *Ergonomía ocupacional: Investigaciones y soluciones*, 7, 306-317.

Castanheira, F. y Chambel, M.J., (2013). JD-C Model to Explain Burnout in Frontline Workers: The Useful Contribution of Emotional Demands. *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries*, 23(5), 412-423

Charria V, Sarsosa K, Arenas F. (2011). Factores de riesgo psicosocial laboral: métodos e instrumentos de evaluación. *Rev. Fac. Nac. Salud Pública*, 29(4), 380-391

Félix, G. (5 de Mayo de 2013). Causa obesidad enfermedades mortales. *Norte de Ciudad Juárez*. Recuperado de <http://es.scribd.com/doc/223325101/Periodico-Norte-de-Ciudad-Juarez-edicio-n-impresad-el-11-mayo-de-2014>

Fernández, J.E., Marley, R.J., Noriega, S., y Ibarra, G., (2011). *Ergonomía Ocupacional. Diseño y administración del trabajo*. México. Universidad Autónoma de Ciudad Juárez.

Gil-Monte, P.R. (2010). Situación actual y perspectiva de futuro en el estudio de estrés laboral: la Psicología de la Salud Ocupacional. *Información psicológica*. (100), 68-83

Gómez-Ortiz, V. y Moreno, L. (2010). Factores psicosociales del trabajo (demanda-control y desbalance esfuerzo-recompensa), salud mental y tensión arterial: un estudio con maestros escolares en Bogotá, Colombia. *Universitas Psychologica*, 9 (2), 393-407.

Grupo Reuter (2009). Trabajadores mexicanos experimentan más estrés que el promedio internacional. Recuperado de www.protocolo.com.mx/mexico/trabajadores-mexicanos-experimentan-mas-estres-que-el-promedio-internacional/

Guerrero, E. y F. Vicente, (2001) *Síndrome de "Burnout" o desgaste profesional y afrontamiento del estrés en el profesorado*. Universidad de Extremadura, Servicio de publicaciones.

Guglielmi, O., Jurado-Gámez, B., Gude, F., & Buela-Casal, G. (2014). Job stress, burnout, and job satisfaction in sleep apnea patients. *Sleep medicine*, 15(9), 1025-1030.

Heizer, J.H., y Render, B., (2009). *Principio de administración de operaciones* (7 ed.). (J.E. Murrieta, Trad.). México: Pearson Educación.

Hellerstedt, W.L. y Jeffery, R.W. (1997). The association of job strain and health behaviors in men and women. *Int J Epidemiol*, 26(3), 575-583

Hulens, M., Vansant, G., Lysens, R., Claessens, A.L., Muls, E., y Brumagne, S. (2001). Study of differences in peripheral muscle strength of lean versus obese women: all allometric approach. *International Journal on Obesity of Industrial Ergonomics*, 13, 125-138

J.A.K. GU, Luenda E. Charles, Claudia C. Ma, Tara A. Hartley, Michael E. Andrew, John M. Violanti, Cecil M. Burchfiel (2014). Obesity and Work-Site Injury: The National Health Interview Survey (NHIS), 2004-2012, *Annals of Epidemiology*,

24(9), 695. Doi:
<http://dx.doi.org/10.1016/j.annepidem.2014.06.065>.

Johnson, J.V. y Hall, E.M. (1988). Job strain, work place social support, and cardiovascular disease: A cross-sectional study or a random sample of the Swedish working population. *American Journal of Public Health*, 78, 1336-1342.

Juárez-García, A., Idrovo, A. J., Camacho-Ávila, A., & Placencia-Reyes, O. (2014). Síndrome de burnout en población mexicana: Una revisión sistemática. *Salud mental*, 37(2), 159-176. Recuperado en 20 de noviembre de 2014, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0185-33252014000200010&lng=es&tln=es.

Karasek, R. (1979). Job demands, job decision latitude and mental strain: implications for job redesign. *Administrative Science Quarterly*, 24, 285-308.

Karasek, R. y Theorell, T. (1990). *Healthy work. Stress, productivity and the reconstruction of working life*. New York: Basic Books.

Karasek, R., Baker, D., Marxer, F., Ahlbow, A., Theorell, T. (1981). Job Decision Latitude, Job Demands, and Cardiovascular Disease: A Prospective Study of Swedish Men: *Am J Public Health*, 71(7), 694-705.

Llaneza, J. (2002) *Ergonomía y psicología aplicada: Manual para la formación del especialista*. España. Lex Nova.

Luckhaupt, S.E., Cohen, M.A., Li, J., y Calvert, G.M., (2014). Prevalence of Obesity Among U.S. Workers and Associations with Occupational Factors. *Am J Prev Med*, 46(3), 237–248. doi <http://dx.doi.org/10.1016/j.amepre.2013.11.002>

Martínez, P., A (2010). El síndrome de Burnout: Evolución conceptual y estado actual de la cuestión. *Vivat Academia*. 112.

Maslach, C. (2009). Comprendiendo el burnout. *Ciencia & Trabajo*, 11(32), 37-43.

Maslach, C., Jackson, S.E., & Leiter, M.P. (1996). *Maslach Burnout Inventory*. (3rd ed.). Palo Alto, CA: Consulting Psychologist Press.

Maslach, C., Schaufeli, W. B., & Leiter, M. P. (2001). Job burnout. *Annual review of psychology*, 52(1), 397-422.

Monte, P. R. G. (2010). Situación actual y perspectiva de futuro en el estudio del estrés laboral: la Psicología de la Salud Ocupacional. *Información Psicológica*, (100), 68-83.

Nakata, A., Takahashi, M., Ikeda, T., Hojou, M., Araki, S. (2007) Perceived psychosocial job stress and sleep bruxism among male and female workers. *Community Dent Oral Epidemiol* .1-9

Nesselroade y R. B. Cattell (Eds.), *Handbook of multivariate experimental psychology* (2da ed., pp. 317–335). New York: Plenum.

Nevanperä, N. J., Hopsu, L., Kuosma, E., Ukkola, O., Uitti, J., & Laitinen, J. H. (2012). Occupational burnout, eating behavior, and weight among working women. *The American journal of clinical nutrition*, 95(4), 934-943.

Organización Mundial de la Salud (OMS), (2014). Sobrepeso y Obesidad. Recuperado de <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs311/es/>

Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico, (2014). La Obesidad y la economía d la prevención: “Fit not fat”: Hechos claves –México, actualización 2014. Recuperado de www.oecd.org/els/health.../Obesity-Update-2014.pdf

Park, W., Ramachandran, J., Weisman, P., & Jung, E. S. (2010). Obesity effect on male active joint range of motion. *Ergonomics*, 53(1), 102-108. Doi 10.1080/00140130903311617

Patlán, J. (2013). Efecto del burnout y la sobrecarga en la calidad de vida en el trabajo. *Estudios gerenciales*, 29, 445-455. doi:10.1016/j.estger.2013.11.010

Pinto, J. K., Dawood, S., & Pinto, M. B. (2014). Project management and burnout: Implications of the Demand–Control–Support model

on project-based work. *International Journal of Project Management*, 32(4), 578-589.

Ramírez, M., y Zurita, R. (2010). Variables organizacionales y psicosociales asociadas al síndrome de burnout en trabajadores del ámbito educacional. *Revista de la Universidad Bolivariana*, 9(25), 515-534.

Rebeca, M., Castillo, A. & García, M. (2010). Factores psicosociales asociados al paciente con obesidad. En Morales, J. (Ed.), *Obesidad: un enfoque multidisciplinario* (201-218.). Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo: Ediciones Ciencia al día.

Reza, E. (8 de Mayo de 2012). Tienen sobrepeso u obesidad 6 de cada 10 en colonias rezagadas. *Diario.mx: Edición Cd. Juárez, Chihuahua*. Recuperado de http://diario.mx/Local/2012-12-08_500d1347/tienen-sobrepeso-u-obesidad-6-de-cada-10-en-colonias-rezagadas

Ricci, J. A., & Chee, E. (2005). Lost productive time associated with excess weight in the US workforce. *Journal of Occupational and*

Environmental Medicine, 47(12), 1227-1234. doi: 10.1097/01.jom.0000184871.20901.c3

Tonon, G., (2003) *Calidad de vida y desgaste profesional: Una mirada del síndrome de burnout*. Buenos Aires. Espacio Editorial.

Tucker, L.A y Friedman, G.M., (1998). Obesity and Absenteeism: An Epidemiologic Study of 10,825 Employed Adults. *American Journal of Health Promotion*, 12 (3), 202-207. doi: <http://dx.doi.org/10.4278/0890-1171-12.3.202>

Van den Berg, T. I., Robroek, S. J., Plat, J. F., Koopmanschap, M. A., & Burdorf, A. (2011). The importance of job control for workers with decreased work ability to remain productive at work. *International archives of occupational and environmental health*, 84(6), 705-712.

Zúñiga, R.A., García, E.S., Osorio, C., Escudero, N., López, C.A. y Ramírez, V.R. (2013). Obesidad abdominal y ausentismo por causa médica en una empresa de la industria metalmecánica en cali, Colombia. *Rev Perú Med Exp Salud Pública*, 30(2), 251-255

Análisis de la satisfacción laboral y síndrome de *Burnout* en docentes de una institución de educación superior en Ciudad Juárez

Deysi Guadalupe Márquez Gayosso¹, María Teresa Escobedo Portillo¹, Aurora Maynez¹,
Andrés Hernández¹, Virginia Estebané Ortega¹ Guillermina Martínez¹

¹Universidad Autónoma de Ciudad Juárez.

Resumen

Actualmente, los profesores de una universidad en México desarrollan su labor en ambientes cuyos factores como la iluminación, temperatura y ruido, contribuyen a insatisfacción laboral, la cual causa deterioro en su trabajo, así como estrés prolongado y en la aparición del síndrome de Burnout. Por tanto, el objetivo es determinar la relación que existe entre los factores ergoambientales y socioculturales, así como su impacto en la satisfacción laboral, con el fin de definir los índices de síndrome de Burnout en los profesores. Esta investigación es de alcance exploratorio, transversal y no experimental, en una muestra de profesores. Las unidades de análisis son; el síndrome de burnout, satisfacción laboral, factores ergoambientales y factores socioculturales con respecto a su relación con las actividades académicas. Para la obtención de la información, se utilizará el formulario Escala de Satisfacción Laboral a partir de Factores Ergo Ambientales y The staff Burnout Scale For Healt Professionals. Como resultado se pretende conocer los factores que contribuyen en el desarrollo del síndrome de burnout y satisfacción laboral, basada en los factores ergoambientales y sociocultural en los profesores de universidad para así generar el conocimiento para un correcto desarrollo en la vida laboral de los docentes y así elevar el nivel de la Universidad.

Palabras clave: Síndrome de Burnout, satisfacción laboral, factores ergoambientales, factores socioculturales, organizaciones.

Introducción

Las organizaciones están integradas por personas que trabajan coordinadamente para alcanzar determinados objetivos; al mismo tiempo, éstas dependen de las organizaciones para lograr sus metas personales. Esta relación, genera que las empresas busquen ofrecer a sus trabajadores condiciones laborales que aporten satisfacción para sus empleados. Lo anterior aplica para cualquier organización, incluidas las instituciones de educación superior como la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez (UACJ) y su personal

académico, principalmente los Profesores de Tiempo Completo (PTC), dada la importancia de sus actividades, entre las que destacan la guía, dirección y apoyo de los estudiantes en sus actividades, así como la docencia, gestión académica, tutorías, etc., es necesario que las condiciones en que laboran los PTC, sean las adecuadas de tal forma que se garantice su desarrollo, satisfacción y salud.

La UACJ es una organización que se dedica a transmitir, ampliar y difundir el

conocimiento como lo describe su propia misión. De acuerdo con la descripción de Corral, Estrada, Archundia y Parent (1999): “La universidad está configurada por; docentes, estudiantes, administrativos y el lugar donde se agrupan”. Esta institución está conformada por cuatro institutos: el Instituto de Arquitectura Diseño y Arte (IADA), Instituto de Ciencias Sociales y Administrativas (ICSA), Instituto de Ciencias Biomédicas (ICB) y el Instituto de Ingeniería y Tecnología (IIT).

Puede decirse, que la situación actual en que viven las universidades en México, apunta hacia un aumento en las demandas y exigencias en el trabajo, lo cual, conforma una situación idónea para la aparición del estrés laboral, según el modelo de Karasek (1979) y, por ende, a la aparición del síndrome de Burnout, por tanto, la relación que los PTC tienen en su trabajo y las dificultades que ésta puede provocar, representan un fenómeno significativo para la salud en los docentes en esta época (Hermosa, 2006). Igualmente, éste autor expone, que el profesional dedicado a la enseñanza en el ejercicio cotidiano de su labor, puede desarrollar síndrome de Burnout que indica, pérdida de la calidad de vida y se refleja en una tendencia de insatisfacción en su trabajo.

El síndrome de Burnout en un principio, fue considerado exclusivo a profesiones dirigidas a servicios sociales, en los que se trabaja en contacto directo con personas. Sin embargo, en la actualidad se considera que éste síndrome puede ocurrir en cualquier profesión, aunque sigue siendo un problema particular de las labores que

exigen dar ayuda emocional, entre ellas; la enfermería, el trabajo social, el cuidado de niños, la docencia, entre otros (Maylén, Rojas, Johana, Grisales, 2008).

Debido a que son diversas las ocupaciones que hacen que los trabajadores sean más propensos a sufrir este tipo de síndromes, se han realizado investigaciones en el campo del estrés laboral, particularmente del estrés docente, en los cuales, se ha encontrado correlaciones significativas negativas entre el síndrome de Burnout y la satisfacción laboral (Gil-Monte y Peiró, 1997; y Maslach, Schaufeli, y Leiter, 2001), lo cual indica, que a mayor nivel de Burnout el grado de satisfacción es bajo. A su vez, Gil-Monte y Peiró (1999), establecen en sus estudios que la satisfacción laboral se relaciona significativamente con las tres variables del síndrome, 1) la realización personal en el trabajo, 2) la despersonalización y 3) el agotamiento, siendo ésta última la más intensa.

Así mismo, los resultados de diversas investigaciones como las realizadas por; Aldrete, M., Pando, M., Aranda C., Balcázar N. (2003); Hermosa (2006); Arís (2009); Tejero, Fernández y Carballo (2008), han reportado una alta prevalencia del Burnout en el profesorado asociadas con un bajo nivel de satisfacción laboral; que a su vez, puede ser afectada por diversos factores, debido a lo anterior, estos dos constructos son considerados como un problema de salud pública en docentes, particularmente por las repercusiones que pueden tener en la sociedad y en la calidad de la educación.

Actualmente, la satisfacción laboral (SL) en relación con el síndrome de Burnout, es una de las variables ampliamente estudiadas, ya que de acuerdo con Locke, (1976), ésta es, una respuesta efectiva o emocional positiva hacia el trabajo o hacia alguna faceta del mismo y se trata de un estado emocional positivo o placentero resultante de la percepción subjetiva de las experiencias laborales de las personas.

Por definición, la SL es un conjunto de sentimientos tanto positivos como negativos que tiene un empleado hacia su trabajo, generado por diversos factores particulares, relacionado con la labor que realiza y con las condiciones bajo las cuales la efectúa (Arnedo y Castillo, 2008), por lo tanto, es importante que las instituciones de educación superior como la UACJ, se preocupen por crear condiciones óptimas con el fin de mantener al personal motivado, de tal forma que se tenga un buen desarrollo en la labor que realizan. Por lo que para evaluar la SL es importante que se consideren dentro de sus constructos, los relacionados a las condiciones ambientales del medio físico en el que los PTC laboran, con la finalidad de no llegar a sobrepasar los límites de resistencia al esfuerzo. Al igual que la satisfacción laboral en cualquier tipo de trabajo, los factores ergo ambiental también influyen en el bienestar de las personas en términos de calidad y productividad.

En el estudio reportado por Escobedo (2012), en el cual relaciona la SL con los Factores Ergoambientales (FEA), encontró que existe una relación

significativa entre la satisfacción laboral y estos factores; el cual, demostró que existe un alto impacto sobre la SL con respecto a factores tales como la iluminación natural y la temperatura. Cuando estos factores están presentes en el ambiente laboral afectan significativamente al usuario. Cabe mencionar que el ambiente de trabajo debe mantener una relación directa con el individuo y conseguir que los FEA (iluminación, ruido y temperatura) estén dentro de los límites definidos por las normas NOM-025-STEPs-2008; NOM-011-STPS-2001 y NOM-015-STEPs-2001, con el fin de conseguir un grado de bienestar y satisfacción para el docente, ya que de acuerdo con Ramírez (1997), “el ambiente laboral es un factor esencial en el rendimiento humano”, por lo que las condiciones ambientales deben ser las adecuadas de acuerdo a los máximos permisibles respecto a las Normas Mexicanas (NOM, 2001; 2008).

Por lo tanto, es necesario que en las Instituciones de Educación Superior se definan, cuáles son los factores que pueden afectar en el rendimiento, la salud y el bienestar de los PTC; dada la importancia que la satisfacción tiene en ellos y cómo ésta repercute en su labor para alcanzar sus objetivos.

Sin embargo, cabe señalar, que en los estudios realizados para la determinación de la existencia de Burnout y SL, dependen de la actitud de los PTC en el momento de la autoevaluación, por lo cual, dependen de su estado emocional y psicológico para responder a las preguntas. Es por esto que los Factores Socioculturales

(FSC) deben ser considerados en el estudio de la SL, ya que en ellos, de acuerdo a Nanda (1987), se involucran la etnicidad, la clase social, género, nacionalidad, el estado civil, entre otros, los cuales sirven para comprender mejor a cada comunidad.

En este contexto, es importante tener en cuenta las repercusiones que tanto el síndrome de Burnout como la satisfacción laboral puede estar relacionadas entre muchas variables, tanto con los factores ergoambientales, como con los factores socioculturales en los docentes, los cuales pueden tener consecuencias en la calidad de la educación.

Planteamiento del Problema

Actualmente, los profesores de tiempo completo de la UACJ desarrollan su labor en ambientes en cuyos factores tales como la iluminación, temperatura y ruido, contribuyen a una baja satisfacción laboral y éstas a su vez pueden llegar a causar deterioro en su trabajo, así como estrés prolongado crónico y repercutir directamente en su salud, por lo cual, resulta imprescindible estudiar las condiciones de trabajo.

Objetivos

Determinar la relación que existe entre los factores ergoambientales y socioculturales, así como su impacto en la satisfacción laboral, con el fin de definir los índices de síndrome de Burnout en los PTC de la UACJ.

1. Analizar los Factores Socioculturales de los profesores de tiempo completo.

2. Analizar los Factores Ergoambientales del área de trabajo de los profesores de tiempo completo.

3. Establecer la relación que existe entre los Factores Socioculturales y los Factores Ergoambientales y su impacto en la Satisfacción Laboral.

4. Establecer la relación que existe entre los Factores Socioculturales y los Factores Ergoambientales y su impacto en el desarrollo del Síndrome de Burnout.

5. Establecer la relación que existe entre los Factores Socioculturales y la Satisfacción Laboral.

6. Establecer la relación que existe entre los Factores Ergoambientales y la Satisfacción Laboral.

7. Establecer la relación que existe entre la Satisfacción Laboral y el Síndrome de Burnout.

Hipótesis

Existe una relación directa entre los Factores Ergoambientales, Factores Socioculturales y Satisfacción Laboral con respecto al síndrome de Burnout.

Ho: Los factores ergoambientales, socioculturales y satisfacción laboral no impactan en el síndrome de Burnout.

Ha: Los Factores ergoambientales, factores socioculturales y la satisfacción laboral impactan en el síndrome de Burnout.

Pregunta de Investigación

¿De qué forma los factores ergoambientales, socioculturales y la

satisfacción laboral se relacionan para detectar el nivel de Burnout en los PTC de la UACJ?

Justificación

El presente trabajo de investigación consistirá en la realización del análisis y la toma de decisiones para el mejoramiento de las áreas de trabajo, buscando cumplir con los estándares de la ergonomía ambiental conociendo su impacto en la satisfacción laboral.

Igualmente esta investigación ayudará a relacionar la satisfacción laboral con el desarrollo del síndrome de Burnout en los PTC y así conocer su impacto y prevalencia en los docentes de la universidad.

También aportará beneficios para los PTC, debido a que se conocerán y se

tomarán en cuenta sus necesidades y expectativas, las cuales deben ser consideradas para el buen desarrollo de su trabajo.

Alcance y Delimitación

El alcance de este proyecto de investigación es abarcar la muestra definida de PTC en la UACJ, con el fin de proponer, de acuerdo a los resultados estimados, alternativas para disminuir el síndrome de Burnout y aumentar la SL considerando los FEA y los FSC.

Esta investigación se llevará a cabo en las instalaciones de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez exclusivamente en los profesores de tiempo completo.

Revisión de Literatura

Síndrome de Burnout

Según Aranda (2006) la palabra “burnout” es un término anglosajón que significa estar quemado, desgastado, exhausto y perder la ilusión por el trabajo”. El primero en referirse al término Burnout fue Freudenberger (1974), quien lo definió como “un estado de fatiga o frustración que se produce por la dedicación a una causa o forma de vida, que no produce la suficiente gratificación o esfuerzo”.

Por su parte Gil-Monte (2003), considera como síndrome la agrupación de síntomas y signos recurrentes que pueden indicar una patología. Mientras que Moreno

y Peñacoba (1999) afirman que “el burnout no se identifica con la sobrecarga de trabajo, el exceso de trabajo no provoca el burnout. Desde esta perspectiva el burnout no es un proceso asociado a la fatiga, si no a la desmotivación emocional y cognitiva que sigue al abandono de intereses que en un determinado momento fueron importantes para el sujeto”.

En 1986, Maslach y Jackson entienden que el burnout se configura como “un síndrome tridimensional caracterizado por agotamiento emocional, despersonalización y baja realización personal”; se puede entender las tres dimensiones citadas de la siguiente manera:

- **Agotamiento emocional.** Hace referencia a la sensación de sobreesfuerzo físico y cansancio emocional que se produce como consecuencia de las continuas interacciones que los trabajadores deben mantener entre ellos (Gil-Monte, 2003; Ortega y López, 2004).
- **La despersonalización.** Supondría el desarrollo de actitudes y respuestas cínicas hacia las personas; se manifiesta por irritabilidad, actitudes negativas y respuestas frías hacia las personas (Gil-Monte, 2003).
- **Baja realización personal.** Conlleva la pérdida de confianza en la realización personal, muchas veces inadvertido, se caracteriza por respuestas negativas hacia sí mismo y el trabajo (Gil-Monte, 2003).

Satisfacción laboral

Según Jiménez (2004), la Satisfacción laboral (SL) puede estar relacionada con los niveles de síndrome de burnout, entendiéndose ésta como una actitud, debido a que hace referencia a diversas opiniones y conductas del trabajador hacia sus labores, por lo que se puede decir que se trata de “actitudes laborales positivas”, las cuales indican que las personas manifiestan sentimientos de satisfacción cuando piensan o hablan de sus puestos de trabajo (Hulin, 1991).

Domich y Faivovich (1994), señalan que los problemas en el trabajo que afectan en el nivel de satisfacción laboral y de modo consecuente malestar general,

agotamiento y burnout en los docentes serían: el trabajo excesivo y agobiador; dificultades administrativas que le impiden realizar proyectos; falta de reconocimiento de la autoridad al esfuerzo realizado; pocas oportunidades de realizar actividades valiosas; el bajo sueldo percibido e insatisfacción laboral.

En este aspecto, la SL es uno de los constructos ampliamente estudiados en relación al Burnout, definiéndose como un estado emocional positivo o placentero resultante de la percepción subjetiva de las experiencias laborales de la persona, las que en el sector educativo, puede entenderse como el resultado de diversos factores que involucran la evaluación que el profesor hace de su ambiente laboral (Robbins, 2003).

Factores Ergoambientales

Para Hernández (2004), la Ergonomía Ambiental “es una parte de la ergonomía que estudia las relaciones entre el hombre y los factores ambientales que inciden sobre él, condicionando su estado de salud”. Actúa sobre los contaminantes ambientales existentes en el puesto de trabajo, cuyo fin es conseguir una situación confortable durante el tiempo que se esté realizando este trabajo. Minimizando los costos humanos desarrollando un mayor nivel de bienestar físico del trabajador, y por lo tanto, un mayor nivel de salud laboral.

Los contaminantes ambientales pueden ser: físicos, químicos, biológicos, dentro de este apartado se destacan el ruido, vibraciones, frío, calor, polvos, entre otros.

Factores Socioculturales

Se hace referencia al término sociocultural, a cualquier proceso o fenómeno relacionado con los aspectos sociales y culturales de una comunidad o sociedad (Bosque y Vilá, 1992), de tal modo, que un elemento sociocultural tendrá que ver exclusivamente con las relaciones humanas que pueden servir tanto para organizar la vida comunitaria como para darle significado a la misma (Bosque y Vilá, 1992; Sánchez, 2005).

La educación en general es parte fundamental dentro de los factores socioculturales, ya que pueden adoptar o ignorar factores tan diversos como el ambiental, el sociocultural, entre otros (Díaz y Gallegos, 1996).

Los Factores socioculturales también se relacionan con la valoración del trabajo. En este sentido se encuentran estadísticas en que los factores que más se relacionan en el desempeño de las labores son la edad y la religión (Sastre, 2005).

Los estudios socioculturales implican la vinculación con conceptos tales como la ideología, comunicación, etnicidad, clases sociales, estructuras de pensamiento, género, nacionalidad, medios de producción, y muchos otros que sirven para comprender los elementos únicos de cada comunidad, sociedad y etnia (Bosque y Vilá, 1992; Nanda, 1987)

Metodología

Tipo de investigación.

Este trabajo se ubica dentro de los parámetros de investigación de campo, ya que los datos serán tomados directamente de la realidad del objeto de estudio, tendrá un enfoque cuantitativo, de alcance exploratorio, transversal y no experimental.

Población

Las personas que integran la población de estudio son todos los profesores de tiempo completo de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez.

Instrumento

En la recopilación de datos, se utilizará la técnica de encuestas en las cuales se utilizarán los siguientes instrumentos:

- **Escala de Satisfacción Laboral a partir de Factores Ergo Ambientales** (Escobedo, 2012), la cual, está compuesta por 32 ítems dividida en tres partes: Satisfacción Laboral (15 ítems), factores socioculturales (13 ítems) y Factores Ergo Ambientales (4 ítems), los cuales tienen un patrón de respuestas de tipo Likert, integrada por 7 categorías, que va desde muy insatisfecho, satisfecho, moderadamente satisfecho, ni Satisfecho ni Insatisfecho, moderadamente satisfecho, satisfecho a muy satisfecho.

- **The staff Burnout Scale For Health Professionals** de Jones (1980), está compuesta por 30 ítems, con un patrón de respuesta de tipo likert integrada por 7 categorías, que van desde totalmente de acuerdo hasta totalmente en desacuerdo.

Método de recolección de datos

Para obtener la información se procederá a aplicar los cuestionarios. La aplicación del cuestionario a los PTC será en los horarios antes de las clases, particularmente en horarios en los que estén presentes en sus respectivos cubículos. Se entrevistará únicamente a los profesores de tiempo completo. Primero se les solicitará su autorización para después entregarles la encuesta.

La aplicación del cuestionario será personal, auto aplicada y sin control de tiempo, esto permite ser contestada en forma autónoma por el encuestado, eliminando así posibles influencias que pudieran inducir una respuesta determinada. La participación será de manera voluntaria y anónima, para lo cual, se explicará de manera clara los objetivos del mismo, señalando los riesgos y beneficios que pudiesen obtener en un futuro. Los datos serán utilizados solo para fines de la investigación.

Finalmente se procederá a codificar y tabular los resultados mediante el procedimiento manual en una base de datos, a partir de la cual se realizará el análisis estadístico.

Resultados

Esta investigación estudia y analiza los factores y las variables pertenecientes a la SL, FEA y FSC que impactan en el síndrome de Burnout en los profesores de tiempo completo de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, con la finalidad de conocer la situación actual de la planta docente, así como los efectos y su repercusión hacia dicha institución. Asimismo, se pretende generar el conocimiento necesario para un correcto desarrollo en la vida laboral de los profesores y contribuir en el mejor desempeño de las actividades del docente.

Se espera el apoyo de la mayoría de la población docente así como del plantel

administrativo para llevar a cabo las mediciones de los factores ergoambientales (iluminación, ruido y temperatura), así como la aplicación de encuestas y entrevistas necesarias.

Esta investigación podría contribuir a mejorar la posición de la UACJ en el ranked de las universidades en México, ya que es posible que los docentes al mejorar su nivel de desarrollo de acuerdo a la mejora de sus áreas de trabajo, al igual que de su vida laboral podrían mejorar su desempeño laboral y así elevar el nivel de la Universidad.

Referencias

- Aldrete, M., Pando, M., Aranda C., Balcázar N. (2003). Síndrome de Burnout en maestros de educación básica, nivel primaria de Guadalajara. *Investigación de la salud*, 5(1).
- Aranda, C. (2006). Diferencias por sexo, síndrome de Burnout y manifestaciones clínicas, en los médicos familiares de dos instituciones de salud, Guadalajara, México. *Revista Costarricense de Salud Publica*, 15,1-7.
- Arís, N. (2009). El síndrome de Burnout en los docentes. *Electronic Journal of Education Psychology*. 7(2), 829-848.
- Arnedo, B. y Castillo, M. (2008). Satisfacción laboral de los empleados del Instituto de previsión social del personal docente y de investigación de la UDO (IPSPUDO) central cumaná, Estado Sucre, año 2008. (Tesis de licenciatura, Universidad del Oriente). Recuperado de <http://ri.bib.udo.edu.ve/bitstream/123456789/216/1/TEISIS%20BAyMC.pdf>
- Bosque, J. y Vilá, J., (1992). Geografía de España, Geografía humana. Ed. Planeta. España.
- Bilge, F. (2006). "Examining the Burnout of academics in relation to job Satisfaction and other factors". *Social Behavior and personality*. 34(9), 1151-1160.
- Corral, Gabriel; Estrada, Noé; Archundia, Sergio y Parent, Juan (1999) ¿Qué es la Universidad? México: Universidad Autónoma del Estado de México (inédito).
- Dominich, C. y Faivovich, M. (1994). Diagnóstico de la salud mental en profesores de ocho escuelas básicas municipalizadas de la comuna de Santiago. *Revista chilena de psicología*, 15(2), 15-21.
- Díaz, O. y Gallegos, R. (1996). Formación y práctica docente en el medio rural. *PyV*. 122-131.
- Escobedo, M. (2012). Impacto de la ergonomía ambiental y los factores socioculturales en la satisfacción laboral del personal académico administrativo a partir de un modelo de ecuaciones estructurales". (Tesis Doctoral). Puebla, México.
- Freudenberger, H. (1974). Staff burn-out. *Journal of Social Issues*. 30(1), 159-165.
- Gil- Monte, P. y Peiró, J. (1999). Perspectivas teóricas y modelos interpretativos para el estudio del síndrome de quemarse por el trabajo. *Anales de Psicología*, 2, 261-268.
- Gil-Monte, P, y Peiró J. (1997). Desgaste psíquico en el trabajo: el síndrome de quemarse. Madrid: Síntesis.
- Gil-Monte, P. (2003). El síndrome de quemarse por el trabajo (Síndrome de Burnout) en profesionales de enfermería. *Revista Electronica InterAção Psy*, 1,19-33.
- Golembiewski, R. y Rountree, B. (1986). Phase of Burnout and properties of work environments: Replicating and extending a pattern of covariants. *Organization development journal*. 4(2), 25-30.
- Hermosa, A. (2006). Satisfacción laboral y síndrome de Burnout en profesores de educación primaria y secundaria. *Revista Colombiana de Psicología*. 15, 81-89.
- Hernández, C. (2004). Manual de ergonomía. Incrementar la calidad de vida en el trabajo. Málaga, Agapea.
- Hulin, C. (1991). *Handbook of industrial and organizational psychology*. Palo alto CA.
- Jones, J. (1980). *The Staff Burnout Scale For Health Professionals (SBS-HP)*. Park Ridge, Illinois: London.
- Jiménez, J. (2004). Bienestar y satisfacción de los médicos con el ejercicio de su profesión en un sistema de salud en proceso de reforma. Santiago de Chile: *Revista médica de Chile*. 132(5): 635-636.

Joffre, V. (2009). Síndrome de Burnout en profesionales de la salud en un hospital general "Dr. Carlos Canseco"(Tampico, Tamaulipas, México. (Tesis de Doctorado, Universidad de Granada). Recuperado de <http://hera.ugr.es/tesisugr/18487245.pdf>

Jones (1980) The staff Burnout Scale For Health Professionals

Karasek, A. (1979). Job demands, job decision latitude, and mental strain: Implications for job redesign. *Administrative Science Quarterly*. 24, 285-308.

Maslach, C., Schaufeli, W. y Leiter, M. (2001). Job Burnout. *Annual Review of psychology*, 52, 397-422.

Maylén, L., Rojas, B., Johana, A., Grisales, R. (2008). Síndrome de Burnout y satisfacción laboral en docentes de una institución de educación superior. *Facultad Nacional de Salud Pública*. 27(2), 198-210.

Moreno, B., y Peñacoba, C. (1999). Estrés asistencial en los servicios de salud. Madrid, España: Biblioteca Nueva.

Nanda, S. (1987). Antropología cultural, adaptaciones socioculturales. *Iberoamericana*. Pág. 80-90 y 117-118.

Norma Oficial Mexicana NOM-011-STPS-2001 (2002). Condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo donde se genera ruido. Secretaria de trabajo y previsión social.

Norma Oficial Mexicana NOM-015-STPS-2008 (2002). Condiciones térmicas elevadas o abatidas – Condiciones de seguridad e higiene. Secretaria de trabajo y previsión social.

Norma Oficial Mexicana NOM-025-STPS-2008 (2008). Condiciones de iluminación en los centros de trabajo. Secretaria de trabajo y previsión social.

Ortega, C y Lopez, F. (2004). El Burnout o síndrome de estar quemado en los profesionales sanitarios: revisión y perspectiva. *International Journal of clinical and Health Psychology*, 4,137-160.

Ramírez, C. (1997). Ergonomía y Productividad. México: LIMUSA.

Robbins, S. (2003). Comportamiento Organizacional. Mexico: D.F. Prentice -Hall Hispanoamericana.

Sánchez, C. (2008). Motivación, Satisfacción y Vinculación. Es Gestionable la Voluntad de las personas en el trabajo? *Acción psicológica*. Volumen 5. 1,9-28.

Sastre, V. (2005). La cultura del ocio. Implicaciones sociales y eclesíásticas del fin de semana. Universidad pontifical de Madrid. 112-132.

Tejero, C., Fernández, M., y Carballo, R. (2008). Medición y prevalencia del síndrome de quemarse por el trabajo (Burnout) en la dirección escolar. *Revista de educación*. 351, 361-383.

Mejora de productividad de una línea de producción a través de la implementación de un programa especializado a la captura del métrico de eficiencia general de los equipos “OEE”

Jazziel Camacho¹, Noé Alba Baena¹, Andrés Hernández¹, Javier Molina¹,
Mario Francisco Ramírez Barrera¹, David Zúñiga de León¹

¹Universidad Autónoma de Ciudad Juárez.

Resumen

El presente proyecto se implementó en una línea de producción de una empresa maquiladora especializada en la fabricación de productos médicos de Ciudad Juárez, Chihuahua. Este proyecto consistió en la implementación de un sistema especializado en el métrico de la Eficiencia General de los Equipos, en el cual se muestra de una manera más clara la identificación de oportunidades de mejora en la línea de producción en el reporte de producción diaria, estas oportunidades se identificaron en los 3 factores con los cuales se calcula el OEE. Una vez identificadas estas oportunidades de mejora, se generó un programa de mejora continua dirigido al equipo de producción, con la intención de reducir el tiempo muerto debido a equipo, con el cual se aumentó la productividad de esta línea de producción. Este programa de mejora continua se lleva a cabo a través de una lista de acciones, las cuales se revisan en la junta de producción diaria. Para la validación de este proyecto, se realizó un estudio de producción antes y después de la implementación de este sistema, para posteriormente hacer una prueba 2-t y validarlo estadísticamente.

Palabras clave: Obras hidráulicas, inundaciones, planeación urbana, drenaje urbano, riesgo de inundación.

Introducción

El presente proyecto está orientado a la creación, desarrollo e implementación de un sistema especializado en la captura del métrico de Eficiencia General de los Equipos OEE en una planta maquiladora. Este trabajo está dirigido hacia la industria maquiladora especializada en la fabricación de productos médicos en Ciudad Juárez, Chihuahua, México. En la cual pretende mejorar su productividad a través de la identificación de oportunidades de sus procesos, las cuales se verán reflejadas de una manera clara a través del uso de este

sistema, estas oportunidades serán visualizadas en los tres factores que del Eficiencia General de los Equipos OEE, los cuales son Disponibilidad, Desempeño y Calidad. Con la implementación de la base de datos del OEE, se pretende mejorar la productividad de la línea de producción. Por lo cual se plantean las siguientes Hipótesis.

H_0 = No Existe Mejora Significativa en la Productividad

| $H_0: \mu_1 = \mu_2$

H_1 = Existe Mejora Significativa en la Productividad

| $H_1: \mu_1 > \mu_2$

Metodología

La metodología para la realización de este proyecto se muestra en el diagrama de flujo de la Figura 1

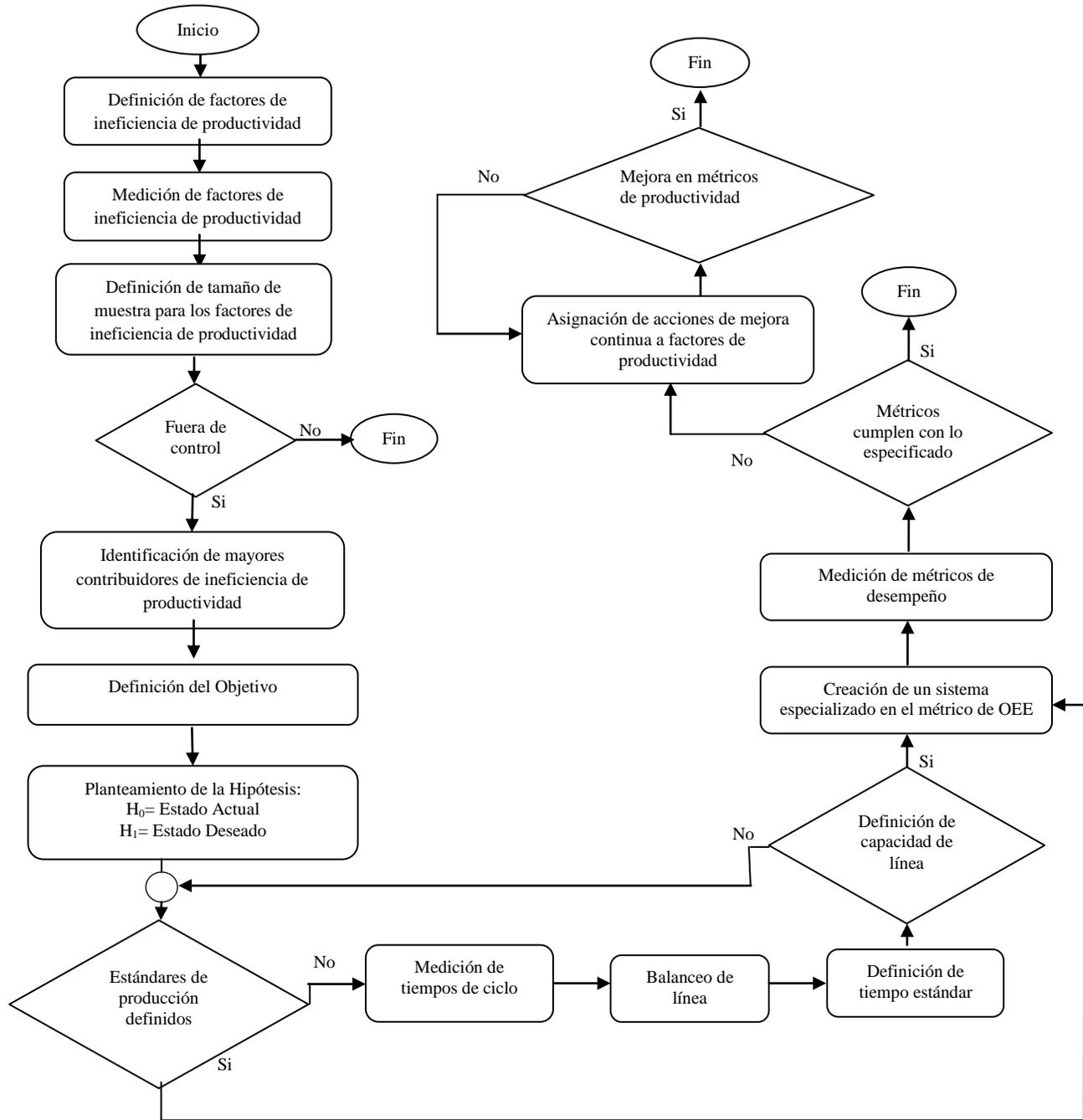


Figura 1. Diagrama de flujo

Resultados

Para la implementación de este proyecto, se determinaron las metas de eficiencia en la línea de producción, la determinación de estas metas se estableció mediante el balanceo de línea, determinación de trabajo estándar, capacidad de línea y tiempo

disponible de producción. Se tomaron los tiempos de ciclo de las estaciones de trabajo para identificar el cuello de botella de la línea de producción, estos tiempos se muestran en la Figura 2.

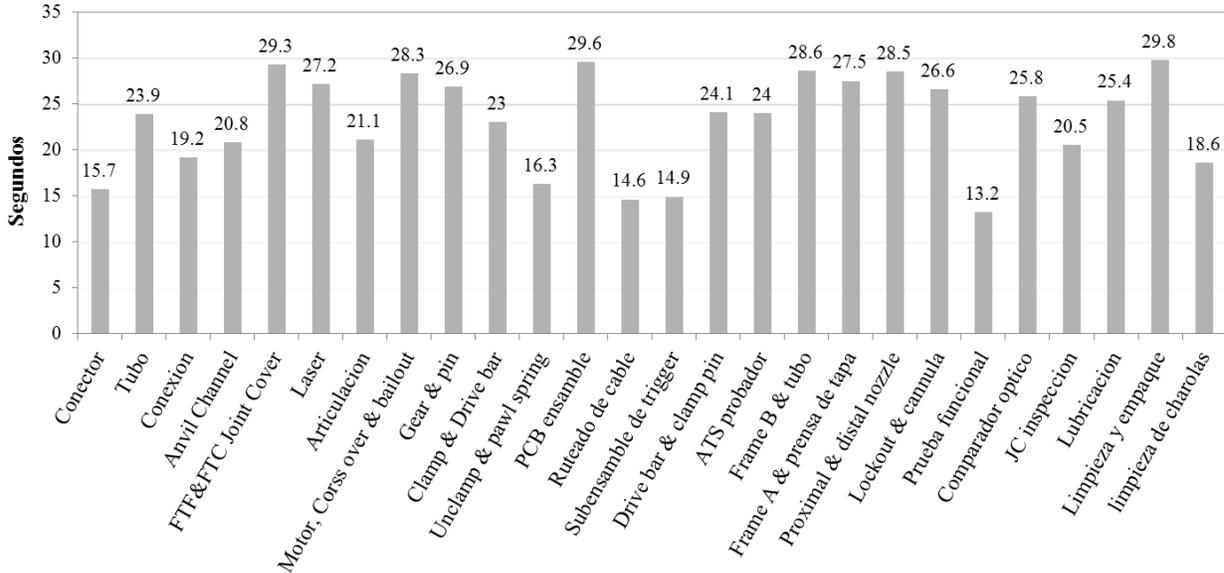


Figura 2. Balanceo de línea

Como se puede observar en la Figura 2, la línea de producción cuenta con 26 operaciones y 28 operadores, donde el tiempo de ciclo más alto en toda la distribución es de 29.8 segundos, por

lo que se tomó este valor como cuello de botella para el proceso, por lo tanto, con estos datos podemos determinar nuestro trabajo estándar en la línea de producción, el cual se calcula mediante la ecuación 1:

$$\text{Trabajo estandar} = \frac{\text{Cuello de botella}}{60 \text{ segundos}} = \frac{29.8 \text{ s}}{60 \text{ s}} = 0.49 \quad (1)$$

Por lo tanto, el tiempo estándar para esta línea de producción nos arroja un resultado de 0.49. Una vez obtenido el trabajo estándar, se determinó la capacidad

total de la línea, el cual se calcula mediante la división del tiempo disponible total entre el trabajo estándar, esta división se describe en la ecuación 2.

$$\text{Capacidad} = \frac{\text{Trabajo estandar}}{\text{Tiempo disponible}} \quad (2)$$

En la empresa donde se implementó este proyecto, el tiempo disponible de es de 9 horas y media, equivalente a 570 minutos disponibles, sin embargo, este tiempo no considera los tiempos de no producción

diaria, es decir, al día se toman 15 minutos de desayuno y 40 de comida. Por lo tanto, para determinar el total de tiempo disponible real, esto se ve reflejado en la ecuación 3.

$$\text{Tiempo disponible real} = \text{Total de tiempo disponible} - \text{Tiempo muerto planeado} \quad (3)$$

Por lo tanto, usando la ecuación 3 para determinar el tiempo disponible real, se

obtiene el resultado mostrado en la ecuación 4.

$$\text{Tiempo disponible real} = 570 - 65 \text{ min} = 505 \text{ min} \quad (4)$$

Una vez obtenido el tiempo disponible real de la línea, se da paso a determinar la capacidad de la línea de

producción aplicando la fórmula (4). La capacidad de la línea de producción se muestra en la ecuación 5.

$$\text{Capacidad} = \frac{505 \text{ min}}{0.49 \text{ min}} = 1030 \text{ piezas} \quad (5)$$

Una vez que se define la capacidad de la línea, el trabajo estándar y el tiempo disponible real, se dio paso a la creación del sistema especializado en la captura de la Eficiencia General del Equipo. Para la creación de este sistema, se crea un programa en ACCESS, donde se calcula el

factor del OEE. Para el cálculo de este factor, el sistema automáticamente emplea las ecuaciones 6, 7 y 8 para los factores de Desempeño, Calidad y Disponibilidad respectivamente, dichas fórmulas se presentan a continuación.

$$\text{Desempeño} = \frac{(\text{Tiempo de ciclo})(\text{Salida actual})}{(\text{Tiempo de operación})} \times 100 \quad (6)$$

$$\text{Calidad} = \frac{(\text{Total de producción})(\text{Defectos encontrados})}{(\text{Total de producción})} \times 100 \quad (7)$$

$$\text{Disp} = \frac{(\text{Tiempo de operación})}{(\text{Tiempo de carga})} \times 100 \quad (8)$$

Una vez que el sistema emplea automáticamente las fórmulas 6, 7 y 8, realiza el producto de estas tres para

determinar el valor de la Eficiencia General de los Equipos OEE, mostrado en la ecuación 9.

$$OEE = Disponibilidad \times Desempeño \times Calidad \quad (9)$$

Este sistema, se alimentan con variables de entrada el tiempo muerto con sus respectivas causas de cada turno, el total de piezas producidas y el total de piezas rechazadas por lote. Las variables de entrada se capturan en la pantalla de la Figura 3, la pantalla de ingreso de datos de tiempo muerto se muestra en la Figura 4. Una vez alimentada la base de datos con las variables de entrada, la base de datos nos arroja la pantalla mostrada en la Figura 5.

En la pantalla principal de salida en la base de datos, se selecciona la línea en la cual se quiere saber cuál es el factor de OEE, el tiempo en el cual se desea correr el reporte y posteriormente se selecciona la opción de reporte de supervisor para ver el métrico de OEE. Los resultados se muestran en la Figura 6.

| PRODUCCION_DATOS_L125 | | | | | | | | | | |
|-----------------------|-------|-----------|----------------|-----------------|--------|--------|--------------------|-------------------|-------|--|
| LINEA | TURNO | FECHA | HORA DE INICIO | HORA DE TERMINO | T ESTD | CODIGO | PIEZAS PROGRAMADAS | PIEZAS PRODUCIDAS | PIEZA | |
| L125 | 1 | 10/1/2014 | 11:30:00 AM | 3:30:00 PM | 0.5 | PLE60A | 150 | 108 | 0 | |
| L125 | 1 | 10/1/2014 | 6:00:00 AM | 11:30:00 AM | 0.5 | PSE60A | 600 | 400 | 0 | |
| L125 | 2 | 10/2/2014 | 3:50:00 PM | 12:14:00 AM | 0.5 | PLE60A | 600 | 534 | 0 | |
| L125 | 1 | 10/2/2014 | 1:00:00 PM | 3:30:00 PM | 0.5 | PLE60A | 663 | 60 | 0 | |
| L125 | 1 | 10/2/2014 | 11:30:00 AM | 1:00:00 PM | 0.5 | PLE60A | 87 | 87 | 0 | |
| L125 | | 10/3/2014 | 6:00:00 AM | 3:30:00 PM | | | | | | |

Figura 3. Pantalla de ingreso de datos de Desempeño y Calidad

| TIEMPO MUERTO L125 | | | | | | | |
|--------------------|-----------|-------|------------------------|--------------|---------------|----------|--|
| LINEA | FECHA | TURNO | CAUSA DE TIEMPO MUERTO | NO DE EQUIPO | MINUTOS DE TM | PLANEADO | |
| L125 | 9/29/2014 | 1 | Falla Mecanica | E14013 | 10 | NO | |
| L125 | 9/29/2014 | 1 | Cambio de Batch | | 15 | SI | |
| L125 | 9/29/2014 | 1 | Falla Mecanica | | 25 | NO | |
| L125 | 9/29/2014 | 1 | Falla Mecanica | E12158-1 | 20 | NO | |
| L125 | 9/30/2014 | 1 | Arranque de linea | | 15 | SI | |
| L125 | 9/30/2014 | 1 | Falla Mecanica | E13922 | 20 | NO | |

Figura 4. Pantalla de ingreso de datos de Desempeño y Calidad

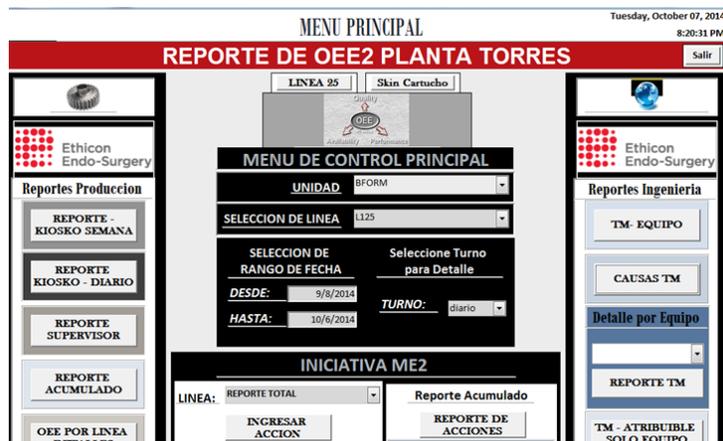


Figura 5. Pantalla principal de base de datos

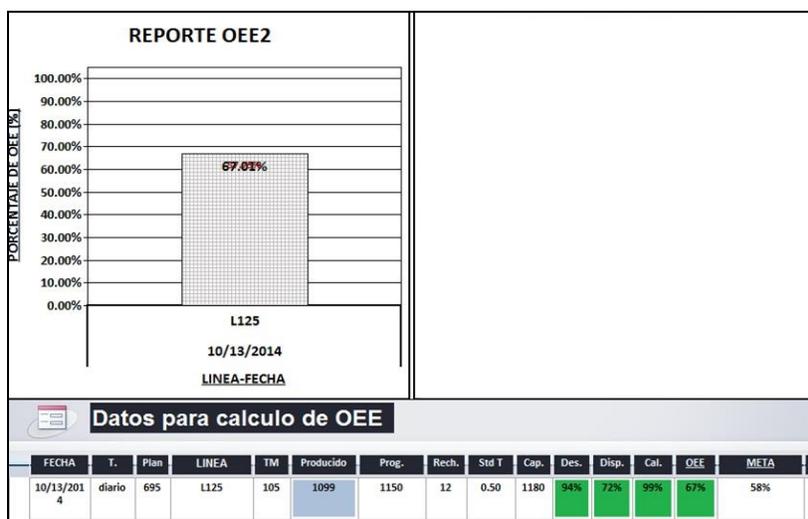


Figura 6. Reporte de Eficiencia General de los Equipos

En la figura 6 se reporta un factor de Eficiencia de 67%, sin embargo, se obtiene un valor de 72% en el factor de disponibilidad, lo cual indica que se cuenta con una oportunidad de mejora en las máquinas de producción. Para la

verificación de estas oportunidades del proceso, se selecciona la opción de “Tiempo Muerto Equipo” de la figura 5 para que el sistema entregue un desglose del tiempo muerto debido a equipo. Los resultados se muestran en la figura 7.

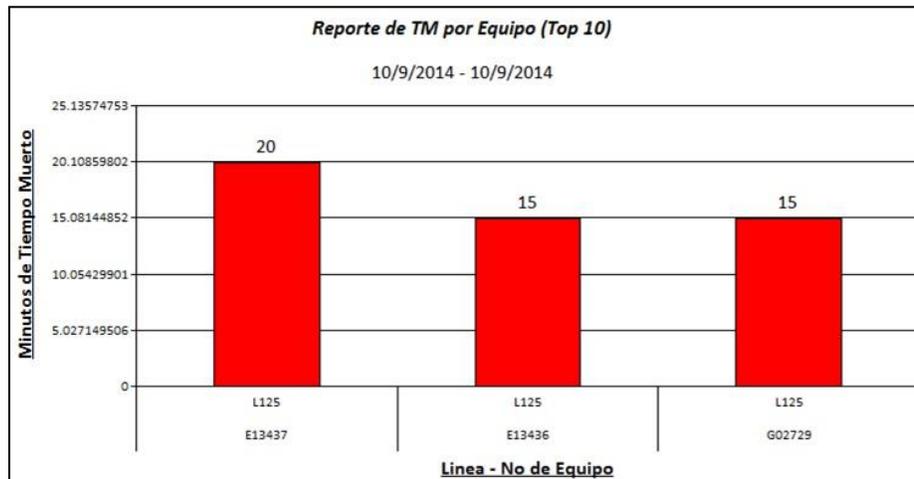


Figura 7. Tiempo Muerto Debido a Fallas de Equipo

En el Pareto de la Figura 7, se observa cuantos minutos de tiempo muerto hubo en el reporte de producción, así como las máquinas que presentaron la falla, por lo que se le asignarán acciones de mejora

continua al equipo así como también se le dará seguimiento a dichas acciones en la parte de Ingreso de Acciones de la pantalla de la Figura 5, este reporte se muestra en la Figura 8.

| DUEÑO DE LA ACCION | DESCRIPCION DE LA ACCION | ESTATUS | FACTOR OEE |
|--------------------|--------------------------------------------------------|---------|------------|
| Supervisor | Revisar causas de tiempo muerto el los reportes de OEE | 0 | OEE |
| Ingeniero de Mfg | Dar de Alta Cilindro neumatico(Peeler) a toolcrib | 0 | OEE |
| Ingeniero de Mfg | Reemplazar guardas quebradas de la maquina E12761 | 80 | OEE |
| Mecanico | comprar nido para la maquina decoradora | 50 | OEE |
| Ingeniero de Mfg | modificar el sistema de extraccion de la laser trimmer | 50 | OEE |

Figura 8. Lista de Acciones de Mejora

La lista de acciones de mejora continua se implementó permanentemente en la línea de producción para reducir el tiempo muerto y por consiguiente el aumento de productividad.

Para la validación de este proyecto, se tomaron datos de producción después de la implementación de la base de datos de la

Eficiencia General de los Equipos y el programa de mejora continua. Con estos datos, se hizo una prueba 2-t comparando los datos de antes de implementar el sistema de mejora y del después de la implementación del mismo sistema, esto con la intención de mostrar que existe mejora estadística en la producción, la prueba 2-t se muestran a continuación:

Prueba Dos-T y CI: Prod Inicial, Prod Final

Dos-Muestras T para Prod Inicial vs Prod Final

| | N | Media | DesEst | Media |
|--------------|----|-------|--------|-------|
| Prod Inicial | 96 | 469 | 110 | 11 |
| Prod Final | 48 | 524 | 161 | 23 |

Diferencia = μ (Prod Inicial) - μ (Prod Final)

Estimación para diferencia: -55.1

95% Límite superior para diferencia: -12.0

Prueba-T de diferencia = 0 (vs <): Valor-T = -2.13 Valor-P = 0.018 DF = 69

Con los resultados obtenidos de la tabla 2 obtenemos un valor de $P < 0.05$, por lo que tenemos un nivel de confianza del 95% para rechazar la Hipótesis Nula, por lo tanto se comprueba estadísticamente que

existe mejora significativa en la producción diaria con después de la implementación de la base de datos y del programa de mejora continua.

Conclusiones

Después de la elaboración de este proyecto de mejora de eficiencia en la línea de producción donde el proyecto se implementó, aprendí a utilizar el método de ingeniería para la solución de problemas. Este método me dejó de enseñanza el cómo atacar los problemas mediante la aplicación de una metodología, mediante la elaboración de una estructura de trabajo, además de que aprendí a cómo organizar las ideas de inicio a fin para la solución del mismo problema.

Además, mediante la utilización del método de ingeniería, comprendí como es que se identifican los problemas a través de datos estadísticos, es decir, en el presente proyecto, la mayor parte del equipo de trabajo estaba al tanto de que la línea de producción tenía un problema de

ineficiencia de producción, el cual se comentaba en junta tras junta, sin embargo, no se realizaba un análisis a fondo con datos para demostrar estadística y gráficamente la justificación de este problema, además de que no se tenía un sistema que nos mostrara cual era el estado actual de la producción de esta línea.

Por otra parte, mediante la aplicación del método de ingeniería, también aprendí a utilizar diferentes herramientas de diversos métodos para llegar a la solución de un problema, desde un simple análisis de toma de tiempos, hasta el cálculo para la definición del trabajo estándar de un proceso de producción.

Para concluir, después de haber realizado este proyecto, seré capaz de liderar proyectos en cualquier empresa maquiladora donde me encuentre laborando, mediante la implementación de una metodología de trabajo estructurada para la solución de

problemas, esto debido a que el método de ingeniería puede ser usado en cualquier empresa maquiladora, no solo en el área de producción, si no en cualquier área en el cual se identifique un problema y no se tenga identificada la solución del mismo.

References

Jonsson, P. and Lesshammar, M., Evaluation and improvement of manufacturing performance measurement systems—the role of OEE. *Int. J. Oper. Prod. Manage.*, 1999, 19, 55–78.

Fleischer, J., Weismann, U., and Niggeschmidt, S., 2006. Calculation and optimization model for costs and effects of availability relevant service elements. *Proceedings of LCE*, 675–680.

Levitt, J., 1996. *Managing factory maintenance*. New York, NY: Industrial Press.

Muchiri P. and pintelon L., Performance measurement using overall equipment effectiveness (OEE): literature review and practical application discussion, Heverlee, Belgium, Taylor Francis

Zammori F., Braglia M. and Frosolini M., *Stochastic overall equipment effectiveness*, Università di Pisa Via Bonanno Pisano 25/B, 56126 Pisa, Italy, Taylor Francis

Panagiotis H. Tsarouhas, Evaluation of overall equipment effectiveness in the beverage industry: a case study, Katerini, Hellas, Greece, Taylor Francis

Abdul Samat H., Kamaruddin S & Abdul Azid I., Integration of overall equipment effectiveness (OEE) and reliability method for measuring machine effectiveness, Universiti Sains Malaysia, Engineering Campus, Malaysia, South African Journal of Industrial Engineering.

Desarrollo de un plan de prueba para pruebas de vida acelerada en el sensor *knock*

José Roberto Díaz Reza¹, Manuel Iván Rodríguez Borbón¹, Rey David Molina Arredondo¹,
Roberto Romero López¹

¹Universidad Autónoma de Ciudad Juárez

Resumen

La falta de pruebas de vida acelerada en las empresas conlleva a que se presenten problemas de garantía de los productos, Continental Juárez Planta I no es la excepción, ya que presenta problemas de garantía en sensores *knock* debido a la incertidumbre del tiempo de vida estos. En este trabajo se pretende desarrollar un plan de prueba para pruebas de vida acelerada para los sensores que permita estimar el tiempo de vida garantizado por el fabricante mediante el uso de herramientas estadísticas que definan el estrés que afecta al sensor, así como también los niveles de prueba del estrés, posteriormente calcular el tamaño de muestra y calcular los percentiles de interés. Para realizar las pruebas en los sensores y de esta manera obtener los datos para el análisis, se utilizará una cámara para pruebas de vida acelerada. Asimismo, el análisis se realizara con la utilización de los softwares: Minitab 16, ALTA 9, R y Matlab. Finalmente, el análisis de los datos del plan de prueba se desarrollará con el fin de reducir las fallas en los sensores, las devoluciones por producto, establecer tiempos de garantía convenientes e impactar en los gastos por garantía en los que incurre la empresa.

Palabras clave: Sensor Knock, pruebas de vida acelerada, relaciones de vida-esfuerzo, planes de prueba.

Introducción

Antecedentes

De acuerdo con Acuña (2003), el enfoque actual en procesos de manufactura se ha dirigido hacia el desarrollo de productos que sean suficientemente robustos para que puedan enfrentar los embates tanto del proceso de producción como de su uso final. Estas acciones enfocan los esfuerzos de la calidad hacia el diseño, tanto del producto como de los procesos que, en forma concurrente, tratan de cumplir con los requisitos establecidos por los clientes. Según Crottsby et al. (2003) citado por Alberts & Jasper (2012) la calidad puede ser

el componente más crítico en la satisfacción de los requerimientos del cliente de una organización. Actualmente, el costo de las cuentas de control de calidad está entre 7 y 10% de los ingresos totales por ventas de los fabricantes (Dhillon, 2005). De ahí parte la importancia de asegurarla; y esto es posible en la etapa del diseño del producto y del proceso.

Hoy en día, las empresas buscan la reducción del costo total invertido en el control de calidad, sin reducir la calidad de los productos y servicios, con el fin de mantenerse competitivos dentro de la

economía tanto local como global (Dhillon, 2005), para lograr dicho objetivo es necesario hacer uso de otras técnicas que ayuden a asegurar la calidad a través del tiempo.

Una de las técnicas que permite estudiar el comportamiento del desarrollo de los productos y de su vida útil es la confiabilidad (Acuña, 2003). La confiabilidad se define como la probabilidad de que un componente o sistema llevará a cabo una función requerida para un tiempo dado cuando se usa bajo condiciones de operación establecidas (Ebeling 2010, Wessels 2010, Birolini 2014).

En los últimos años la aplicación de la confiabilidad a la ingeniería de producto y de procesos ha demostrado excelentes resultados como medio de anticipar fallas de operación (Acuña, 2003); por ejemplo, identificar, prevenir, reducir y corregir dichas fallas. Una falla ocurre cuando un producto deja de realizar su función requerida, dichas fallas se deben clasificar de acuerdo a su modo, producción o uso y mecanismo (Birolini, 2014).

Por lo tanto, con el propósito de minimizar las fallas en los diseños de ingeniería, los diseñadores deben entender por qué y cómo ocurren las fallas lo que a su vez conlleva a maximizar el rendimiento del sistema y hacer eficiente el uso de los recursos (Modarres, Kaminskiy, & Krivtsov, 2010).

En 2007 Jing-Ying, Hong-Jian , Guo-Jin, Yong, & Pin-hua realizaron una prueba y un análisis de confiabilidad en un

relevador protector de sobrecarga de un motor para determinar la razón del incremento de las fallas y mejorar la confiabilidad de los productos ya que dicha confiabilidad afecta directamente el funcionamiento seguro del motor. Los resultados obtenidos arrojaron que las fallas del relevador protector de sobrecarga se deben a una baja confiabilidad debido a la resistencia del contacto del relevador, la sincronización del sistema bimetálico, procesamiento, ensamble, entre otras.

En ocasiones la cantidad de tiempo disponible para pruebas de confiabilidad es considerablemente menor que el tiempo de vida esperada de un componente (Ebeling, 2010). Por esta razón es necesario realizar pruebas que nos permitan saber el comportamiento de los materiales o productos a través del tiempo. Las pruebas de vida acelerada a menudo han sido usadas para obtener fallas dentro de un marco de tiempo razonable para que la distribución de vida de los materiales y productos pueda ser estimada (Loon-Ching, Aik-Peng, & Soon-Huat, 2002).

Las pruebas de vida acelerada se componen de una variedad de métodos de ensayo para el acortamiento de la vida de los productos o bien acelerar la degradación de su rendimiento. El objetivo de esta prueba es obtener rápidamente los datos que, adecuadamente modelados y analizados, proporcionen la información del rendimiento deseado sobre la vida o desempeño del producto en condiciones de uso normal (Nelson, 2004).

En 2007 Gyu-Ho & Hongbing desarrollaron un método de prueba de vida

acelerada con un diseño óptimo de estrés múltiple basado en un modelo de riesgo proporcional para determinar la resistencia a la fatiga a largo plazo a través de millones de ciclos de un polímero vítreo. Lo anterior les permitió desarrollar los primeros planes de prueba de vida acelerada de análisis que utilizan el modelo de riesgos proporcionales con múltiples factores de estrés para predecir la confiabilidad. Dichos planes determinarán los niveles para todos los tipos de estrés y el número de unidades de prueba asignado a cada nivel con el fin de reducir al mínimo la varianza de la estimación de la confiabilidad en condiciones de funcionamiento normal durante un periodo de tiempo.

Existen diversos modelos de pruebas de vida acelerada para el análisis de la relación vida-esfuerzo, entre los que destacan, Arrhenius (Wayne, 2004; Ebeling, 2010), que se usa para modelar la vida del producto en función de la temperatura, Eyring (Nelson, 2004; Ebeling, 2010), que es una alternativa para a la relación de Arrhenius, la relación de potencia inversa (Ebeling, 2010; Nelson, 2004) que se usa para modelar la vida del producto como una función de un estrés de voltaje, entre otras.

No basta solo con conocer los modelos que relacionan la vida-esfuerzo para realizar una prueba de vida acelerada, también se debe definir un plan de prueba para saber cómo elegir los niveles de las variables que se aceleran, especificar los rangos de las variables experimentales de aceleración y elegir el número de unidades de prueba para asignar a cada nivel de la variable de aceleración ya que los criterios

apropiados para la elección de un plan de pruebas dependen del propósito del experimento (Meeker & Escobar, 1998).

Planteamiento del Problema

En general, la falta de pruebas de vida acelerada en las empresas conlleva a que se presenten problemas de garantía de los productos. En la empresa Continental Juárez Planta I se fabrican sensores *knock* para diferentes compañías de automóviles, dichas compañías exigen que se realicen pruebas de validación de los sensores, las cuales han sido diseñadas por los clientes mismos para garantizar la vida o la calidad del producto a través del tiempo.

Sin embargo, estas pruebas de validación no determinan la confiabilidad de producto, es decir, no se determina la vida útil del sensor bajo dichas condiciones solo se realizan las pruebas para verificar que el sensor puede soportar los efectos expuestos en las pruebas anteriores y que se cumple con los requerimientos solicitados por el cliente.

En la actualidad, la empresa no cuenta con pruebas de vida para ningún producto que garantice el buen funcionamiento, la vida útil, o bien, que ayuden a detectar los defectos que se puedan presentar una vez que el producto esté en funcionamiento y de esta manera garantizar la vida y la calidad del producto durante un periodo de tiempo establecido por el fabricante.

Debido a este hecho, hoy en día se tienen problemas de garantías ocasionadas por el mal funcionamiento de los sensores

que se envían al cliente, lo cual indica que existen problemas de calidad, o bien, problemas de confiabilidad en los sensores así como también se necesita saber si se requieren cambios en el diseño del producto o en el proceso.

Justificación

Las empresas hoy en día buscan ser más competitivas para lograr el éxito dentro del mercado, es por eso que optan por especializarse en áreas de importancia como lo es la ingeniería de confiabilidad. Al ser Continental una empresa reconocida a nivel mundial no debe presentar en sus productos calidad y confiabilidad bajas, sin embargo, actualmente esta empresa está recibiendo un alto porcentaje de devoluciones de productos debido a que no están cumpliendo con las garantías que ofrecen en sus componentes; lo que indica que se están cubriendo las expectativas de vida para la que fueron diseñados.

Lo anterior está sucediendo a pesar de que Continental está realizando las pruebas de validación solicitadas por el cliente y estas pruebas están cumpliendo con los requerimientos. Sin embargo, a pesar de que los productos están cumpliendo, después de determinado tiempo presentan fallas, por lo que se hace necesario realizar pruebas de vida acelerada.

Es bien sabido que cualquier componente o en este caso el sensor *knock* no está exento de fallas, pero es importante tener en él una alta confiabilidad ya que desempeña un papel importante en el motor del automóvil y al suscitarse una falla en

este sensor los daños que podría ocasionar desde bajo rendimiento en el combustible hasta fallas mecánicas en el motor.

Asimismo, es importante observar el comportamiento del sensor para determinar su vida útil durante un periodo de tiempo determinado bajo condiciones establecidas. Para lograr esto se debe establecer un plan de prueba para realizar pruebas de vida acelerada en las cuales se determine la confiabilidad del sensor, así con esto lograr un nivel de satisfacción alto para el cliente y ofrecer periodos de garantía adecuados para evitar gastos por devoluciones de productos defectuosos.

Objetivos

Diseñar un plan de pruebas para sensores *knock* que estime el tiempo de vida garantizado por el fabricante.

Determinar el estrés que afecta la vida del sensor *knock*

Determinar los niveles de prueba del estrés.

Calcular el tamaño de muestra.

Analizar los resultados para validar el plan de prueba.

Estimar la fracción de falla del sensor *knock*.

Estimar los percentiles de interés.

Alcance

De acuerdo al objetivo establecido anteriormente se pretende determinar la confiabilidad de los sensores *knock* elaborados en la empresa Continental, es decir, se busca con la elaboración de este

trabajo establecer un plan de prueba específico para pruebas de vida acelerada que indique el tiempo de vida útil de dicho sensor, con la finalidad de incrementar la satisfacción del cliente y disminuir al máximo los costos de garantía adquiridos por fallas dentro de este periodo.

Delimitación

Continental es una empresa que fabrica una gran variedad de productos para diferentes marcas de automóviles, dentro de estas

marcas se incluyen; Toyota, Ford, Chrysler, Nissan, BMW, entre otras. De los productos que se fabrican en la empresa destacan los neumáticos, ya que Continental es uno de los cinco productores más importantes a nivel mundial, también se producen mangueras, bandas o cadenas de tiempo para el motor, sensores *knock*, además de otros. Este trabajo se enfocará en el cliente Ford, específicamente en la línea de sensores, tomando como objeto de análisis el sensor *knock* xxx.

Marco Teórico

La variable aleatoria T es llamada continua si su función de distribución acumulada (CDF) es una función continua de t . La función de densidad de probabilidad (PDF) correspondiente a $F(t)$ es su derivada (en caso de existir). Denotamos PDF por $f(t)$ Esta función describe la forma de la distribución de falla de tal manera que:

$$F(t) = \int_0^t f(x)dx, \quad 0 \leq t \leq \infty. \quad (1)$$

La confiabilidad, la cual denotaremos por $R(t)$ se usa generalmente para expresar un cierto grado de seguridad de que un dispositivo o sistema operará con éxito en un entorno determinado durante un cierto periodo (Shelemyahu , 1992). La función de confiabilidad $R(t)$ teniendo una distribución de vida $F(t)$ de un componente o un sistema es:

$$R(t) = 1 - F(t) = \int_t^{\infty} f(t)dt \quad (2)$$

Otra función importante relacionada con la distribución de vida es la tasa de falla o tasa de riesgo instantánea $h(t)$ o también denotada por $l(t)$. Esta es la tasa de riesgo instantánea de un elemento el cual ha sobrevivido t unidades de tiempo (Shelemyahu , 1992).

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (3)$$

La forma más útil para expresar la PDF de la confiabilidad y de la falla es en términos de la tasa de falla (Lewis, 1994).

$$R(t) = \exp \left[- \int_0^t \lambda(t')dt' \right] \quad (4)$$

Para obtener la PDF para las fallas (Lewis, 1994)

$$f(t) = \lambda(t') \exp \left[- \int_0^t \lambda(t')dt' \right] \quad (5)$$

Pruebas de vida acelerada

La competición global y otros factores están forzando a los fabricantes a producir productos altamente confiables, seguros y de buena calidad. Sin embargo, dicha competición ha llevado a desarrollar nuevas estrategias de mercadotecnia de productos, tales como tiempos de garantía inusuales a la hora de vender el producto (Rodríguez Borbón, 2007).

Esto de hecho ha considerado a las pruebas de confiabilidad tradicional como obsoletas debido al largo tiempo necesario para realizar una prueba y su inhabilidad de proveer predicciones de confiabilidad a condiciones diferentes a las condiciones de la prueba (Rodríguez Borbón, 2007).

Debido a las limitaciones de tiempo y recursos las pruebas de vida acelerada (ALT por sus siglas en inglés) proveen una forma económica de obtener datos vida (Francis, 2009), ya que los productos son sometidos a dichos niveles de estrés que aquellos a uso normal e.g. temperatura, voltaje y tasa de uso con el propósito de obtener información de manera oportuna. (Francis, 2009).

El análisis de datos de vida tradicional involucra los datos de tiempos de falla obtenidos bajo condiciones de operación normal con el fin de cuantificar las características de vida de un producto, sistema o componente (ReliaSoft, 2014).

En el análisis de datos típicos de vida, se determina, a través del uso de distribuciones estadísticas, una distribución de vida que describa los tiempos de falla de

un producto. Estadísticamente hablando, se desea determinar el nivel de uso de la PDF, o los tiempos de falla. Una vez que se obtiene la PDF, los demás resultados de confiabilidad se pueden determinar fácilmente, incluyendo el porcentaje de fallas bajo garantías, tasas de riesgo, comparación de diseño y periodo de desgaste (ReliaSoft, 2014).

La vida característica puede ser cualquier medida como la media, mediana, confiabilidad, $F(t)$, las cuales están expresadas en función del estrés (ReliaSoft, 2014). Dependiendo de la distribución que se asuma, se consideran diferentes vidas características. En la siguiente tabla se muestran la vida característica de algunas distribuciones.

Tabla 1. Vida característica de algunas distribuciones comunes. Fuente: (ReliaSoft, 2014)

| Distribución | Parámetros | Vida Característica |
|--------------|---------------|----------------------------|
| Weibull | β, v | Parámetro de escala v |
| Exponencial | λ | Vida media ($1/\lambda$) |
| Lognormal | μ, σ | $\exp(\mu + \sigma^2/2)$ |

Se puede escoger una distribución fundamental para ajustar los datos de vida recolectados a cada nivel de estrés que derive en la PDF del estrés acelerado para cada nivel de estrés. Se puede elegir una relación de vida estrés (Arrhenius, potencia inversa, Eyring, entre otras) para cuantificar el camino desde la PDF del estrés acelerado con el propósito de extrapolar el nivel de uso de la PDF (ReliaSoft, 2014). Desde extrapolar el uso del nivel de uso de la PDF, se pueden derivar una variedad de funciones, incluyendo, confiabilidad, tasa de falla, media, tiempo de garantía, etcétera.

A continuación se muestran algunos modelos de las relaciones vida-esfuerzo. (ReliaSoft, 2014)

Relaciones de vida esfuerzo

Relación de Arrhenius

De acuerdo con Nelson (2004) la relación de vida esfuerzo (vida estrés) de Arrhenius es extensamente usada como una función de la temperatura. Cuando las fallas son aceleradas como un resultado de un incremento en la temperatura, este enfoque está basado en el modelo Arrhenius (Ebeling, 2010), usada para describir la relación entre la tasa de una reacción química y la temperatura (Rodríguez-Díaz & Santos-Marín, 2008).

Relación de Potencia Inversa

La relación de potencia inversa es extensamente usada para modelar la vida del producto en función de un estrés de aceleración, las aplicaciones incluyen: lámparas incandescentes, lámparas de flash, fatiga de metal simple debido a cargas mecánicas, entre otros (Nelson, 2004)

Relación de Eyring

De acuerdo con Escobar & Meeker (2006) Eyring da una teoría física describiendo el efecto que la temperatura tiene sobre la tasa de reacción. Se utiliza con mayor frecuencia cuando la tensión térmica (temperatura) es la variable de aceleración. Sin embargo, la relación Eyring también se utiliza a menudo para las variables de estrés diferentes a la temperatura, tales como la humedad (ReliaSoft, 2014).

Planes de Prueba

La predicción de la confiabilidad de nuevos componentes, productos y sistemas es una difícil tarea debido a la falta de planes de prueba bien diseñados que aporten información útil durante la prueba y debido a la naturaleza estocástica de las condiciones de operación normal. La precisión de la predicción de la confiabilidad tiene un efecto mayor en los costos de garantía, reparación y estrategias de mantenimiento. Por lo tanto es importante diseñar planes de prueba eficientes (Elsayed, 2013).

Un plan de prueba detallado es en general diseñado antes de llevar a cabo una prueba de vida acelerada. El plan requiere determinar el tipo de estrés, método de aplicación del estrés, los niveles de estrés, el número de unidades a ser probadas, y un modelo aplicable de ALT que relacione los tiempos de falla a condiciones aceleradas a aquellos a condiciones normales. Con el propósito de determinar el tipo de estrés a ser aplicado en ALT es importante entender la falla potencial de los componentes y las causas de tales fallas. Esto en general es basado en conocimiento de ingeniería de los materiales de los componentes, función y los estreses que inducen tal falla (Elsayed, 2013).

En general, el tipo de estrés aplicado depende de las condiciones de operación previstas del producto y la causa potencial de la falla. En muchos casos el número de unidades y tiempo disponible son extremadamente limitados. Esto ha llevado a la industria a considerar diferentes tipos de cargas de estrés (Elsayed, 2013).

Debido a los presupuestos ajustados y a las limitaciones de tiempo, hay una necesidad cada vez mayor de determinar la mejor carga de estrés con el fin de acortar la duración de la prueba y reducir el costo total mientras se alcanza una estimación precisa de confiabilidad (Elsayed, 2013).

Además, como es a menudo el caso, los productos son generalmente expuestos a múltiples estrés en el uso real, como la temperatura, humedad, corriente eléctrica, campo eléctrico y varios tipos de shock y vibración (Elsayed, 2013)

Nelson (2004) menciona que un buen plan de prueba debe ser robusto, multipropósito y proveer de estimaciones precisas, tales planes consisten de tres o cuatro niveles de prueba igualmente espaciados con asignaciones desiguales.

Por su parte Elsayed (2013) menciona que un plan para pruebas de vida acelerada requiere determinar el tipo de estrés, método de aplicar el estrés, niveles de estrés, número de unidades a ser probadas a cada nivel de estrés y un modelo de ALT aplicable que relacione los tiempos de falla condiciones aceleradas con aquellas a condiciones normales.

Cuando se diseña un ALT, necesitamos abordar las siguientes cuestiones: (a) seleccionar los tipos de estrés a usar en el experimento; (b) determinar los niveles de estrés para cada tipo de estrés seleccionado; y (c) determinar la proporción de aparatos a ser asignados al nivel de estrés (Elsayed, 2013).

Metodología

En base al historial de las pruebas realizadas a los sensores y de los datos obtenidos a partir de estas, tales datos se analizan y se llega a la conclusión que siguen una distribución Weibull, por lo tanto la metodología está enfocada a dicha distribución. La metodología se dividió en 6 etapas, las cuales se describen a continuación.

Calcular el tamaño de muestra

En esta etapa se desea calcular el tamaño de muestra (n) necesario para satisfacer los requerimientos solicitados por el cliente, se puede determinar el número n que logre una precisión deseada de la estimación de la vida media logarítmica o la vida mediana a

un estrés de diseño (Nelson, 2004). Para cualquier plan de prueba, la n que logra esto es:

$$n = \{1 + (x_0 - \bar{x})^2 \cdot [n / \sum (x_0 - \bar{x})^2]\} \cdot (K_r \sigma / w)^2 \quad (6)$$

Determinar el estrés que afecta la vida del Sensor

En esta etapa se determinó mediante los FMEA internos de la empresa que el estrés que afecta la vida del sensor es la temperatura, es por eso que se utilizará la relación de vida-esfuerzo de Arrhenius combinada con la distribución Weibull la cual se dijo que se utilizaría al principio de la metodología.

Determinar los niveles de prueba del estrés.

Ahora que ya conocemos el estrés que afecta al sensor, se calcularán los niveles a los cuales vamos a realizar las pruebas así como también el tiempo de duración de la prueba y la cantidad de unidades que se asignarán en cada nivel del estrés para poder obtener información suficiente para calcular los parámetros necesarios para realizar los cálculos posteriores.

Estimar la fracción de falla del sensor Knock

En esta etapa se van a hacer los análisis para calcular la fracción de falla de los sensores a un determinado tiempo t y una temperatura T , para esto utilizaremos la siguiente fórmula extraída de Nelson (2004) que relaciona estos dos factores:

$$\begin{aligned} F = (t, T) &= 1 - e^{-[t/\alpha(T)]^\beta} = \\ &= 1 - e^{-te^{-[\gamma_0 - (\gamma_1/T)]^\beta}} \end{aligned} \quad (7)$$

Estimar los percentiles de interés

En cuanto a los resultados esperados de este trabajo se busca el desarrollo de un diseño de plan de prueba para pruebas de vida acelerada, análisis de confiabilidad, específicamente en el sensor *Knock*, para posteriormente calcular percentiles y cuartiles a condiciones de operación del

En la etapa 5 se calcularán todos los percentiles mediante la fórmula en Nelson (2004)

$$\begin{aligned} \tau_p(T) &= \alpha(T)[\ln(1 - P)]^{1/\beta} = \\ &= \exp[\gamma_0 + \gamma_1(1000/T)][-\ln(1 - P)]^{1/\beta} \end{aligned} \quad (8)$$

Analizar los resultados para validar el plan de prueba.

En Nelson (2004) se presentan tres tipos de planes, los cuales son: planes óptimos, tradicionales y de compromiso. Los planes óptimos producen más estimaciones precisas a niveles de estrés de diseño, los planes tradicionales consisten en niveles de estrés igualmente espaciados en la prueba, cada uno con el mismo número de muestras, este plan produce menos precisión en la estimación que los planes óptimos. Los planes de compromiso corren más muestras al nivel de estrés bajo que a un nivel alto y estos planes darán mejores resultados para pruebas de costo y tiempo dados. De estos tres se analizará la varianza para saber cuál es el más adecuado para la situación actual dentro de la empresa.

Resultados

sensor con el fin de reducir las devoluciones por producto defectuoso y así establecer tiempos de garantía convenientes al momento de vender el producto a los clientes e impactar en los gastos por garantía en los que incurre la compañía.

Referencias

- Acuña, J. A. (2003). Ingeniería de Confiabilidad. Costa Rica: Tecnológica de Costa Rica.
- Alberts, G. A., & Jasper, L. S. (2012). The Influence of Customers' Quality Perception of Commercial Vehicles on Their Maintenance Behavior. *Technology Management For Emerging Technologies*, 3387-3396.
- Birolini, A. (2014). *Reliability Engineering, Theory and Practice*. Heidelberg: Springer.
- Ebeling, C. E. (2010). *An Introduction to Reliability and maintainability engineering*. Illinois: Waveland Press, Inc.
- Elsayed, A. E. (2013). *Stochastic Reliability and Maintenance Modeling*. London: Springer Series in Reliability Engineering.
- Escobar, L. A., & Meeker, W. Q. (2006). *A Reiview of Accelerated Test Models*.
- Francis, P. (2009). Accelerated life test planning with independent lognormal competing risks. *Journal of Statistical Planning and Inference*, 140 (2010) 1089-1100.
- Lewis, E. E. (1994). *Introduction to Reliability Engineering*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Loon-Ching, T., Aik-Peng, T., & Soon-Huat, O. (2002). Planning Accelerated life test with Three constant stress levels. *Pergamon*, 439-446.
- Modarres, M., Kaminskiy, M., & Krivtsov, V. (2010). *Reliability Engineering and Risk Analysis A Practical Guide*. Boca Raton London New York: CRC Press.
- Nelson, W. B. (2004). *Accelerated Testing, Statistical Models, Test Plans and Data Analysis*. Hoboken, New Jersey: JOHN WILEY & SONS, INC.
- ReliaSoft. (18 de Febrero de 2014). *Accelerated Life Testing Data Analysis Reference*. Obtenido de http://reliawiki.com/index.php/Accelerated_Life_Testing_Data_Analysis_Reference
- Rodríguez Borbón, M. I. (2007). *Bayesian Analysis for Cox's Proportional Hazard Model With Error Effect and Applications To Accelerated Life testing Data*. El Paso Tx.: The University Of Texas.
- Rodríguez-Díaz, J. M., & Santos-Marín, M. T. (2008). Study of the best designs for modification of the Arrhenius Equation. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 95 (2009) 199-208.
- Shelemyahu, Z. (1992). *Introduction to Reliability Analysis, Probability Models and Statistics Methods*. New York: Springer-Verlag New York Inc.

Enfoque holístico en una línea de producción de una empresa maquiladora de arneses y sensores

Lourdes Ileana Díaz Herrera¹, Gabriel Ibarra Mejía¹, RR Martínez Arroyo¹, Virginia Estebané Ortega¹

¹Universidad Autónoma de Ciudad Juárez.

Introducción

Holística se refiere al entendimiento de un fenómeno como un sistema integrado y no como el resultado de la suma de sus partes. Así es como un enfoque holístico se asegura que ninguna parte del sistema sea despreciado y toma en cuenta la interacción simultánea de todos los factores que intervienen en el haciéndolo ideal para los sistemas complejos como los son la industria maquiladora (Vysburd, 2006).

Las organizaciones complejas se manejar por medio del diseño, desarrollo e instalación de métodos óptimos, coordinando personas, materiales, equipo, energía e información. Todos estos elementos se integran para producir bienes y servicios en un mundo complejo y globalizado (Oke, 2006).

Este proyecto se enfocará en implementar diversas herramientas de ingeniería industrial y de sistemas (IIS) como Ergonomía, Lean Manufacturing, Calidad y Cadena de Suministros para mejorar las condiciones de trabajo logrando que los diferentes departamentos en la empresa trabajen en la línea de producción de este estudio, se espera que aplicando las mejoras creé un mejor ambiente laboral para beneficio del trabajador y de la empresa que verá los resultados reflejados

con el aumento de productividad y producción, disminución de residuos, quejas de los trabajadores por molestias y ausentismo.

Antecedentes

Las compañías enfrentan retos como contar con los requisitos adecuados para obtener el mejor desempeño de sustentabilidad. Existen varias herramientas y métodos para manejar la sustentabilidad, con un enfoque holístico se proporciona la regulación y cumplimiento de los requisitos de las partes interesadas (*stakeholders*) (Fet, Aspen, & Ellingsen, 2012).

Lucka Lorber (2014) realizó un proyecto en el que se pretendía encontrar un método para revivir a las áreas donde se encontraban industrias viejas, se pretendía encontrar el mejor manejo en la industria con participación por las personas locales y las partes interesadas de la empresa, el autor concluye que es necesario un enfoque holístico para lograr.

Pasman, Knegtering y Rogers (2013) usaron enfoque holístico en un proyecto para un proceso seguridad y encontrar la manera de estar un paso antes de que suceda, tuvieron resultados favorable anticipando accidentes y reduciendo las probabilidades de

ocurrencia y por consecuencia aumentaron las utilidades en el proceso. Concluye que el tiempo a largo plazo del proceso también tiene que ser considerado como un parámetro dentro del método.

Constantinescu, Eichelberger, y Frank (2009) presentaron un modelo para empresas complejas con diversos productos, las cuales se adaptan a cambios constantes de producto, mercado y tecnologías. Ofrecen un método que incluye cadena de suministro, infraestructura, sistemas de manufactura, máquinas, estaciones de trabajo y procesos. Ofrece una sincronización con las fases y las herramientas del manejo del producto, con el conjunto de tecnologías en el flujo de trabajo establece la distribución y conexión de modelos, sistemas de ingeniería y recursos informáticos.

Nagaraj (2005) realizó un proyecto químico con un método holístico para la selección y optimización de reactivos por medio de cuatro fases iterativas donde cada una está sujeta a la otra. Afirma que este tipo de enfoque puede ser extenso pero es adecuado para obtener una solución sólida, sostenible y aplicación rentable.

Planteamiento del problema

Una empresa electrónica localizada en Ciudad Juárez se dedica al ensamble de sensores y arneses, con un estudio preliminar en una línea de producción se identificó que actualmente cuenta con problemas en las varias áreas que abarcan desde los trabajadores hasta producción y calidad.

El primer problema es que los trabajadores manifiestan quejas que son particularmente molestias tales como dolores musculares en extremidades superiores e inferiores, dolor de cabeza, cansancio y dolores gastrointestinales. Presentan una alta rotación en los trabajadores y el ausentismo promedio en la línea de trabajo es de 4% y la meta de la empresa es de 1.5%.

El porcentaje promedio de producción del 97% y su meta es del 100%. Aunque su porcentaje parece alto, tiene altibajos diariamente presentando valores con un rango promedio de 200%. En productividad la meta pretende llegar al 95% diariamente y hasta el momento su apego al programa tiene un promedio de 74%.

Existen varias quejas por parte del cliente, razón por lo cual se ha regresado el producto debido a los defectos que contienen además que la línea tiene un índice de desperdicios de material.

Otro inconveniente es que la empresa cuenta con poco espacio para las instalaciones y no tiene planes de expansión o cambiar de establecimiento en un futuro cercano.

Objetivos

Implementar un método con enfoque holístico con varias técnicas de la IIS como Ergonomía, Lean Manufacturing, Calidad, y Cadena de Suministros en una línea de producción para lograr que disminuyan los residuos de material, quejas por parte del cliente, lesiones y ausentismo de los

trabajadores y al mismo tiempo aumente la productividad y producción. Finalmente, presentarle a la empresa los resultados de esta metodología y lograr tener su interés para que se aplique al resto de las líneas en la compañía.

Recorrido inicial.

Obtención de datos generales para escoger una línea de producción.

Recolección de datos de la línea de producción.

Analizar los datos recolectados

Plantear los cambios que se tiene que hacer para cada problema.

Implementar las mejoras que sean factibles.

Evaluar la línea de producción con las mejoras implementadas.

Justificación

Crear un ambiente agradable para los trabajadores es importante porque conlleva a un aumento en la producción, ya que como mencionan los autores Becker, Warm y Dember (1995) un área de trabajo insatisfactorio, incomodo e inseguro son algunas de las causas que afectan a la eficiencia del trabajo, ausentismos, discapacidades y bajo rendimiento laboral que se refleja en la baja producción y el aumento de productos defectuosos.

Este proyecto involucra varias disciplinas de la IIS dará como resultado un método con enfoque holístico y en base a esto se creará un manual para lograr el control y que posteriormente pueda ser

aplicado en cualquier línea de trabajo de la industria para la mejorar en todas las áreas que intervienen en el trabajo de producción.

Preguntas de estudio

¿Cuáles son las mejoras que se pueden implementar para eliminar esos problemas?

¿Cómo afectaron las mejoras implementadas en la productividad, desecho de materiales, lesiones o molestias de los trabajadores y ausentismo del trabajador?

Supuestos

Se toma como verdadero la información proporcionada por parte de la empresa y que los trabajadores de la línea de producción contestarán las encuestas con honestidad.

Alcance y Limitaciones

Con este estudio se pretende aumentar la productividad y producción y disminuir quejas de los trabajadores y del cliente en una línea de producción de una empresa creando un ambiente de trabajo agradable y seguro.

El proyecto se delimita a una evaluación de media línea de trabajo de una empresa electrónica, solo se trabajará con los empleados del primer turno y se analizará el proceso de un producto.

La primera limitación es que el área médica no cuenta con historial de incidentes de la empresa. La segunda es que el personal de la línea de producción cambia de empleados constantemente debido a renuncias de los mismos o cambios de puesto de trabajo, la antigüedad de algunos

puede ser menor a un año. Otra limitante es el tiempo disponible por parte de los trabajadores porque es probable que se encuentren saturados de trabajo por numerosas demandas o falta personal para

cada estación. Y por último, la empresa proporcionó métricos de 3 meses lo que se tomará como muestra del comportamiento de la línea de producción en todo un año.

Metodología

Diseño de estudio

El proyecto está diseñado como una serie de estudios de casos descriptivos, transversal y observacional para obtener el estado actual de la línea de producción. Las actividades de las estaciones de trabajo serán sometidas a un análisis de tareas.

Participantes

El presente estudio se realizará con la participación de los operados de la línea de producción a analizar. La participación de este estudio debe de ser de forma voluntaria y honesta. El tamaño de muestra se limita a la cantidad de personas relacionadas directamente con la línea de producción escogida con las características de inclusión como la mayoría de edad, trabajo de tiempo completo, sin distinción de género y con 12 meses laborados en la empresa.

Materiales y equipos

Equipo

Cámara de video

Un video en un análisis ergonómico es esencial ya que se puede observar varias veces a diferentes velocidades e identificar cada detalle de la operación (Fernández, Marley, Ibarra y Noriega, 2008). Para la toma de video se utilizará una cámara Kodak® Easy Share C182 de 12 MP y

fotografías para el análisis de la operación en la estación de trabajo.

Documentos

Carta de consentimiento informado

Este documento es muy importante en este estudio en México es parte de un requisito legal en los casos de investigación en seres humanos, la carta de consentimiento informado es donde se le especifica al operador los objetivos del estudio, señala los riesgos y beneficios del, nombre del responsable, entre otros datos necesarios que necesita saber el trabajador sobre la investigación (Dobler, 2001).

Encuesta de incomodidad por región corporal

La encuesta de incomodidad por región corporal es utilizada para recolectar datos del trabajador, es anónima, proporcionará información demográfica del trabajador, servirá para rastrear las actividades de alto riesgo en la línea de producción y dará prioridad a ciertas estaciones.

Programas

Minitab®

El programa Minitab® cuenta con un diseño único desarrollado específicamente para ayudar a los profesionales a mejorar los

procesos de negocio. Analiza datos con procedimientos estadísticos y gráficos (Minitab Inc, 2014). Este programa será utilizado en este proyecto para cualquier análisis estadístico que sea necesario realizar.

Procedimiento

Para alcanzar el objetivo de este proyecto se realizarán los siguientes en el orden que se describen a continuación.

Conocer la empresa

La empresa fue la primera interesada en realizar un proyecto de ergonomía en sus instalaciones con alumnos de esta institución, el primer contacto fue con el profesor encargado de este proyecto de maestría. Para conocer la empresa se hizo un recorrido en el área de producción con ayuda del jefe de seguridad donde se observó cada línea de producción, se dio a conocer que tipos de productos se dedican a ensamblar y todos los procesos que se realizan.

Obtención de datos generales

Con el encargado de seguridad de la empresa se revisaron los métricos de cada línea y de esta forma se analizarán los datos para escoger una línea de producción que contará con varios problemas que se pretenden mejorar en este proyecto.

Recolección de datos de la línea de producción

Se aplicarán formatos de consentimiento informado para los trabajadores de la línea

seleccionada y también se aplicarán encuestas como la de incomodidad por región corporal para la recolección de datos.

Se tomará video del proceso que hace cada estación de trabajo como parte del análisis de tarea, también se tomarán fotografías, medidas de la estación, el área de suelo que la empresa le permite ocupar a la línea y entre otros datos.

Analizar los datos recolectados

Se analizarán las tareas de cada estación de trabajo con los videos, con los métricos tomados y los datos que se proporcionaron en la línea se detectarán los problemas actuales

Plantear los cambios que se tiene que hacer para cada problema

Se planteará los cambios que se deben de realizar como calidad, evaluación ergonómica y lean manufacturing según la herramienta o herramientas que requiera cada estación.

Implementar las mejoras que sean factibles

Se implementará solo las herramientas que la empresa permitan y que sean factibles según sea el caso en la estación de trabajo.

Reevaluar la línea de producción con las mejoras implementadas

Se volverá a tomar los métricos de la línea de producción después de aplicar las mejoras implementadas por este proyecto para comprobar si hubo un progreso gracias al enfoque holístico de este método.

Resultados

Se espera que revisando los métricos después de implementar las mejoras de este proyecto den resultados positivos para concluir que el método con enfoque holístico funciona. También se espera

presentar este método a la empresa para que conozcan su importancia y despertar en ellos un interés para poder tener la oportunidad de su implementarlo en las demás líneas de producción de la planta.

Referencias

Armstrong, S. C. (2001). *Engineering and product development management*. Cambridge: Cambridge University Press.

Becker, A., Warm, J., & Dember, W. (1995). Effects of jet engine noise and performance feedback on perceived workload in monitoring task. *The international journal of aviation psychology*, 49-62.

Bridger, R. S. (1995). *Introduction to ergonomics*. Singapur: McGraw Hill.

Chapanis, A. (2004). National and cultural variables in ergonomics. En M. Kaplan, *Advances in human performance and cognitive engineering research*, vol. 4 (págs. 1-30). San Diego: Elsevier Jai.

Conner, G. (2009). *Lean manufacturing for the small shop*. Society of Manufacturing Engineers.

Constantinescu, C., Eichelberger, H., & Frank, T. (2009). Flowbased Approach for Holistic Factory Engineering and Design. *Proceedings of the 2nd International Researchers Symposium*, (págs. 164-176). Stuttgart.

Dobler, I. (2001). Aspectos legales y éticos del Consentimiento Informado en la atención médica en México. *Rev. Mex. Patol Clin* Vol. 38 No. 1, 03-06.

Ehie, I., & Sawhney, R. (2006). Integrating Six Sigma and Lean Manufacturing for proces improvement: a case study. En A. B. Badiru, *Handbook of industrial and systems engineering* (pág. 36). Boca Raton: CRC.

Eklund, J. (2001). Developmental quality approach for ergonomics. *Congres SELF-ACE -Les transformations du travail, enjeux pour l'ergonomie*, (págs. 26-38).

Fernández, J. E., Marley, R. J., Ibarra, G., & Noriega, S. (2008). *Ergonomía ocupacional: Diseño y administracion del trabajo*. Ciudad Juárez: International Journal of Industrial Engineering Press.

Fet, A. M., Aspen, D. M., & Ellingsen, H. (2012). Systems engineering as a holistic approach to life cycle designs. *Ocean Engineering*, 1-9.

Jugulum, R., & Samuel, P. (2008). *Design for Lean Six Sigma. A holistic approach to design and innovation*. New Jersey: Wiley.

Lorber, L. (2014). Holistic approach to revitalised old industrial areas. *Procedia- Social an behavioral sciences*, 326-334.

Manganelli, R., & Klein, M. (1995). *Cómo hacer reingeniería*. Colombia: Grupo Editorial Norma.

Minitab Inc. (2014). <http://www.minitab.com>. Recuperado el Mayo de 2014, de http://www.minitab.com/es-mx/products/minitab/features/?WT.ac=ES_MST

Nagaraj, D. R. (2005). Reagent selection and optimization - the case for a holistic approach. *Minerals Engineering*, 151-158.

Oke, S. A. (2006). Handbook of an overview of industrial and systems engineering. En A. B. Badiru, *Industrial and systems engineering* (págs. 8-1). Boca Raton: CRC.

Pasman, H. J., Knegtering, B., & Rogers, W. J. (2013). A holistic approach to control process safety risks: Possible ways forward. *Reliability Engineering and System Safety*, 21-29.

Vysburd, A. (2006). Holistic system approach to design and implementation. *Cement and concrete composites* 28, 671-678.

Identificación de la variabilidad en un sistema AS/RS

Fernando De Anda De Anda¹, Luis Ricardo Vidal Portilla¹, Roberto Romero López¹
David Atayde Campos¹

¹Universidad Autónoma de Ciudad Juárez.

Resumen

Una máquina AS/RS es una combinación de equipos y controles que maneja, almacena y recupera materiales con precisión, exactitud y velocidad bajo un grado definido de automatización. Este proyecto es la continuación del trabajo de investigación “Diseño de prototipo de almacén automatizado de carga y descarga para el sistema ICIM”, cuyo diseño se enfocó en un AS/RS. El trabajo mencionado planteó como objetivos, realizar un diseño de una máquina AS/RS con materiales de bajo costo, piezas ya existentes y maquinaria con la cual cuenta el IIT. Asimismo, otro objetivo fue utilizar dicha investigación para realizar investigaciones futuras por estudiantes de este instituto, ya sea rediseñando la máquina, fabricando las piezas y componentes, y construyéndola, cableándola y/o haciendo la programación de la misma. Actualmente es necesario hacer un análisis sobre su calidad debido a que dicha máquina fue fabricada por alumnos de esta universidad, y no por una empresa especializada en la fabricación, y esta no cuenta con los parámetros y componentes necesarios para ofrecer los resultados previstos. Asimismo, de ser posible se deberán hacer las correcciones necesarias.

Palabras clave: Maquinas AS/RS, Automatización.

Introducción

Antecedentes

La definición de AS/RS por el Instituto de Manejo de Materiales de los Estados Unidos señala que es una combinación de equipos y controles que maneja, almacena y recupera materiales con precisión, exactitud y velocidad bajo un grado definido de automatización (Jawahar, Aravindan, & Ponnambalam, 1998, pág. 117).

Por definición una Micro-carga AS/RS – es un tipo de almacenamiento automático y sistema de recuperación que se encarga de los objetos pequeños que suelen encontrarse en contenedores, bolsas

o bandejas, con pesos de carga por lo general menores de 100 lbs (Abel, 2013).

Este proyecto es la continuación del trabajo de investigación “Diseño de prototipo de almacén automatizado de carga y descarga para el sistema ICIM”, cuyo diseño se enfocó en un AS/RS; por lo tanto, su definición es importante para este proyecto. El trabajo mencionado planteó como objetivos, realizar un diseño de una máquina AS/RS con materiales de bajo costo, piezas ya existentes y maquinaria con la cual cuenta el IIT. Asimismo, otro objetivo fue utilizar dicha investigación para realizar investigaciones futuras por estudiantes de este instituto, ya sea

rediseñando la máquina, fabricando las piezas y componentes y construyéndola, cableándola y/o haciendo la programación de la misma.

A diferencia del módulo ya existente en la celda de trabajo, este nuevo módulo fue diseñado sobre medida, basándose en el espacio existente, las piezas existentes y la cantidad predeterminada de artículos para la práctica en laboratorio. Asimismo, debió de poseer la flexibilidad de cambiar la dirección de su acción específica, permitiendo iniciar en el orden deseado, de la banda hacia al almacén, o bien de ser necesario en la programación de un reproceso o adaptación de sub-línea temporal, del almacén a la banda del sistema de transporte de pallets. El espacio asignado fue la esquina del circuito geográfico del área de proceso, con artículos predeterminados como: dos ejes lineales, dos servomotores, un gripper y un actuador lineal con guía, que juntos definen los límites de diseño y volumen de la máquina, su posición permite definir la dirección de flujo de producción, en este caso con opción de realizarlo en ambos sentidos (de Anda, 2010, págs. 3-4).

Actualmente es necesario hacer un análisis sobre su calidad debido a que dicha máquina fue fabricada por alumnos de esta universidad, y no por una empresa especializada en la fabricación, y esta no cuenta con los parámetros y componentes necesarios para ofrecer los resultados previstos. Asimismo, de ser posible se deberán hacer las correcciones necesarias.

Según Feigenbaum (1986, pág. 37) citado por (Calzada & López, 2004, pág.

14), nos dice que “la calidad es la resultante total de las características de un producto en cuanto a mercadotecnia, fabricación y mantenimiento se refiere, por medio de las cuales dicho producto en uso, satisfará las expectativas de cliente”. Este concepto, en la industria, se refiere al cumplimiento de ciertas especificaciones dadas por el cliente, las cuales satisfarán de manera exitosa las necesidades del consumidor. Por otro lado, la calidad se define como la confiabilidad que se controla a través de parámetros y/o especificaciones, para la fabricación de un producto, los cuales son definidos por el cliente; marcando una tolerancia, la cual permite tener un margen con el fin de generar la confianza del producto con bajos costos en la fabricación; todo lo anterior se logra con el desarrollo de un sistema de calidad. Esto parte de la definición de confiabilidad que es la probabilidad de que un objeto o sistema realice su función durante un tiempo previamente especificado bajo las condiciones de uso determinadas (Escobar, Villa, & Yáñez, Confiabilidad: historia, estado del arte y desafíos futuros, 2003, pág. 6); generalmente, esta probabilidad se debe evaluar en las condiciones ambientales o de uso encontradas por el producto, y no en las condiciones de trabajo para las cuales fue diseñado dicho producto.

Lo anterior muestra que la confiabilidad es calidad a través del tiempo, por lo tanto, un producto confiable debe permanecer dentro de sus límites de especificación durante el periodo útil de vida establecida. Esto es, la buena calidad es necesaria pero no suficiente para garantizar la confiabilidad. Esto plantea otra

dificultad, la confiabilidad de un producto se puede evaluar directamente solo después de que ha estado en servicio por algún tiempo, por lo tanto, la evaluación y pronóstico de la confiabilidad presenta varios desafíos técnicos.

La confiabilidad es una rama de la ingeniería que está estrechamente relacionada con la Estadística, esto debido a que proporciona herramientas importantes para la evaluación, la mejora, el diseño, el pronóstico y el mantenimiento de la confiabilidad.

Por otro lado, Marretta & Di Lorenzo (2010, pág. 117) afirman que la confiabilidad de los resultados finales depende en gran medida de la variabilidad intrínseca debido al comportamiento estocástico de muchos parámetros, tales como los operativos y propiedades de los materiales. A su vez la variabilidad se define como la habilidad de cambio o de personalización de un sistema (Gurp, 2000, p. 127). Existen dos grandes grupos en los que se dividen los sistemas con variabilidad (Laguna, Sampaio do Prado, & González, 2008, p. 4):

- Los sistemas personalizables, donde la variabilidad se debe principalmente a la selección por parte del usuario de la parte que más le interesa.
- Las familias de productos, donde una serie de productos más o menos similares se unen para permitir la reutilización de la parte común.

Planteamiento del problema

A partir de la construcción de una máquina AS/RS (diseño, construcción, armado, cableado y programación) con piezas de un modelo antiguo y materia prima de bajo costo, fabricada por alumnos de la UACJ, se han detectado errores y variaciones en sus movimientos, estos errores pueden deberse a que las piezas no son de un modelo reciente.

Se hicieron varias corridas con la máquina en estudio y se observó que se tiene una vibración en el extremo del *gripper*, así como en los ejes X y Y, presentando una variabilidad en el posicionamiento de los pallets.

Se realizaron pruebas utilizando el programa ASRS.exe, para observar la variación y vibración que se tiene en dichos ejes, en la Tabla 1.1 se muestran los datos de la variación; en la cual se puede observar que en las diferentes posiciones se tiene variación, por ejemplo, en el punto uno de X está en 32.0307 y Y en -2.273125, en este punto los valores mínimos y máximos de X presentan una variación que va de 2^{-5} hasta 8^{-5} . Por otro lado, podemos ver que aparentemente el eje Y no tiene variación, pero tiene cierta vibración en la trayectoria de posición. Lo que significa que el eje X está presentando una variación estando en la posición fija, así como una vibración en la trayectoria de posición, las cuales para la máquina de que se trata, puede tener efectos no deseados en los resultados.

Tabla 1.1 Datos digitales del programa ASRS.exe

| Pallet | Digital | | | | | | Y | Separacion entre Y |
|--------|-----------|----------|-----------|-----------|-----------|---------------|------------|--------------------|
| | X | Min | Max | X Min | X Max | X Max - X Min | | |
| 0 | 0.000000 | 0.000007 | -0.000006 | 0.000007 | -0.000006 | 0.000013 | 0.000000 | |
| 1 | 32.030700 | 0.000020 | 0.000080 | 32.030720 | 32.030780 | 0.000060 | -2.273125 | |
| 2 | 25.004900 | 0.000020 | 0.000030 | 25.004920 | 25.004930 | 0.000010 | -2.273125 | |
| 3 | 17.000900 | 0.000030 | 0.000050 | 17.000930 | 17.000950 | 0.000020 | -2.273125 | |
| 4 | 9.006100 | 0.000057 | 0.000078 | 9.006157 | 9.006178 | 0.0000210 | -2.273125 | |
| 5 | 1.008900 | 0.000023 | 0.000067 | 1.008923 | 1.008967 | 0.0000440 | -2.273125 | |
| 6 | 32.030700 | 0.000020 | 0.000080 | 32.030720 | 32.030780 | 0.0000600 | -11.591120 | 9.317995 |
| 7 | 25.004900 | 0.000010 | 0.000040 | 25.004910 | 25.004940 | 0.0000300 | -11.591120 | |
| 8 | 17.000900 | 0.000020 | 0.000050 | 17.000920 | 17.000950 | 0.0000300 | -11.591120 | |
| 9 | 9.006100 | 0.000046 | 0.000089 | 9.006146 | 9.006189 | 0.0000430 | -11.591120 | |
| 10 | 1.008900 | 0.000016 | 0.000065 | 1.008916 | 1.008965 | 0.0000490 | -11.591120 | |
| 11 | 32.030700 | 0.000020 | 0.000080 | 32.030720 | 32.030780 | 0.0000600 | -19.657130 | 8.066010 |
| 12 | 25.004900 | 0.000020 | 0.000030 | 25.004920 | 25.004930 | 0.0000100 | -19.657130 | |
| 13 | 17.000900 | 0.000020 | 0.000060 | 17.000920 | 17.000960 | 0.0000400 | -19.657130 | |
| 14 | 9.006100 | 0.000040 | 0.000089 | 9.006140 | 9.006189 | 0.0000490 | -19.657130 | |
| 15 | 1.008900 | 0.000024 | 0.000060 | 1.008924 | 1.008960 | 0.0000360 | -19.657130 | |
| 16 | 32.030700 | 0.000020 | 0.000080 | 32.030720 | 32.030780 | 0.0000600 | -27.999870 | 8.342740 |
| 17 | 25.004900 | 0.000020 | 0.000030 | 25.004920 | 25.004930 | 0.0000100 | -27.999870 | |
| 18 | 17.000900 | 0.000030 | 0.000060 | 17.000930 | 17.000960 | 0.0000300 | -27.999870 | |
| 19 | 9.006100 | 0.000058 | 0.000077 | 9.006158 | 9.006177 | 0.0000190 | -27.999870 | |
| 20 | 1.008900 | 0.000016 | 0.000060 | 1.008916 | 1.008960 | 0.0000440 | -27.999870 | |

Asimismo se muestra en la Tabla 1.2 las mediciones de los desplazamientos debido a las vibraciones; en los cuales se señala en círculos rojos, los que indican un mayor desplazamiento al momento de poner en funcionamiento la máquina, este nos indica que cuando se va de la casilla 3 a la casilla 17 y/o 19, se tiene 0.521 y 0.529 mm de desplazamiento respectivamente. Algunas salidas de las casillas 18 y/o 19 están señaladas con violeta, estas indican que tiene un desplazamiento en promedio de 0.448 mm, por lo que se revisarán las

entradas y salidas de estas casillas. Para poder tener una mejor idea de cómo se distribuye el almacén de esta investigación, se muestra en la Figura 1.

Las consecuencias de estas vibraciones pueden llegar a ser grandes movimientos de agitación. Estas vibraciones denominadas como graves causarán un desgaste acelerado de los carros y sujetadores de ejes, y así el deterioro prematuro de la máquina; otra consecuencia sería el error de posición y un posible error al tomar y dejar los pallets.

Tabla 1.2 Toma de mediciones de desplazamiento (mm)

| mm | 1 | 2 | 3 | 4 | | | | | | | | | | | | | 18 | 19 | 20 | |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1 | 0 | 0.104 | 0.086 | 0.098 | | | | | | | | | | | | | 0.324 | 0.399 | 0.326 | |
| 2 | 0.067 | 0.000 | 0.004 | 0.005 | | | | | | | | | | | | | 0.395 | 0.313 | 0.348 | |
| 3 | 0.089 | 0.065 | 0.000 | 0.095 | | | | | | | | | | | | | 0.335 | 0.397 | 0.308 | |
| 4 | 0.106 | 0.006 | 0.086 | 0.000 | | | | | | | | | | | | | 0.334 | 0.339 | 0.337 | |
| 5 | 0.082 | 0.028 | 0.064 | 0.137 | | | | | | | | | | | | | 0.340 | 0.362 | 0.303 | |
| 6 | 0.187 | 0.196 | 0.249 | 0.237 | | | | | | | | | | | | | 0.324 | 0.405 | 0.316 | |
| 7 | 0.134 | 0.117 | 0.307 | 0.223 | | | | | | | | | | | | | 0.373 | 0.319 | 0.352 | |
| 8 | 0.196 | 0.154 | 0.217 | 0.281 | | | | | | | | | | | | | 0.342 | 0.315 | 0.301 | |
| 9 | 0.125 | 0.147 | 0.349 | 0.246 | | | | | | | | | | | | | 0.380 | 0.324 | 0.284 | |
| 10 | 0.072 | 0.266 | 0.328 | 0.302 | | | | | | | | | | | | | 0.301 | 0.310 | 0.258 | |
| 11 | 0.216 | 0.304 | 0.368 | 0.132 | | | | | | | | | | | | | 0.242 | 0.294 | 0.222 | |
| 12 | 0.216 | 0.252 | 0.394 | 0.281 | | | | | | | | | | | | | 0.379 | 0.335 | 0.235 | |
| 13 | 0.309 | 0.348 | 0.318 | 0.354 | | | | | | | | | | | | | 0.283 | 0.373 | 0.250 | |
| 14 | 0.173 | 0.221 | 0.489 | 0.085 | | | | | | | | | | | | | 0.434 | 0.321 | 0.366 | |
| 15 | 0.245 | 0.224 | 0.373 | 0.083 | | | | | | | | | | | | | 0.418 | 0.229 | 0.349 | |
| 16 | 0.246 | 0.379 | 0.412 | 0.360 | | | | | | | | | | | | | 0.186 | 0.112 | 0.196 | |
| 17 | 0.285 | 0.241 | 0.521 | 0.373 | | | | | | | | | | | | | 0.162 | 0.126 | 0.168 | |
| 18 | 0.375 | 0.435 | 0.365 | 0.450 | 0.371 | 0.459 | 0.388 | 0.301 | 0.449 | 0.337 | 0.312 | 0.280 | 0.283 | 0.399 | 0.313 | 0.173 | 0.211 | 0.000 | 0.182 | 0.116 |
| 19 | 0.35 | 0.391 | 0.529 | 0.324 | 0.424 | 0.324 | 0.312 | 0.405 | 0.333 | 0.408 | 0.283 | 0.405 | 0.477 | 0.281 | 0.307 | 0.118 | 0.145 | 0.109 | 0.000 | 0.103 |
| 20 | 0.314 | 0.330 | 0.381 | 0.337 | 0.348 | 0.281 | 0.304 | 0.370 | 0.248 | 0.303 | 0.333 | 0.295 | 0.267 | 0.343 | 0.310 | 0.151 | 0.153 | 0.118 | 0.191 | 0.000 |

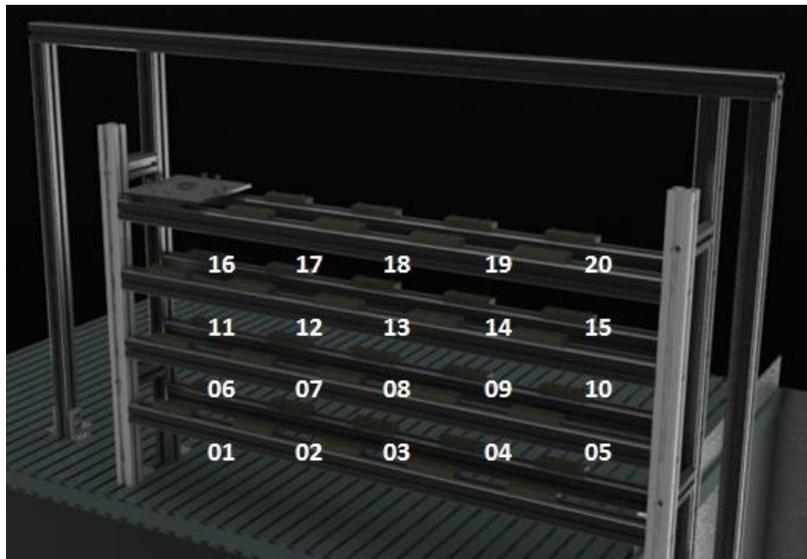


Figura 1. Almacén de la Maquina AS/RS

Objetivo particular

Determinar mediante la metodología de mantenimiento sintomático, DOE, FMEA, FODA y Taguchi la variabilidad y vibración en la máquina X Y, así como el desempeño de la máquina y la calidad del diseño para corregir los defectos de diseño y/o fabricación. Con el fin de eliminar dichas vibración y variabilidad y disminuir los errores que se presentan en los resultados. Determinar los factores que provocan la

variación en el eje X y en el gripper, así como la posible variación en el eje Y.

- Determinar y localizar que es lo que genera las vibraciones en los ejes X y Y.
- Determinar nuevas posiciones de los pallets en el almacén.

Hipótesis

H₀: La vibración no se debe al diseño de la máquina.

H₁: La vibración es debido al diseño de la máquina.

Justificación

- La vibración afecta en la precisión y repetitividad de la posición, de acuerdo a las tablas antes mencionadas, y eso es inaceptable.
- La vibración respecto al tiempo afecta el funcionamiento de la máquina.

Alcance y delimitación

- Reducir la vibración en los ejes X y Y.
- Reducir la vibración a $\pm 5\%$.
- Generar un diseño prototipo que ayude a la eliminación de la vibración y variabilidad, esto con fines didácticos en laboratorio de automatización.

Marco Teórico

Calidad

Al diseñar un producto (bien o servicio) la alta dirección juega un papel central en la planeación de su calidad ya que debe definir políticas específicas para evitar, y en su defecto, corregir las siguientes situaciones (Hirata Okamoto, 2011, pág. 14):

- Un grupo reducido, ajeno y sin conocimiento real decide las características de calidad de un producto nuevo.
- A pesar de que el diseño puede ser llevado a cabo con la tecnología y expertos que se tienen, los problemas surgen en las áreas y procesos en donde el producto nuevo difiere de los que actualmente se generan (insumos, maquinaria, personas y métodos).

El prototipo de la máquina estudiada en este proyecto al ser diseñado y producido por alumnos de licenciatura, es decir, gente con poca experiencia, presenta vibraciones y variaciones en los ejes X y Y, como se

señalan en la Figura 2, lo que conlleva a errores en los resultados.

Se señalan las posibles fracturas de la máquina y por consiguiente la raíz del error. Los círculos, en rojo y amarillo muestran el punto con mayor vibración y variación, ya que es el extremo del eje donde se observa la vibración a simple vista cuando el eje o ejes de la máquina están en movimiento; y señala el punto donde se puede presentar fractura por tanta vibración, respectivamente.

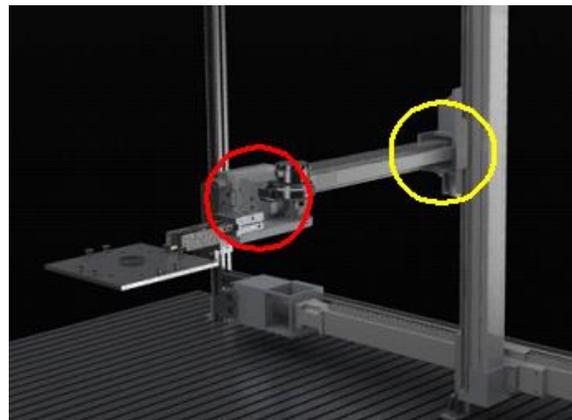


Figura 2. Posibles Fracturas de la Máquina AS/RS

Vibraciones

Cuando se analiza el estado de salud de las máquinas o los equipos, se estiman un conjunto de síntomas que las mismas manifiestan, razón por la cual esta metodología de mantenimiento es conocida también como mantenimiento sintomático, donde destacan el análisis de aceites, el ultrasonido, la termografía y el análisis de vibraciones como métodos a tener en cuenta en la evaluación de dichos síntomas. No obstante, es el análisis de vibraciones sobre el que están enfocadas la mayoría de las implementaciones del mantenimiento predictivo (García Cambroner & Gómez Moreno).

Variabilidad

Este desplazamiento provocado por las vibraciones, genera una variación al

momento de tomar o dejar los pallets ya sea al inicio y/o al final. Para ello, los métodos más utilizados son los basados en características como *FODA (Feature Oriented Domain Analysis)*, *FORM* o *FeatureRSEB*. Estas características, definidas como características o conceptos destacados y distintivos, visibles para varias partes interesadas, capturan la parte común y variable organizándose por medio de diagramas jerárquicos Y/O.

Diseño de experimentos

Según Montgomery (2002) establece que un diseño de experimento es una prueba en la que se hacen cambios deliberados en las variables de entrada de un proceso o sistema para observar e identificar las razones de los cambios que pudieran observarse en la respuesta de salida o variable de respuesta (Robles, 2005, p. 3).

Materiales y Métodos

- Para la toma de mediciones sobre vibración, utilizaremos la herramienta Vibrómetro Modelo TV-300.
- Se utilizará el Herramienta de Medir Guiada por Laser, con Laser Trac™ de Craftsman, Modelo No.320.48252 Figura 3.3 (Craftsman, 2014, pág. 14).
- Se analizarán las piezas afectadas por las vibraciones, con lo cual será posible definir su tiempo de vida. Mediante el software de SolidWorks utilizaremos la

herramienta COSMOSWorks, la cual es una aplicación de automatización de análisis de diseño totalmente integrado con SolidWorks.

- DOE.
- FMEA.
- FODA.
- Metodología de mantenimiento, también conocida como mantenimiento sintomático.

Resultados

- Realizar una simulación para verificar que se cumpla con la reducción de vibración ($\pm 5\%$).
- Reducir el desgaste del equipo.
- Aumentar la vida útil de la máquina X Y.
- Reducir el requerimiento de las partes de remplazo.
- Creación de diseño prototipo.
- Ampliar el conocimiento de los alumnos sobre el manejo de materiales.

Referencias

Abel, R. (2013). Abel Womack. Recuperado el 11 de Marzo de 2014, de Abel Womack, Inc.: <http://www.abelwomack.com/>

Barajas P., O. M. (2014). El Prisma Portal para Investigadores y Profesionales. Recuperado el 02 de Abril de 2014, de http://www.elprisma.com/apuntes/ingenieria_mecanica/vibracionesmecanicas/

Bernal, J. J. (2014). Grupo PDCA Home. Recuperado el 11 de Febrero de 2014, de PDCA Home - El portal de la gestión, calidad, producción y mejora continua.: <http://www.pdcahome.com/2117/disenio-de-experimentos-para-que-sirve-y-como-realizarlo/>

Calzada, E., & López, Y. (2004). Evaluación del impacto que ha tenido la certificación ISO 9001 en una empresa manufacturera transnacional. Cholula: Universidad de las Américas Puebla.

COSMOS. (2003). Structural Research and. Recuperado el 26 de febrero de 2014, de Structural Research and Analysis Corp. (SRAC) is a Dassault Systemes S.A. (Nasdaq: DASTY) company: <https://www.clear.rice.edu/mech403/HelpFiles/IntroducingCW.pdf>

Craftsman. (2014). Sears Brands, LLC. All Rights Reserved. Craftsman and Craftsman Professional. Recuperado el 29 de Marzo de 2014, de Craftsman.com adheres to Sears.com:

<http://www.manualslib.com/manual/490903/Craftsman-320-48252.html>

Davis, A. (2004). University of Chicago Medical Center. Recuperado el 15 de Febrero de 2014, de The University of Chicago Medical Center: http://medqi.bsd.uchicago.edu/documents/FailureModesandEffectsAnalysis_FMEA_1.pdf

de Anda, F. (2010). Diseño de prototipo de almacén automatizado de carga y descarga para el sistema ICIM. 3-4.

Escobar, L. A., Villa, E. R., & Yáñez, S. (2003). Confiabilidad: historia, estado del arte y desafíos futuros. Dyna, 6.

Evans, J. R., & Lindsay, W. M. (2008). Administración y Control de la Calidad.

Extech. (2014). Copyright © 2014 FLIR Systems, Inc. Recuperado el 22 de Marzo de 2014, de Extech Instruments Corp.: http://www.extech.com/instruments/resources/manuals/407860_UMsp.pdf

FUNDIBEQ. (2014). www.fundibeq.org. Recuperado el 1 de Abril de 2014, de http://www.fundibeq.org/opencms/export/sites/default/PWF/downloads/gallery/methodology/tools/disenio_de_experimentos.pdf

García Cambroner, C., & Gómez Moreno, I. (s.f.). Algoritmos de Aprendizaje: KNN & KMEANS. Universidad Carlos III de Madrid.

Gurp, J. (2000). Variability in Software Systems. Groningen: Department of Software Engineering and Computer Science.

Halmans, G., & Pohl, K. (2003). Communicating the Variability of a Software-Product. *Journal of Software and Systems Modeling*, 15 - 36.

Hirata Okamoto, R. (2011). Keisen Consultores S. A. de C.V. Recuperado el 22 de Febrero de 2014, de Keisen Consultores S. A. de C.V.: <http://www.keisen.com/portal/wp-content/uploads/2009/12/Calidad-Total-y-Diseno.pdf>

Jawahar, N., Aravindan, P., & Ponnambalam, S. G. (1998). Optimal Random Storage Allocation for an AS/RS in an FMS. *The International Journal of Rvanced*, 117.

Laguna, M. A., Sampaio do Prado, J. C., & González, B. (2008). Análisis de variabilidad con modelos de objetivos. Universidad de Valladolid, 4.

Marretta, L., & Di Lorenzo, R. (2010). Influence of material properties variability on springback and thinning in sheet stamping processes: a stochastic analysis. Springer-Verlag, 117.

Molina G, O. (Abril de 2012). Copyright 2011 Editora Microbyte Ltda. Recuperado el Marzo de 2014, de <http://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mvc?xid=1802>

Pintor Borobia, J. (2006). Copyleft © 2006 Grupo IMAC. Recuperado el 13 de marzo de 2014, de Copyleft © Grupo de Investigación IMAC: http://www.imac.unavarra.es/web_imac/pages/docencia/asignaturas/emyv_documentacion.html

Robles, R. R. (2005). Diseño de experimentos. Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada, 3,7.

Sokolov, B. V., Zelentsov, V. A., Yusupov, R. M., & Merkurjev, Y. A. (2014). Multiple models of information fusion processes: Quality definition and estimation. *Computacional Science*, 8.

Vilar, J. (2006). ESTADÍSTICA 2. Recuperado el 18 de Febrero de 2014, de Departamento de Matemáticas: <http://dm.udc.es/asignaturas/estadistica2/>

Wowk, V. (1991). Machinery Vibration: Measurement and Analysis. Albuquerque: Machine Dynamics.

Intervención ergonómica en una empresa local del ramo de la construcción

Jesús Manuel Castorena Carrillo¹, Gabriel Ibarra Mejía¹, Laura Susana Alonso López¹, Luis Balderrama Neder¹, César Emilio Dávalos Chargoy¹, David Zúñiga de León¹

¹Universidad Autónoma de Ciudad Juárez.

Resumen

El propósito de este estudio es comparar los beneficios en el nivel de conocimiento y percepción de la seguridad en la implementación de una intervención Ergonómica, debido que a nivel regional no se llevan registros de las enfermedades ocupacionales en el sector productivo de la construcción y considerando que las lesiones pueden ser prevenibles con capacitaciones que concienticen a los trabajadores, encontramos que no existen programas en México, razón por la cual se genera la oportunidad de realizar intervenciones, que se enfoquen en concientizar a los trabajadores en la prevención de molestias. Se realizará una intervención ergonómica basada en principios de ergonomía participativa, que constara del diagnóstico, diseño de la intervención, evaluación previa a la intervención, implementación de las acciones correctivas y evaluación final, con el objetivo de sensibilizar al trabajador en aspectos de ergonomía y seguridad de sus actividades. Este será un estudio de diseño descriptivo, observacional, prospectivo, longitudinal, mixto, analítico, transversal y correlacional, en una muestra a conveniencia de 120 personas, los datos serán analizados en PASW 18 con los estadísticos correspondientes, se espera mostrar como resultado si las intervenciones basadas en ergonomía participativa impactaran en el nivel de conocimiento y percepción de la seguridad.

Palabras clave: Intervención ergonómica, ergonomía participativa, trabajadores de la construcción, nivel de conocimiento, nivel de percepción de seguridad.

Introducción

La construcción es una de las principales fuentes de empleo en cualquier país (Gruenberg, 2011). El trabajo de construcción es una ocupación físicamente demandante. El trabajo en construcción es uno de los que producen mayor cantidad de lesiones y que conllevan factores que ponen en peligro la salud (Solís, 2006).

Los trabajadores de la construcción (TC) son posicionados en el nivel más bajo de una organización, y por lo tanto tienen un control limitado sobre su trabajo. A menudo se ven privados de sus

recompensas y formación, y debido a esto en ocasiones son obligados a centrarse en la producción a costa de su propia seguridad (Leung, Shan & Yu, 2012). Los TC se exponen a un riesgo elevado de desarrollar lesiones músculoesqueléticas relacionadas con el trabajo, lo cual genera elevados costos para las empresas y la fuerza de trabajo (Bellorin, Sirit, Rincon & Amortegui, 2007).

Antecedentes

A nivel nacional la actividad económica con mayor número de accidentes y enfermedades de trabajo es la construcción de obra de infraestructura y edificaciones en obra pública con un porcentaje promedio de muertes en los últimos cuatro años de 5.9 por ciento (Viloria, 2010). De acuerdo con más datos del IMSS, en lo que se refiere a días de incapacidad que pagó la institución a aquellos empleados que resultaron lesionados con los accidentes ocurridos en 2012, se pagaron 30 mil 975 días, con esta cifra, la industria de la construcción de obra pública se colocó en el primer lugar de días subsidiados por actividad económica en 2012 (Gallegos, 2014).

Diversos autores han realizado intervenciones ergonómicas basadas en conceptos de ergonomía participativa, algunos ejemplos de estos han sido en el ramo Médico (Villa, Correa, Acosta & Guarín, 2013), empresas ferreteras (Blanco, Castroman, Chácon, Hernández & Ferrer, 2014), también en empresas de sector químico (García, Sevilla, Gadea & Casañ, 2012) por mencionar algunos casos; estas aplicaciones han tenido beneficios como la reducción de lesiones, aumento en la productividad y la rotación de personal (Blanco et al., 2012).

En el caso de estudios de intervenciones de Ergonomía participativa en la construcción, se encontraron estudios realizados por diversos autores tales como: Loisel y Colaboradores (2001), Saleem, Kleiner & Nussbaum (2003), Hess, Hecker, Weinstein & Lunger (2004), estas aplicaciones muestran una perspectiva

exitosa de la ergonomía participativa, desafortunadamente no se encontraron artículos en México.

Planteamiento del Problema

Las actividades que los TC realizan y las condiciones en que se desenvuelven no son las idóneas para la prevención de lesiones, cabe mencionar que regularmente no se llevan a cabo programas que faciliten la transmisión exitosa de información a los TC, generando una falta de sensibilización, la cual a su vez como consecuencia impide la prevención de TME; es necesaria la capacitación y adiestramiento de los TC en la realización de sus actividades, la cual tendrá como reacción, que a su vez reduzcan el riesgo de lesiones a los que están expuestos (Leung, Chan & Yuen, 2010). Por lo anterior mencionado se genera un problema debido a la falta de educación, que pueda involucrar y comprometer al TC en la mejora de las condiciones y actividades que realiza, así mismo en la prevención de TME. Considerando las escasas investigaciones que se han destinado para este problema en México y del cual no han sido elaboradas acciones que sensibilicen a los TC con el manejo y prevención de TMERT (Trastornos MúsculoEsqueléticos Relacionados con el Trabajo).

Preguntas de Estudio

¿En qué medida la implementación de Intervenciones basadas en Ergonomía Participativa en Trabajadores de la construcción, facilita la sensibilización en seguridad y aspectos ergonómicos y de

seguridad de las actividades laborales de los TC?

¿Cuáles son las molestias músculoesqueléticas que presentan los trabajadores?

¿Cuáles son los factores de riesgo en las actividades que realizan los trabajadores de la construcción durante su jornada laboral?

Hipótesis

Hipótesis en el nivel de conocimiento

H_0 = No existe variación entre el nivel de conocimiento antes de la intervención ergonómica y el nivel de conocimiento después de la intervención ergonómica.

$H_1 \neq$ Existe variación entre el nivel de conocimiento antes de la intervención ergonómica y el nivel de conocimiento después de la intervención ergonómica.

Hipótesis en la percepción de la seguridad

H_0 = No existe variación entre el nivel de la percepción de la seguridad antes de la intervención ergonómica y el nivel de la percepción de la seguridad después de la intervención ergonómica.

$H_1 \neq$ Existe variación entre el nivel de la percepción de la seguridad antes de la intervención ergonómica y el nivel de la percepción de la seguridad después de la intervención ergonómica.

Objetivo

Sensibilizar a los trabajadores de la construcción a través de capacitaciones basadas en principios de Ergonomía

Participativa para ayudar a la concientización en aspectos de seguridad y ergonomía en sus actividades.

Objetivos Específicos

- Identificar la incidencia de molestias y dolor músculoesquelético relacionado a las actividades rutinarias de la construcción en una empresa seleccionada
- Identificar los factores de riesgo de las actividades que desempeñan los trabajadores de la construcción
- Diseñar evaluación ergonómica
- Evaluar la percepción de la seguridad y el nivel de conocimiento de los trabajadores de construcción antes y después de la intervención Ergonómica
- Implementar acciones correctivas en base a principios de Ergonomía Participativa

Justificación

Es importante resaltar la magnitud incapacitante de lesiones músculoesqueléticas producidas, las cuales generan una serie de problemas a la salud de la población trabajadora con la consiguiente repercusión económica y social, tanto para el trabajador, su familia, la empresa y el país; por el incremento de los costos sanitarios y pérdidas de productividad (Bellorin et al., 2007). Varios estudios han examinado los detalles que rodean los accidentes en los que se lesionan trabajadores de la construcción, resaltando la falta de educación y conocimiento de la prevención de lesiones músculoesqueléticas

en la realización de sus actividades, sin embargo pocos han examinado la información relacionada con lesiones de los trabajadores de la construcción y esta es una deficiencia que ha sido reconocido a escala mundial (Hinze et al., 2008). Las condiciones anteriores sumadas a las escasas investigaciones realizadas en México generan la necesidad de realizar intervenciones Ergonómicas que sirvan como referencia en futuras investigaciones, las cuales se puedan enfocar en reducir molestias y aumentar la calidad de vida en los trabajadores de la construcción.

Variables

- Percepción de la seguridad: esta es el conocimiento de los riesgos y peligros que los trabajadores aprecian en sus actividades. Esta será evaluada a través del cuestionario basado en el instrumento de percepción de riesgos utilizada por Fischhoff, Slovic, Lichsteinstein, Read & Combs, (1978), es una variable cualitativa ordinal.

- El nivel de conocimiento: es el conjunto de información almacenada mediante la experiencia o el aprendizaje que poseen los trabajadores de la construcción en temas relacionados a la ergonomía y la seguridad. Esta se evaluará a través de un examen diseñado en base a principios relacionados a ergonomía y seguridad, esta se medirá en una escala de 0-100 y es una variable cuantitativa de tipo discreta.

Alcance y Delimitación

Esta investigación se llevará a cabo en una empresa del ramo de la construcción de Ciudad Juárez Chihuahua a conveniencia, durante los meses de noviembre del 2014 a marzo del 2015. Este estudio se realizará solo el análisis de las actividades que realizan los operadores la muestra seleccionada de trabajadores de la construcción. Solo considerará a la muestra seleccionada sin importar, el lugar de trabajo en que se encuentren presentes.

Marco Teórico

La redacción del marco teórico fue en base a un proceso sistemático, que consistió en la revisión de bases de datos tales como: Science Direct, UACJ, Dial net, Google Académico entre otras. Se consultaron publicaciones científicas de Industrial Journal Ergonomics y Applied Ergonomics, estas bases de datos y publicaciones científicas fueron consultadas a través de palabras clave como Ergonomía Participativa, trabajadores de la construcción, Percepción de la seguridad,

prevención de Trastornos Músculoesqueléticos, de los que se identificaron artículos del 2009 al 2014, de estos artículos se limitó el accesos solo a los gratuitos. Así mismo se revisaron algunos libros que sirvieron como sustento para algunas metodologías e instrumentos que se utilizaron en este estudio.

Ergonomía Participativa (PE)

La Ergonomía participativa (PE por sus siglas en inglés de Participatory

Ergonomics) es una de las principales metodologías en el diseño y análisis de sistemas de trabajo (Brown, 2002), la cual busca generar equipos de trabajo, para resolver un problema o para planificar cambios con la cooperación y el trabajo conjunto de los actores necesarios, ya sea que formen parte de la organización en cualquier nivel jerárquico o sean personas externas a la organización, cuya experiencia y conocimiento sean relevantes para el equipo de trabajo (García & Lange, 2010).

Intervención Ergonómica

De acuerdo con Loisel et al., (2001), por definición Intervención ergonómica es el mejoramiento de los componentes que interactúan en el sistema o la actividad de trabajo, en su metodología se proponen cinco pasos, que guían al interesado a realizar el trabajo durante la intervención, los cinco pasos son: Identificar problemas en el puesto de trabajo (Diagnóstico), Evaluación ergonómica de puestos de trabajo, Propuestas de intervención ergonómica, Evaluación de las propuestas e Implementación y seguimiento

Método de Evaluación por Mapa Corporal (Body Map)

La encuesta de incomodidad Corporal, puede ser utilizada como información general de proyección y rendimiento, así como también para identificar trabajos de alto riesgo, en esta encuesta la mayor parte de su contenido debe incluir información demográfica del trabajador, tales como, género, edad, altura, peso e información sobre malestar de parte del cuerpo, así como

información sobre lesiones o condiciones anteriores (Fernández & Marley, 2011).

Cuestionario Nórdico Estandarizado

El Cuestionario Nórdico de Kuorinka es un cuestionario estandarizado para la detección y análisis de síntomas músculoesquelético, aplicable en el contexto de estudios ergonómicos o de salud ocupacional con el fin de detectar la existencia de síntomas iniciales, que todavía no han constituido enfermedad o no han llevado aún a consultar al médico (Kuorinka et al., 1987).

Análisis de Tareas

De acuerdo con Minaya (1998), el análisis de tareas es una herramienta que ayuda a recoger información relevante sobre un puesto de trabajo para obtener una visión clara y definida de la naturaleza del mismo, este es un punto de partida esencial para recoger información que ayude a reconocer situaciones de las condiciones de trabajo que representen un riesgo de accidentes, una incomodidad o una dificultad para el desarrollo normal de la actividad. Sus aplicaciones son muy diversas, destacando las acciones en seguridad y Ergonomía.

Evaluación de la percepción de la seguridad

La percepción del riesgo es el juicio subjetivo que la gente hace sobre las características y la gravedad de un riesgo, esta ha sido evaluada principalmente por una serie de reconocidos investigadores entre los que destacan Fischhoff y Slovic (1978), los cuales propusieron una técnica alternativa, en la que se utilizan procedimientos psicométricos para provocar

juicios cuantitativos de riesgo percibido y la percepción de beneficios.

Marco Contextual

Este estudio se llevará a cabo en una empresa del ramo de la construcción ubicada en el estado de Chihuahua, esta empresa realiza obras de construcción en toda la república Mexicana y tiene funcionando de 1960 a la fecha, cuenta con

5 sucursales, estableciendo su centro de operaciones en la ciudad de Chihuahua, las otras 4 sucursales se encuentran en Ciudad Juárez, Monterrey, México D.F. y Querétaro. Actualmente en Ciudad Juárez cuenta con 2 proyectos de edificación de parques industriales en los que subcontrata aproximadamente a 200 trabajadores de la construcción de distinto oficios, los cuales laboran 8 horas.

Metodología

Diseño de Estudio

Se realizó un estudio de diseño descriptivo, observacional, prospectivo, longitudinal mixto, analítico, descriptivo, transversal y correlacional.

Muestra/ Sujetos

Para la realización de este estudio se reclutará una muestra no probabilística, a conveniencia, de sujetos voluntarios, donde participarán 120 trabajadores de la construcción, los cuales serán proporcionados por la empresa de construcción.

Materiales y Métodos

Para la identificación de la incidencia de molestias músculoesqueléticas se utilizará un cuestionario compuesto por el cuestionario nórdico estandarizado y el método de evaluación por mapa corporal (Body Map), estas se capturarán en Microsoft Excel 2013 y se transferirán al programa PASW Statistics 18. Para la captura de los videos de las operaciones en la empresa se utilizará una video cámara

Samsung Galaxy Note 1 Modelo GT N8000, para la captura de los fotogramas se utilizará el software Gomplayer, así mismo para los análisis Biomecánicos se utilizará el software 3DSSPP para los reportes de estos se utilizará el Software Microsoft Word 2013. En el diseño de la intervención Ergonómica se utilizará la metodología de Loisel y colaboradores (2001) en la que se determinarán las actividades necesarias para la solución de problemas. Para la Evaluación de la percepción de la seguridad se utilizará el cuestionario de la percepción de riesgos que utilizó Fischhoff et al., (1978), y para el nivel de conocimiento de los trabajadores se aplicará un examen de los conceptos básicos de ergonomía y seguridad previamente instruidos, para las bases de datos de esta información será necesario Microsoft Excel 2013, PASW 18, así mismo para los reportes Microsoft Word 2013.

Procedimiento

Este estudio iniciará con la visita de reconocimiento a la empresa con la intención de sondear las condiciones que

esta presenta, para lograr el primer objetivo de este estudio se reclutará una muestra de 120 personas la cual incluirá solamente trabajadores de la construcción, mayores de 18 años, a estos se les aplicará el cuestionario Nórdico estandarizado y el Body Map, los datos recolectados se capturarán en Excel para la evaluación de su consistencia y exactitud, después se trasladarán al software PASW 18 en el que se realizarán los análisis de frecuencia para determinar la incidencia de molestias y dolor músculoesquelético, al final se resumirán en tablas en formato electrónico. El segundo objetivo específico, será identificar los factores de riesgo de las actividades que desempeñan los trabajadores, este iniciará con la realización de análisis de tareas, el cual consta de los siguientes pasos: la grabación de video de las tareas de los trabajadores de la construcción, en este se grabarán 10 ciclos y/o 20 minutos de cada operación, Se determinará el tiempo de ciclo, con este se determinará el intervalo para la captura de 200 fotogramas en el software Gomplayer, de los cuales se seleccionarán 100 con el software Random.Org, después se procederá a identificar las tareas en los que se determinará la frecuencia de las actividades que el operador realiza. Posterior a este paso se procederá a analizar Biomecánicamente las actividades con frecuencia igual o mayor al 10 por ciento, el análisis Biomecánico será a través de software 3DSSPP, el cual entregará como resultados los balances de fuerzas y el percentil de personas que puede realizar esta actividad de los siguientes segmentos

de cuerpo: la muñeca, el codo, los hombros, el torso, la cadera las rodillas y el tobillo.

En el diseño de la evaluación ergonómica se considerará el diagnóstico previamente realizado, así como también los factores de riesgo de las actividades, se procederá a diseñar la intervención con la metodología utilizada por Loisel y colaboradores (2001), que consta de los siguientes pasos: iniciará con la creación de un grupo de trabajo participativo núcleo, el cual se denominará grupo "Ergo", El especialista en ergonomía organizará una reunión en el lugar de trabajo con el grupo de trabajo de Ergonomía participativa integrada por: los trabajadores involucrados, supervisores y el propio ergonomista, el objetivo de esta reunión será realizar un borrador de informe ergonómico. El cual constará de los siguientes pasos: comparar y conciliar las tareas y descripciones del trabajo entre el trabajador y el supervisor, elaborar una lista preliminar de las tareas asociadas a factores de riesgo para dolores músculoesqueléticos, establecer una descripción detallada de los accidentes más comunes en el trabajo, identificar las características y acciones generales del lugar de trabajo: historia de trabajo, la situación económica de la empresa y situación económica personal, para finalizar será necesario explicar el borrador del informe ergonómico, para llegar a un consenso sobre las tareas de trabajo de alto riesgo que necesitan mejorar. El desarrollo de soluciones para mejorar estas tareas de trabajo específicas será con pasos a ser tomados por el empleador para ponerlas en práctica, estos pasos consisten en; evaluar la viabilidad de estas soluciones y

establecer prioridades en función de la gravedad del riesgo, costos anticipados, posible impacto en otras tareas de trabajo, técnicas dificultades, la disponibilidad de conocimientos técnicos en el lugar de trabajo y otras prioridades del lugar de trabajo, así como también establecer un calendario y designar a una persona para supervisar el seguimiento. Un informe final será redactado por el ergónomo, y a su vez será enviado a los participantes que se presenten en la reunión.

Para evaluar la percepción de la seguridad y el nivel de conocimiento de los trabajadores de construcción de la intervención Ergonómica, se realizarán los procedimientos en dos ocasiones: una de ellas será antes de la implementación de las acciones ergonómicas, así como también, al final de que se haya ejecutado la intervención. Las evaluaciones se lograrán a través de: la aplicación de un cuestionario estructurado el cual se compondrá de una evaluación diseñada para evaluar el nivel de conocimiento en general de las actividades, herramientas y maquinaria, conceptos ergonómicos relacionados a la industria de la construcción, conceptos del manejo manual de materiales, formas de prevención de molestias músculoesqueléticas, de las actividades que realizan, así mismo se aplicará un cuestionario basado en el instrumento de percepción de riesgos utilizada por Fischhoff y colaboradores (1978), este instrumento será modificado y adecuado para su aplicación, este instrumento se aplicará para estimar la percepción de seguridad en la que el trabajador realiza sus actividades. Este cuestionario compuesto será validado a

través de una validación de contenido a criterio de expertos, este se aplicará antes de la implementación de acciones ergonómicas, en una muestra a conveniencia, el examen de conocimiento general previamente diseñado, este se aplicará con la autorización de cada trabajador, pero sin previo aviso de que se llevará a cabo, lo anterior con el fin de no alterar los resultados del nivel de conocimiento. Así mismo, antes de la implementación de acciones se aplicará la evaluación de percepción de riesgos, en la que el trabajador contestará las preguntas previamente establecidas en dicha encuesta. Después de la aplicación los resultados de las encuestas serán capturados en una base de Excel para la evaluación de su consistencia y exactitud. Posteriormente de la captura de datos en Excel los resultados serán transferidos a PASW 18 para la comparación en base de los análisis estadísticos respectivos que requiera el presente estudio.

En la implementación de acciones correctivas en base a principios de Ergonomía Participativa, se realizará después de la presentación del informe ergonómico previamente elaborado en la etapa de diseño de la intervención del cual se iniciará con el grupo ergo, que convocará al inicio del turno a grupos de los trabajadores para iniciar el tratamiento de problemas basado en círculos de prevención que se desarrollarán con un triple objetivo: en primer lugar confirmar que los factores de riesgo destacados y sus causas coincidan con la opinión de los trabajadores, completando la información en su caso; en segundo lugar obtener una propuesta

consensuada de medidas preventivas por cada tarea y factores de riesgo asociados a la misma, y, por último, obtener una ordenación consensuada de todas las medidas preventivas propuestas en el puesto o colectivo. Todo ello en base al diagnóstico y a la experiencia de los trabajadores participantes. Los círculos de prevención tendrán una duración de 30 minutos al inicio de la jornada, además de identificar y proponer propuestas de solución a los problemas se impartirán pequeñas pláticas de principios ergonómicos y de seguridad con la intención de capacitar y sensibilizar a los trabajadores de los riesgos y consecuencias que se pueden generar en ese trabajo así como también para prevenir estos riesgos. El tiempo de duración de este programa será de 6 semanas.

Análisis de Información

Para el análisis de información de las evaluaciones del nivel de conocimiento y el nivel de percepción de la seguridad, se

realizará una base de datos en Microsoft Excel con la que se evaluará su consistencia y exactitud, después de esto, la información se analizará en el software estadístico PASW 18, en el que se compararán las mediciones iniciales con las finales, para determinar la variación existente entre ellas. El estadístico utilizado para el nivel de conocimiento será *t* de Student debido a que esta es una variable cuantitativa de tipo discreta, que se medirá en una escala de 0-100.

El nivel de percepción de seguridad por ser una variable de tipo cualitativa ordinal se analizará para comparar el progreso o retroceso en el rubro de seguridad con el estadístico de Wilcoxon, esta se capturará y analizará en Microsoft Excel en que se evaluará su consistencia y exactitud, así mismo se procederá a analizar en software PASW 18, se realizarán pruebas de normalidad para el correcto desarrollo de los análisis. Los análisis anteriores serán sometidos a una prueba de significancia de .05

Resultados

El presente estudio pretende como resultado mostrar la relación que genera la implementación de una intervención ergonómica, basada en el nivel de conocimiento y el nivel de percepción de seguridad, buscando la sensibilización e involucramiento del trabajador de la

construcción en sus actividades, el presente estudio tiene también como fin ser utilizado para futuras investigaciones que puedan generar modelos que ayuden en la capacitación de trabajadores de la construcción.

Referencias

Blanco, G., Castroman, R., Chacón, L., Hernández, P., & Ferrer, P. (2014). Programa de prevención basado en la Ergonomía Participativa

para minimizar efectos de la carga física en trabajadores de una empresa ferretera. TOG, 11(19), 1-23.

Bellorin, M., Sirit, Y., Rincon, K. & Amortegui, M. (2007). Síntomas Músculo Esqueléticos en Trabajadores de una Empresa de Construcción Civil. *Salud de los Trabajadores*, 15(2), 89-98.

Brown, O., Jr. (2002). Macroergonomic Methods: Participation. En Hendrick, H. and Kleiner, B. (Ed.), *Macroergonomics: Theory, Methods, and Applications*. (pp. 25-44).

United States of America. Lawrence Erlbaum Associates

Fernández, J.A. & Marley, R.J. (2011). *Applied Occupational Ergonomics: A Textbook* (3rd. ed.). Cincinnati, OH. International Journal of Industrial Engineering Press.

Fischhoff, B., Slovic, P., Lichtenstein, S., Read, S., & Combs, B. (1978). How Safe is Safe Enough? A Psychometric Study of Attitudes Towards Technological Risks and Benefits. *Policy Sciences*, 9, 127-152.

Gallegos, A. (1 de junio de 2014). Zócalo Saltillo. Obtenido de Zócalo Saltillo: <http://www.zocalo.com.mx/seccion/articulo/abundancia-accidentes-en-construcciones-1401598934>.

García, A., Gadea, R., Sevilla, M., Genís, S., & Ronda, E. (2009). Ergonomía Participativa: Empoderamiento de los trabajadores para la prevención de Trastornos MúsculoEsqueléticos. *Salud Pública*, 83(4), 509-518.

García, A., Sevilla, M., Gadea, R., & Casañ, C. (2012). Intervención de Ergonomía Participativa en una industria del sector Químico. *Gaceta Sanitaria*, 26(14), 383-386.

García, G., & Lange, K. (2010). La Ergonomía como estructura de innovación en la ingeniería de proyectos de organizaciones productivas. XIV International Congress on Project Engineering, (pp. 2193-2209). Madrid.

Gruenberg, M. (4 de noviembre de 2011). Construction workers more likely to die on the job. Obtenido de People's World:

<http://www.peoplesworld.org/construction-workers-more-likely-to-die-on-the-job/>

Hess, J., Hecker, S., Weinstein, M. & Lunger, M. (2004). A Participatory Ergonomics intervention to reduce risk factors for low-back disorders in concrete laborers. *Applied Ergonomics*, 35, 427-441.

Hinze, J. & Giang, G. (2008). Factors associated with construction worker eye injuries. *Safety Science*, 46, 634-645.

Kuorinka, I., Jonsson, B., Kilbom, A., Vinterberg, H., Biering, F., Sørensen, G., Andersson, K. & Jørgensen. Standardised Nordic questionnaires for the analysis of musculoskeletal symptoms. *Applied Ergonomics* 1987, 18.3, 233-237.

Leung, M.Y., Chan, Y.S. & Yuen, K.W. (2010). Impacts of stressors and stress on the injury incidents of construction workers in Hong Kong. *Journal of Construction Engineering and Management* 136 (10), 1093-1103.

Leung, M. Y., Chan, Y.S. & Yu, J. (2012). Preventing construction worker injury incidents through the management of personal stress and organizational stressors. *Accident Analysis and Prevention*, 48, 156-166.

Loisel, P., Gosselin, L., Durand, P., Lemaire, J., Poitras, S. & Abenhaim, L. (2001). Implementation of a Participatory Ergonomics program in the rehabilitation of workers suffering from subacute back pain. *Applied Ergonomics*, 32, 53-60.

Martínez, B., Domingo, S., Boleda, M., Casalod, Y., & Andres., E. (2014). Validación del cuestionario nórdico músculoesquelético estandarizado en población española. *Proceedings of the 12th International Conference on Occupational Risk Prevention*, (págs. 1-4). Zaragoza.

Minaya, G. (1998). El análisis de tareas como herramientas de ayuda en la gestión de la seguridad y de la salud. *MAPFRE SEGURIDAD*, 71, 3-11.

Saleem, J., Kleiner, B. & Nussbaum, M. (2003). Empirical evaluation of training and a work analysis tool for participatory ergonomics. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 31, 387-396

Solís, R. G. (2006). Riesgos en la salud de los trabajadores de la construcción. (U. A. Yucatán, Ed.) *Ingeniería*, 10(2), 67-74. Obtenido de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=46710207>.

Villa, A., Correa, M., Acosta, S., & Guarín, A. (2013). Apropiación social e investigación participativa en ingeniería en rehabilitación. *Ingeniería Biomédica*, 5(10), 31-43.

Viloria, Y. (28 de abril de 2010). SuMedico.com. Obtenido de SuMedico.com: <http://www.sumedico.com/nota3688.html>.

Evaluación de error humano en el área de laboratorio de un hospital privado de Cd. Juárez, Chihuahua

Natalia López Hernández¹, Aidé Araceli Maldonado¹, Jorge Luis García Alcaraz¹
René Noriega Armendáriz¹, Héctor Alejandro Trejo Mandujano¹

¹Universidad Autónoma de Ciudad Juárez.

Introducción

Antecedentes

Sanders y McCormick (1993) definen error humano como “una decisión o conducta humana inapropiada o indeseable que reduce, o tiene el potencial para reducir, la efectividad, la seguridad, o la ejecución del sistema”. En cualquier caso, un error humano es un fallo a la hora de realizar una tarea satisfactoriamente y que no puede ser atribuido a factores que están más allá del control del ser humano.

En todas las fases de desempeño humano, los errores parecen ser un fenómeno frecuente. Ha sido estimado en diversas encuestas que el error humano es la causa principal del 60 al 90% de accidentes e incidentes en sistemas complejos como la energía nuclear, control de procesos y la aviación. (Rouse & Rouse, 1983; Reason 1997). En un estudio a la unidad de cuidado intensivo dirigido a médicos y enfermeras se estimaron un promedio de 1.7 errores por paciente por día (Gopher et al., 1989)

La predicción del error humano se utiliza dentro de un sistema complejo y dinámico con el fin de identificar la naturaleza de los errores potenciales humanos u operador, factores que lo ocasionan, estrategias de mejora y las

consecuencias asociadas con ellos. La información derivada de la identificación del error se utiliza para proponer medidas correctivas destinadas a eliminar los errores potenciales, trabajar en la comprensión de la tarea laboral de la persona y las características de la tecnología que utiliza para indicar los posibles errores que puedan surgir de la interacción resultante (Stanton et al, 2005; Stanton and Baber, 1996a)

El error humano puede ocurrir en cualquier etapa del procesamiento de la información humana, pero en general se encuentran en mayor frecuencia en la etapa de toma de decisiones y ejecución de diversas actividades dentro de la interacción hombre – máquina donde es difícil evitarlos porque en ocasiones están bajo presión o ambiente ruidoso (Brigette y Peter, 2006).

Sin embargo, los estudios de diversos sistemas a veces tienden a centrarse en los acontecimientos y componentes que presentan el mayor riesgo significativo e ignoran otras situaciones menores que también podrían ser peligrosas (Shan et al., 2011)

Los psicólogos han estado investigando los orígenes y las causas del error humano desde el nacimiento de esta

disciplina (Reason, 1990). Los enfoques tradicionales sugieren que el error es un fenómeno individual, donde la persona aparece como responsable del error. De hecho los llamados “actos fallidos” fueron tratados como la revelación involuntaria de la intención: los errores revelan lo que una persona está realmente pensando pero no lo revela (Reason, 1990). Recientemente, las investigaciones de error en la cognitiva tradicional se han concentrado en la clasificación de los errores y determinar mecanismos de psicología adyacente (Senders, J.W and Moray, 1990).

Los enfoques taxonómicos (Reason, 1990; Norman, 1988) han llevado a la clasificación de errores en diferentes formas, por ejemplo: errores de captura, errores de descripción, errores de datos, errores de activación asociados. Reason (1990) y Wickens (1992) identifica mecanismos psicológicos implicados en la causa de los errores.

La presencia de errores en el cuidado de la salud es un riesgo cuya existencia es conocida por los profesionales y los pacientes por igual. Esto ha llevado al desarrollo de diferentes procesos de calidad, su aplicación ha sido orientada al principio “primus non nocere” y evitar estos errores. (Foreword, 2007).

Así que, desde la publicación del informe “errar es humano: construyendo un sistema de salud más seguro” por el Instituto de los Estados de Medicina (IOM) ha habido un número importante de publicaciones en donde se enfatiza la adopción de medidas para mejorar o resolver este problema que está identificado

como potencialmente peligroso. (Corrigan, 2000).

El diagnóstico de laboratorio es fundamental hasta en un 80% en la toma de decisiones clínicas, proporcionando información valiosa para el seguimiento de patologías y fármacos. El laboratorio de transfusiones sanguíneas juega un papel importante en la provisión de sangre segura y compatible para necesidad de los pacientes. Los errores de diagnósticos siguen siendo uno de las principales causas de inapropiadas e incompatibles transfusiones de sangre (Milkins, 2007) (Franchini, 2010) (Pagliaro, 2010).

El proceso total de la prueba se representa como un ciclo (El clásico Lundberg’s “enlace de cerebro a cerebro”) el cual empieza y termina en la cabeza del médico solicitante (Plebani y Lippi, 2010). A través de este enlace las actividades de diagnóstico son agrupadas en procesos analíticos y extra-analíticos. El primer proceso comprende todas aquellas actividades que se realizan dentro del laboratorio clínico (análisis de especímenes). El segundo grupo se desarrolla fuera del entorno del laboratorio y se divide en fases pre-analítica y post-analítica. (Lippi y Mattiuzzi, 2006).

En las últimas décadas se ha visto una disminución significativa en las tasas de errores de análisis en los laboratorios clínicos, y la evidencia disponible en la actualidad demuestra que las etapas pre-analítica y post-analítica del proceso son más propensas a errores (Plebani, 2009).

La presencia de errores pre-analíticos es una contingencia habitual en los laboratorios, la incidencia puede aumentar al intentar controlar la muestra durante esta fase, como es el caso de las muestras enviadas de recepción a un laboratorio externo. (Romero, 2011)

La identificación de los indicadores de calidad fiables es un paso crucial para cuantificar la calidad de los servicios del laboratorio. La actual falta de atención a los factores externos al laboratorio pone en evidencia la multitud de errores que se siguen produciendo sobre todo en la fase pre-analítica. La norma ISO 15189: 2012 para la acreditación de laboratorios define la fase pre-analítica (solicitud y toma de pruebas) y reconoce la necesidad de evaluar, controlar y mejorar los procedimientos, procesos de esta fase, por lo tanto estos indicadores de calidad deben permitir identificar los errores y las no conformancias (Plebani, 2013).

El Instituto de Medicina (IOM) en el informe (1999) indicó que la prevalencia de errores es alta en el sistema de salud son más riesgosos que otros. Existe una tasa de error de 0.1 a 9.3 % en los laboratorios de diagnóstico clínico lo que ha sido reportado en la literatura, en las fases de pre-analítica y post-analítica de pruebas. Sin embargo los errores producidos por los laboratorios son menores a los que ocurren en otros departamentos del entorno hospitalario. (Kalra, 2004).

En la primera revisión de la eficacia de la práctica en el uso de código de barras para reducir los errores en la identificación de muestras se obtuvo que, en las 17

muestras observables, el código de barras es eficaz para reducir este tipo de errores (Snyder, 2012).

Usualmente el laboratorio tiene que mantener una documentación exacta, realizar procedimientos de calibración regularmente, así como realizar el control de calidad para cada método utilizado. En realidad se le ha prestado menos atención al establecimiento de las medidas de control de la calidad en las etapas de obtención, procesamiento y almacenamiento de las muestras que al resto del procesamiento analítico (Borne, 1990). Los objetivos de las normas de control de la calidad en la fase pre-analítica son:

- La correcta identificación del paciente, del solicitante y de la prueba solicitada.
- Reducir al máximo la variabilidad interindividual de los parámetros a medir.
- Evitar el deterioro de la muestra mediante los procesos de obtención, manipulación transporte y conservación.

Una tecnología de laboratorio altamente controlada y sofisticada no es efectiva si ocurren errores en la identificación de las muestras. Una apropiada obtención de la muestra y manipulación de esta son, por lo tanto, de máxima importancia; la probabilidad de error en esas áreas son posiblemente mayores que la probabilidad de error que pueda ocurrir durante las determinaciones de laboratorio (Assendelft and Simmons, 1995).

Los errores humanos contribuyen a la mitad de muertes ocasionadas o que tienen origen por transfusiones de sangre, en un estudio diseñado específicamente para determinar errores de laboratorio en transfusiones de sangre, indicó que fueron reportados 342 errores siendo en el 87.1 % errores de etiquetado donde el 86.5 % se realizaron fuera del banco de sangre, mostrando una tasa de error de 6.4 errores por cada 1000 muestras (0.64%) en 32,189 muestras estudiadas. Más de la mitad de estos errores se produjeron durante el turno de día (9 errores por cada 1000 solicitudes) pero más con las demandas urgentes (11 errores por cada 1000 solicitudes). Este estudio indica la importancia del etiquetado de muestras adecuado y la importancia de la supervisión de calidad continua para mejorar el rendimiento del laboratorio (Tondon, 2010).

Planteamiento del Problema

El error humano es una de las principales causas de errores de laboratorio que han sido reportados. Los errores en la obtención de la muestra abarcan desde la incorrecta identificación de la muestra hasta la obtención de muestras o el uso inapropiado de anticoagulantes. Se ha demostrado que alrededor del 8 % de errores en el nombre del paciente, edad, sexo y número de identificación, no se detecta aún con chequeos manuales extensivos (Taswue, Smith y Sweatt, 1974).

El Comité Internacional de Estandarización en Hematología ha publicado pautas para la estandarización de la obtención de muestras de sangre y para el establecimiento de valores de referencia

(ICSH, 1982). Como medidas generales para evitar errores en la etapa de identificación del paciente, es importante disponer de un formato de petición específico, en el que además del nombre y apellidos, se identifique de forma inequívoca a cada paciente mediante su número de historia clínica, así como al facultativo solicitante. En los laboratorios medianos y grandes se utilizan las hojas de petición, en las que la identificación del paciente se realiza mediante código de barras, lo cual elimina el error humano de la actividad extra-analítica. Debe rechazarse cualquier solicitud que no se cumplimente debidamente (Martínez, 1999).

Durante una entrevista con la supervisión del departamento del laboratorio nos indicó que es en la etapa pre-analítica donde efectivamente la identificación incorrecta de muestras o falta de impresión por sistema de código de barras con los nombres de pacientes o números de folio de la orden es una de las principales causa de errores reportados en el laboratorio.

¿Cuáles son los factores de riesgo que causan errores humanos en la fase pre-analítica?

Objetivos

Evaluar el error humano en la fase pre-analítica en el laboratorio de un hospital privado de Ciudad Juárez Chihuahua.

Analizar si la tarea de identificación de muestras es factor de riesgo de error humano por medio de la aplicación del Análisis Jerárquico de Tareas (HTA).

Determinar cuál es el elemento de la tarea de identificación de muestras que contiene mayor error humano, bajo la metodología de SHERPA.

Plantear y recomendar estrategias para reducción del error humano en el laboratorio. Con base a la literatura durante la investigación se identificarán y recomendarán estrategias efectivas para la reducción de estos errores.

Determinar la tendencia del error en la fase pre-analítica.

Hipótesis

La fase pre-analítica es donde existe error humano.

La identificación de muestras es un factor de riesgo de error humano.

Un elemento de la tarea de identificación de muestras es la que contiene mayor error humano.

Existe una estrategia para reducción de error humano en el laboratorio.

El control de la muestra en la fase pre-analítica refleja un aumento de error humano.

Preguntas de Investigación

¿Existe error humano en la fase pre-analítica en el laboratorio de un Hospital Privado de Ciudad Juárez Chihuahua?

¿Es la identificación de muestras un factor de riesgo de error humano en el laboratorio de un Hospital Privado de Ciudad Juárez Chihuahua?

¿Cuál es el elemento de la tarea de identificación de muestras que contiene mayor error humano?

¿Cuáles son las estrategias para reducir el error humano en el laboratorio?

¿Existe un aumento en el error humano en la fase pre-analítica si se intenta controlar la muestra?

Justificación

La presencia de errores es relativamente común en los laboratorios clínicos, Stankovic (2004) reporta una incidencia global de errores que van de uno por cada 164 resultados y uno por cada 8300. Entre otros estudios fueron encontrados errores en las muestras entre un 0.01% y un 0.05% (Carraro, 2007; Kalra, 2004).

Como los laboratorios clínicos son un sistema complejo, es dividido en tres fases estrechamente relacionadas pero distintas (fase pre-analítica, fase post-analítica y analítica) la investigación planteada radica en la importancia de realizar un análisis e identificar los factores de riesgo que causan el error humano en los laboratorios clínicos.

Alcance y Delimitación

La investigación planteada se centra en la fase pre-analítica, contribuirá a la evaluación de error humano y planteamiento de las posibles causas y factores que lo provocan, definiendo sus características. Además de presentar un método para medición de error humano y estrategias que ayuden a la reducción de errores y mejoras en el sistema.

Marco Teórico

Error humano

El error humano es formalmente definido como “un término genérico empleado para designar todas aquellas ocasiones en las que una secuencia planeada de actividades mentales o físicas fallan al alcanzar su pretendido resultado, y cuando estos fallos no se pueden ser atribuidos a la intervención de algún factor de azar” (Reason, 1990). De acuerdo con Reason (1990), las acciones planeadas pueden fallar en sus objetivos por 3 razones:

1. Las acciones no se realiza como fueron planeadas: el desliz (que está relacionado con la atención) y el lapsus (que está relacionado con la memoria).
2. El plan en sí mismo era inadecuado (equivocación, en sus dos categorías, relacionadas con el conocimiento y relacionadas con las reglas).
3. Desviaciones del plan original (violaciones).

SHERPA (Systematic Human Error Reduction and Prediction Approach)

Técnica que evalúa cualitativa y cuantitativamente la fiabilidad humana y elabora recomendaciones concretas para reducir la probabilidad de errores humanos, especialmente en procedimientos, formación de personal y diseño de equipos (Ruiz & Trujillo, 2012).

Etapas de SHERPA

1. HTA

- La estructura jerárquica del análisis permite al analista describir progresivamente la actividad en mayores grados de detalle.
- El análisis comienza con una meta general.
- Jerarquía de objetivos (lo que la persona está tratando de lograr).
- Operaciones (las actividades ejecutadas para lograr los objetivos).

2. Clasificación de la tarea

Cada operación desde el nivel inferior del análisis se toma a su vez y se clasifica a partir de la taxonomía de error en uno de los siguientes tipos:

- Acción (pulsando un botón, presionar un interruptor, abrir una puerta)
- Recuperación (obtener información de una pantalla o manual)
- Comprobación (realización de una verificación de procedimiento)
- Selección (la elección de una alternativa sobre otra parte)
- Comunicación información (hablando con otra persona)

3. Identificación del error humano (HEI)

El analista considera modos de error creíbles asociados con la actividad, utilizando la taxonomía de error.

4. Análisis de consecuencia

Cómo las consecuencias tienen implicaciones por la criticidad del error.

5. Análisis de recuperación

Si hay una tarea posterior en la que el error puede ser recuperado, se escribe enseguida. Si no hay recuperación se escribe "Ninguno".

6. Análisis de probabilidad

La clasificación asignada se basa en datos históricos y / o un experto en la materia.

- Bajo (L): Error no es conocido que ocurriera
- Medio (M): Error ha ocurrido en ocasiones previas
- Alto (H): Error ocurre frecuentemente.

7. Análisis de criticidad

- Si la consecuencia es considerada crítica (causaría daño sustancial a la planta, producto y/o lesiones al personal).
- Si el error conllevar a un incidente serio debe definirse claramente antes del análisis etiquetado como crítico (!).

8. Análisis remedio

Proponer estrategias de reducción del error (Brainstorming)

- Equipo: rediseñar o modificar el equipo existente
- Entrenamiento: cambios en el entrenamiento dado

- Procedimientos: proveer nuevos o rediseñar los viejos.
- Organización: cambios en las políticas o cultura

HTA

Implica una descripción de la actividad como objeto de análisis en términos de una jerarquía de objetivos, sub objetivos, operaciones y planes. El resultado final es una descripción exhaustiva de la actividad de la tarea, las relaciones más importante entre operaciones y sub operaciones en la estructura jerárquica. Es popular por su flexibilidad, y el alcance para análisis adicionales que ofrece al practicante de Factores Humanos y Ergonomía.

El análisis jerárquico de tareas se emplea como preámbulo de numerosos métodos de análisis de Factores Humanos:

- Identificación de Error Humano
- Predicción de Errores Humanos
- SHERPA
- Asignación de funciones Hombre – Maquina
- Evaluación de la carga de trabajo
- Diseño y evaluación de interfaz

Los pasos para realizar un HTA:

3. Definir la tarea
4. Proceso de recolección de datos
5. Determinar el objetivo general de la tarea

6. Determinar sub-objetivos de la tarea
7. Descomposición de sub-objetivos

8. Análisis de planes

Materiales y Métodos

Los materiales y métodos utilizados para la evaluación de error humano en esta investigación son los siguientes.

3. Para captura de datos y consulta: Equipo de cómputo
4. Software para captura de datos e información: Excel, Word

5. Para medición de error humano se hará uso de metodología SHERPA
6. Hoja de consentimiento
7. Cuestionario
8. Para análisis de la actividad se hará uso del Análisis Jerárquico de Tareas (HTA).

Resultados

Con la siguiente investigación se espera identificar los factores de riesgos y el elemento con mayor error humano que causan los errores de laboratorio en la fase pre-analítica de un hospital privado en

Ciudad Juárez, Chihuahua, al igual que la recomendación de estrategias para reducción de errores mediante el uso de la metodología antes descrita.

Referencias

Brigette, M.H., Peter, J.P., 2006. The checklist – a tool for error management and performance improvement. *J. Crit. Care* 21, 231-235.

Gopher, D., Olin, M., Badhih, Y., Cohen, G., Donchin, Y., Bieski, M., & Cotev, S. (1989) The nature and causes of human errors in a medical intensive care unit. *Proceedings of the 32nd annual meeting of the Human Factors Society*. Santa Monica, CA: Human Factors Society. .

Reason, J. (1990), *Human Error*, Cambridge: Cambridge University Press.

Reason, J. (1997), *Managing the risks of organizational accidents*. Brookfield, VT: Ashgate.

Rouse, W.B., & Rouse, S.H. (1983). Analysis and classification of human error. *IEEE*

Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, SMC-13, 539-549.

Sanders, M.S., and McCormick, E.J. (1993). *Human Factors in Engineering and Design*. McGraw-Hill, Inc.

Shan, K., Li, Y., Xu, M., 2011. A safety approach to predict human error in critical flight. *Procedia Eng.* 17, 52-62.

Stanton, Neville A., Salmon, Paul M., Walker, Guy H., Baber, Chris., & Jenkins, Daniel P. (2005). *Human Factors Methods: A Practical Guide for Engineering and Design*. Brookfield, VT: Ashgate

Stanton, N.A. and Baber, C. (1996a), 'A systems approach to human error identification',

Safety Science, 22, 215-228.

Uso de la metodología del diseño por mezclas en el sector agrícola

Mirna Judith Gómez Payán¹, Roberto Romero López¹, Rey David Molina Arredondo¹, Sergio Miguel Terrazas Porras¹, Oscar Nuñez Ortega¹

¹Universidad Autónoma de Ciudad Juárez.

Introducción

Antecedentes

Dentro de la industria, existe una variedad de productos elaborados mezclando dos o más ingredientes, en los cuales las características de calidad dependen de las proporciones de los componentes en su formulación, por lo cual es importante encontrar la mejor mezcla de los ingredientes utilizados. Las industrias en las que mayormente se observa este fenómeno dentro de sus productos son las alimentarias, agrícolas, industria del concreto, farmacéuticas entre otras (Lopez Torres, Ramirez Guzman, Gonzalez Cossio, & Martinez Garza, 2010).

En la industria alimentaria, en muchos productos tales como salsas, néctares, jugos, galletas, helados y yogures, es muy importante encontrar la mejor mezcla de los ingredientes utilizados en su elaboración. El jugo, por ejemplo, es una bebida alimenticia, elaborada a partir de la mezcla de una o varias frutas, agua y azúcar; las bebidas compuestas de varias frutas presentan una serie de características, como la posibilidad de diferentes aromas, sabores y componentes nutricionales, a partir de las proporciones de los compuestos, es decir, las cantidades de cada

componente le otorga una característica única al producto final (Rojas, Tripaldi, Perez, & Quinteros, 2012). Otro ejemplo, se presenta en la elaboración del helado, en la cual, se busca optimizar las características, buscando establecer un producto que presente la mejor aceptación sensorial, mayor rendimiento y menor costo (Lopez Torres, Ramirez Guzman, Gonzalez Cossio, & Martinez Garza, 2010). En la mayoría de los alimentos, el objetivo es encontrar la mejor muestra o formulación de alimentos, aumentando las características que a los consumidores les agradan (Mejia Dominguez, Macavilca Tidayauri, Velazquez Gamarra, Palacios, & Garcia Alor, 2013) (Gordillo Silva, Guerrero Medina, Izaziga Luna, Lázaro Saavedra, Rojas Naccha, & Laguna Pajilla, 2012).

Otro tipo de industria donde también se encontró evidencia de la aplicación del diseño por mezclas es la industria de concreto, donde en los últimos años la tecnología ha evolucionado en gran medida debido a la aparición de nuevos aditivos que brindan al mercado soluciones a distintos requerimientos y que ofrecen innovadoras alternativas para mejorar procesos constructivos, al igual que el desempeño de terraplenes destinados a

obras de pavimento en carreteras o pistas de aeronaves los cuales, dependen del comportamiento de los materiales empleados en las diferentes capas estructurales del pavimento (Guevara Palma, Mendez Delgado, & Pimentel Gomez, 2010); en otras palabras las especificaciones de los materiales asfálticos son cada vez más estrictos, buscando que cumpla con : una mayor duración, menores fallas al paso de vehículos, significativa repelencia al agua, facilidad para la reparación de baches, entre otros; y eso solo se cumple al obtener la mejor mezcla de los componentes a partir de las proporciones (Santa Cruz Noriega & Alaysa Valenzuela, 2014) (Ostos Chirinos, 2009).

En la industria agrícola, en algunos casos, se pretende encontrar la mejor mezcla de residuos agrícolas con determinada composición o estandarización en algunos de sus componentes para el cultivo, buscando obtener una buena cosecha (Fernandez Rodriguez & Ruilova Cueva, 2013). Muchos agricultores enriquecen la tierra con fertilizantes naturales, llámese estiércol, abono verde y composta. La tierra es una mezcla de arena, sedimentos, arcilla y materia orgánica, la proporción de cada componente y los métodos agrícolas que se apliquen, afectarán la textura de la tierra, su fertilidad y su estructura.

Las herramientas estadísticas más frecuentemente empleadas en los laboratorios industriales son las técnicas de diseño de experimentos factoriales a dos niveles (Ning, Fang, & Zhou , 2011). Estos métodos implican realizar todas las

combinaciones de cada factor a nivel alto y otro bajo, sin embargo, cuando la respuesta depende de la proporción de los ingredientes como en todos los ejemplos anteriores, estas técnicas nos son útiles. En la optimización de las características de una mezcla, las propiedades de la misma depende de proporciones de los componentes y no de la cantidad final de la mezcla (M. Guish, D. Pavioni, & Kessler, 2011).

Es por lo anterior, que en los últimos años se han venido aplicando con éxito los diseños experimentales de mezclas, para evaluar de manera consistente y económica la influencia de cada uno de los componentes de la mezcla en el producto final (Soto Alcantar, 2012). El diseño experimental de mezclas permite aplicar el criterio que la suma de las proporciones de los componentes es el 100% y que por supuesto la modificación de un porcentaje afecta los otros. El punto de partida para este tipo de experimentos, es el análisis y delineamiento de los materiales, ya que el diseño de mezclas es una metodología importante para el desarrollo y optimización de los productos (Saltos & Bayas, 2010) (Kochupurakkal Dhibby, Radhakrishna, & Sing Bawa, 2013).

En el diseño de mezclas se trabaja con factores experimentales, los cuales son productos o ingredientes con un determinado número de componentes, la variable de respuesta o propiedad típica depende de la composición final que alcance la mezcla resultante dada por el aporte relativo o proporciones relativas de cada uno de los productos que han

participado en la mezcla y no de la cantidad absoluta (Fernandez Rodriguez & Ruilova Cueva, 2013).

Planteamiento del Problema

En los últimos años, la competitividad en el mercado ha tenido un crecimiento exponencial debido a la globalización, es decir, van surgiendo nuevos productos o servicios que va aumentando el nivel de exigencia o satisfacción del cliente al realizar compras, aumentando así las necesidades o expectativas del producto.

En las industrias que elaboran productos compuestos por la mezcla de dos o más ingredientes, constantemente están en la búsqueda de la determinación de la cantidad exacta que cumpla con las características que el cliente busca en los diferentes productos. En el caso de la industria agrícola, al momento de crear la composta, se pretende obtener la mejor mezcla de los desechos orgánicos, buscando afecte de forma positiva la textura de la tierra, para así obtener una buena cosecha.

No solo en la empresas se observa estos fenómeno, en muchas situaciones de la vida real, la respuesta de un experimento de mezcla depende no solo de la composición de la mezcla sino también de su cantidad (Pal & Kumar Mandal, 2012).

Objetivos

Después de dar a conocer la problemática a la cual se buscará dar solución en el presente proyecto, se establecen los siguientes objetivos:

Aplicar la metodología de diseño de experimentos por mezclas, en el proceso de elaboración de abono orgánico en el sector agrícola.

Identificación del proceso de elaboración del abono.

Aplicar el diseño de mezclas a dicho proceso.

Delineamiento y análisis de mezclas.

Selección de ingredientes óptimos.

Determinación de cantidades relativas.

Hipótesis

El uso de la herramienta diseño de experimentos de mezclas identifica los parámetros óptimos de la variable de respuesta.

Justificación

Para sobrevivir en el mundo competitivo de hoy, las empresas deben desarrollar y fabricar de manera oportuna los productos que cumplen con la siempre cambiante expectativa de los clientes. Muchos productos se forman mediante la mezcla de dos o más ingredientes (componentes) como productos plásticos, aleaciones, hormigón y diversos productos alimenticios (Feters, Curry, & Creswell, 2013).

Las compañías deben desarrollar de manera eficiente las formulaciones de productos que cumplan con los requisitos del cliente en las propiedades del producto, al igual que también determinar de manera eficiente los mejores valores de dichas variables. Los diseños de mezclas prevén un

desarrollo de formulaciones eficientes de productos y los ajustes de otras variables para cumplir con los requisitos sobre las propiedades del producto (Kaya, Piepel, & Caniyilmaz, 2013)

La finalidad de mezclar varios estabilizantes es lograr la función específica y obviar alguna de las propiedades limitantes de un compuesto determinado, sin embargo, la adición de una cantidad demasiada elevada de los componentes puede dar lugar a un aspecto indeseable en los productos (Gaviria T., Restrepo M., & Suarez M. , 2010).

Los diseños experimentales de mezclas permiten evaluar de manera consistente y económica la influencia de cada uno de los componentes de la mezcla en el producto final (H. Saltos, 2010).

Este modelo es adecuado cuando el cambio en la cantidad no solo afecta a la respuesta sino también a la composición de la mezcla (Pal & Kumar Mandal, 2012).

En algunas aplicaciones del diseño de experimentos por mezclas se han obtenido grandes beneficios, un ejemplo de ello es una empresa cementera, en la cual se obtuvo un ahorro del 10 al 15% de peso de cemento, es decir ahorro en la materia prima al momento de realizar la mezcla para la obtención de lo que conocemos como cemento, obteniendo así, ahorro en el costo total de la producción, al igual que en las materias primas para la fabricación del cemento, teniendo con esto un doble beneficio, económico y ambiental (Ostos Chirinos, 2009), es decir se encontró los valores óptimos de la mezcla, evitando

consumir más materia prima de la necesaria, representando un valor significativo en la empresa, al reducir los costos de la producción, al igual que en la naturaleza se refleja positivamente la investigación, ya que se logra reducir la utilización de materia prima que se obtiene de la naturaleza.

La creciente necesidad de encontrar alternativas que armonicen con el medio ambiente está llevando a buscar cada vez mejores alternativas en los procesos de los productos (Sastry, Rao, & Rao, 2011).

El diseño de experimentos con mezclas determinar cuáles de los ingredientes de la mezcla o interacciones entre ellos tienen una mayor influencia sobre una o varias respuestas de interés; modela las respuestas de interés en función de las proporciones de los componentes de la mezcla y utiliza los modelos para determinar en qué porcentaje debe participar cada uno de los ingredientes para lograr que las fórmulas tengan las propiedades deseadas (Gutiérrez Pulido & De la Vara Salazar, 2004).

Alcance y Limitación

El presente documento está enfocado a nivel teórico, es decir, busca recopilar información para conocer y entender la metodología de diseño de experimentos por mezclas, que se utilizará en el proyecto, el cual está orientado a la optimización de parámetros en procesos agrícolas.

El alcance del proyecto es aplicar la herramienta a un proceso productivo del sector agrícola, aunque por el momento es entender cómo funciona la herramienta, ver

de qué manera se aplica a diferentes procesos, que factores intervienen para obtener el producto, reconocer que recursos se requieren para la realización del diseño de experimentos y obtener el conocimiento

necesario para la toma de decisiones ante un proceso agrícola.

Dentro de las delimitaciones, se aplicarán las interacciones necesarias entre los niveles, para la obtención de resultados.

Marco Teórico

Diseño de experimentos

En el campo de la industria es una práctica común hacer experimentos o pruebas con la intención de que al mover o hacer algunos cambios en los materiales, métodos o condiciones de operación de un proceso se puedan detectar, resolver o minimizar los problemas de calidad (Gutiérrez Pulido & De la Vara Salazar, 2004, pag. 4).

Es común que estas pruebas o experimentos se hagan sobre la marcha a prueba y error, apelando a la experiencia y a la intuición; en lugar de seguir un plan experimental adecuado que garantice una buena respuesta a las interrogantes planteadas (E. Box, Hunter, & G. Hunter, 2008). En muchas situaciones no es suficiente aplicar experimentación a prueba y error, por lo que siempre es mejor proceder siempre en una forma eficaz que garantice la obtención de las respuestas a las interrogantes planteadas, en un lapso corto de tiempo y utilizando pocos recursos (Gutiérrez Pulido & De la Vara Salazar, 2004, pag.4). Es aquí donde el diseño de experimentos es utilizado ya que es la forma más eficaz de hacer pruebas en los procesos, proporciona la técnica y la estrategia necesaria para llevar los procesos a mejores condiciones de operación.

El diseño de experimentos se define como el conjunto de técnicas estadísticas y de ingeniería que permiten lograr la máxima eficacia de los procesos de producción al menor costo (Gutiérrez Pulido & De la Vara Salazar, 2004, pag. 5); o bien podríamos llamarlo como un experimento diseñado el cual se define como “una prueba o serie de pruebas en las cuales se inducen cambios deliberados en las variables de entrada de un proceso o sistema, de manera que sea posible observar e identificar las causas de los cambios en las respuestas de salida (C. Montgomery, 1991, pag. 1).

El diseño de experimentos consiste en planear un conjunto de pruebas experimentales, de tal manera que los datos generados puedan analizarse estadísticamente para obtener conclusiones válidas y objetivas acerca de sistema de proceso (Gutiérrez Pulido & De la Vara Salazar, 2004) (O. Kuehl, 2003).

Principios básicos del diseño de experimentos

Existen tres principios básicos en el diseño de experimentos, los cuales se mencionan a continuación.

- Aleatorización: Consiste en hacer corridas experimentales, tanto la

asignación del material experimental como el orden de las pruebas individuales en orden aleatorio, este principio aumenta la posibilidad de que la independencia de los errores se cumpla.

- Repetición o replica: Es la repetición del experimento básico, es decir correr más de una vez un tratamiento o combinación de factores.

- Análisis por bloques: Es una técnica que se usa para incrementar la precisión del experimento, es decir nulificar o tomar en cuenta en forma adecuada los factores que puedan afectar la respuesta dada (Montgomery, 1991) (Gutiérrez Pulido & De la Vara Salazar, 2004).

Los diseños se pueden clasificar como:

3. Diseños para comparar dos o más tratamientos
4. Diseños para estudiar el efecto de varios factores sobre las respuestas
5. Diseños para determinar el punto óptimo de operación del proceso.
6. Diseños para la optimización de una mezcla
7. Diseños para hacer el producto insensible a factores no controlables (Gutiérrez Pulido & De la Vara Salazar, 2004).

Algunos problema típicos de la industria que se pueden resolver con el diseño y análisis de experimentos, son los siguientes:

- Comparar a dos o más proveedores de mismo material con el fin de elegir al que mejor cumple con los requerimientos.
- Comparar varios instrumentos de medición para verificar si trabajan con la misma precisión y exactitud.
- Proponer una nueva manera de operar el proceso, variar sus condiciones y hacer cambios con el objetivo de reducir el número de defectos.
- Determinar los factores o fuentes de variabilidad que tienen impacto en la capacidad del proceso para cumplir con sus requerimientos mas importantes.
- Localizar las condiciones de operación (temperatura, velocidad, humedad; por ejemplo) donde el proceso logra el desempeño óptimo.
- Proponer un nuevo método de muestreo igual de efectivo, pero más económico que el actual.
- Reducir el tiempo de ciclo del proceso.
- Hacer el proceso insensible o robusto a oscilaciones de variables ambientales. (Gutiérrez Pulido & De la Vara Salazar, 2004, pag. 5)

Todos los problemas anteriores se resuelven al aplicar diseños cuyos niveles de cada factor son independientes de los niveles de los otros factores, sin embargo, en los experimentos con mezclas, los factores son los componentes o ingredientes de una mezcla por lo cual los niveles de dichos ingredientes no son independientes.

El diseño experimental de mezclas permite aplicar el criterio que la suma de las proporciones de los componentes es el 100% y que por supuesto la modificación de un porcentaje afecta los otros. Consecuentemente en tales casos, los factores experimentales son precisamente los componentes de la mezcla; y los resultados son funciones de tales proporciones y pueden optimizarse mediante la técnica de la superficie de respuesta. En la industria alimentaria, del mismo modo que en la industria farmacéutica, han venido aplicándose con éxito los diseños experimentales de mezclas para evaluar de manera consistente y económica la influencia de cada uno de los componentes de la mezcla en el producto final. (H. Saltos, 2010)

Generalmente en el diseño de mezclas con el objetivo de la investigación o en trabajos prácticos cotidianos se trabaja con factores experimentales los cuales

pueden ser productos o ingredientes con un determinado número de componentes. La variable respuesta o propiedad típica depende de la composición final que alcance la mezcla resultante dada por el aporte relativo o proporciones relativas de cada uno de los productos que han participado en la mezcla y no de la cantidad absoluta. Las proporciones deben sumas 1 o 100 en forma de por ciento, los factores no pueden variar independientemente sobre algún otro. (Fernandez Rodriguez & Ruilova Cueva, 2013)

Los diseños experimentales de mezclas más frecuentes utilizados son el llamado de red simple (*simplex-lattice*), el centrado simple (*simplex-centroid*), vértices extremos y el diseño mixto (M. Guish, D. Pavioni, & Kessler, 2011).

En la figura 1 se observan los diferentes experimentos con diseños de mezcla.

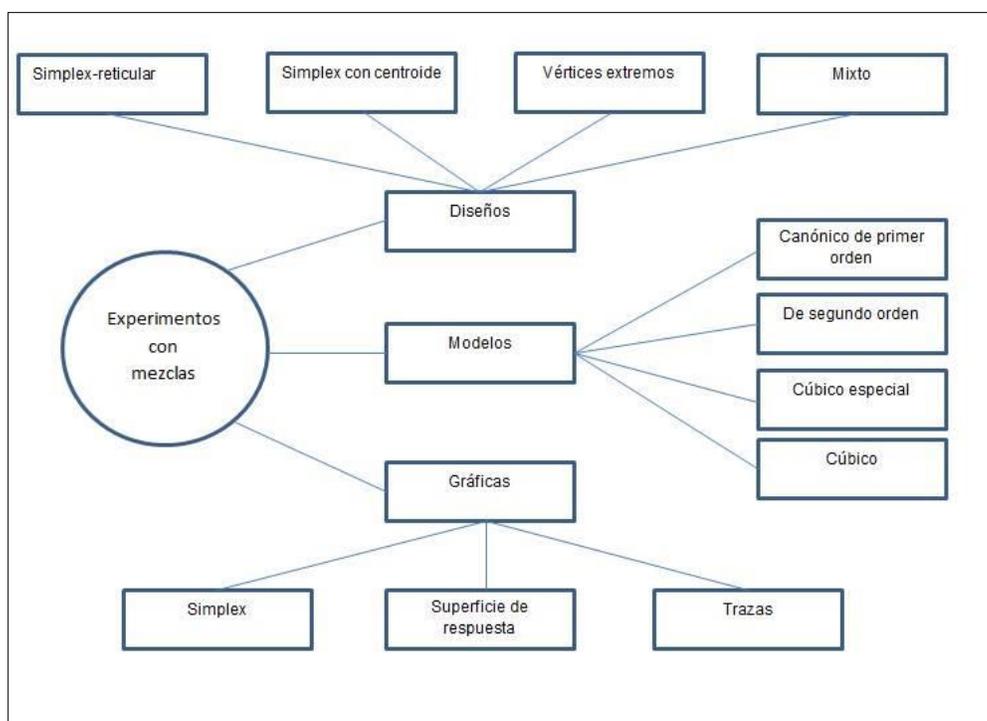


Figura 1. Tipos de diseños de experimentos para mezclas

Diseños de tratamientos para mezclas

Diseño simplex reticular

Considera q componentes y permite ajustar un modelo de orden m . Los tratamientos se obtienen con todas las mezclas que pueden formarse dado que los componentes toman los valores $X_i = 0, 1/m, 2/m, \dots, m/m$.

Diseño simplex con centroide

Este tipo de diseño es un diseño en el sistema de coordenadas simplex que se compone de mezclas que contienen 1, 2, 3... o k componentes en proporciones iguales. Un ejemplo de aplicación es al variar el disolvente o mezcla utilizada, en la extracción de diferentes isoflavonas se optimizó utilizando el diseño de la mezcla-centroide simplex. Las isoflavonas juegan un papel importante en la salud, ya que

disminuye el riesgo de contraer enfermedades del corazón, alivia síntomas de menopausia, protege contra problemas de próstata, entre otros (Yoshiara, Madeira, & Delaroza, 2012).

Diseño de vértices extremos

Se aplica en experimentos de mezclas con restricciones donde la región experimental es un polígono irregular. Se usan los vértices de la región restringida como la base del diseño, junto con puntos entre el centroide global y el centroide de la región experimental.

Experimento mixto

Con este diseño se estudian los efectos combinados de variables de proceso y componentes de una mezcla sobre una determinada variable de respuesta.

Materiales

Los materiales necesarios para llevar a cabo el proyecto son los siguientes:

- Una computadora o laptop, para realizar el escrito del documento, así como realizar el análisis de los datos.
- Software Minitab 16 ®, con él se realizará el análisis de los datos recolectados para el proyecto.
- Microsoft Excel para la realización de gráficas, tablas y cuadros, ya que es una manera clara y precisa de mostrar la información.
- Microsoft Word, este software nos permitirá llevar a cabo la

documentación del proyecto de una manera fácil, pudiendo modificar la información cada vez que sea necesaria.

- Material de consulta (libros, internet, artículos) para la realización de los antecedentes y revisión literaria.

Así como también es primordial contar con el permiso y apoyo de la empresa en el que se aplicará la metodología Diseño de experimentos por mezcla, ya que en ella se deberá presentar el plan de trabajo para solicitar los recursos necesarios para llevarla a cabo.

Métodos

Identificar los principales diseños de experimentos para mezclas junto con su representación geométrica y los modelos estadísticos adecuados para analizar los resultados experimentales.

Para el presente proyecto se espera implementar la herramienta en alguna empresa agrícola del estado de Chihuahua,

buscando determinar los parámetros óptimos en la elaboración de la composta, obteniendo un impacto positivo tanto en la empresa como en el medio ambiente.

Referencias

Alassa, G. M., & Arrua, P. A. (2010). Diseño de mezclas del suelo compactado para la construcción de terraplenes. EIA, 51-61.

Box, G. E., Hunter, J. S., & Hunter, W. G. (2008). Estadística para investigadores: Diseño, innovación y descubrimiento. Barcelona: Reverté.

Escalante Vázquez, E. J. (2003). Seis-Sigma Metodología y Técnicas. Mexico: LIMUSA.

Fernandez Rodriguez, F., & Ruilova Cueva, M. B. (2013). Programa para el diseño de mezclas de residuos agrícolas para el cultivo del hongo *Pleurotus Ostreatus*. Tecnología química, 128-136.

Fetters, M. D., Curry, L. A., & Creswell, J. W. (2013). Achieving Integration in Mixed Methods Designs - Principles and practices. *Health Service Research*, 2134-2158.

Gaviria T., P. M., Restrepo M., D. A., & Suarez M., H. (2010). Utilización de hidrocolides en bebida lactea tipo kumis. *Revista de la facultad de quimica farmaceutica*, 29-36.

Gordillo Silva, C., Guerrero Medina, N., Izaziga Luna, N., Lázaro Saavedra, M., Rojas Naccha, J. C., & Laguna Pajilla, B. (2012). Efecto de la proporción de naranja (citrus Sinesis), papaya y piña en la aceptación sensorial de un nectar mixto. *Agroindustrial Science*, 132-139.

Guevara Palma, M. R., Mendez Delgado, H. A., & Pimentel Gomez, J. C. (2010). Diseño de mezclas asfálticas densas en frio basadas en el metodo Marshall modificado de la universidad de Illinois.

Gaisch, A. M., Pavioni, O. D., & Kessler, T. (2011). Aplicación del diseño de mezclas para la determinación del color en pastas comestibles. *Jornadas Nacionales del Color en Mar del Plata*, 13.

Gutiérrez Pulido, H., & De la Vara Salazar, R. (2004). *Análisis y Diseño de experimentos*. México: McGraw-Hill.

H. Saltos, A. B. (2010). Aplicacion de un diseño experimental de mezclas en el desarrollo de una "Barra energetica" con base en el salvado de palmito de Pejibaye. *Revista Tecnologica ESPOL*, 1-8.

Kaya, Y., Piepel, G., & Caniyilmaz, E. (2013). Development of a Rubber-Based Product Using a Mixture Experiment: A Challenging Case Study. *Smithers Rapra Technology*, 123-151.

Kochupurakkal Dhibby, V., Radhakrishna, K., & Sing Bawa, A. (2013). Development of whey-fruit-based energy drink mixes using D-Optimal mixture design. *Food Science & Technology*, 742-748.

Kuehl, R. (2003). *Diseño de experimentos*. México: Thomson Learning.

Lopez Torres, R., Ramirez Guzman, M., Gonzalez Cossio, F., & Martinez Garza, A. (2010). Rene Lopez Torres, Martha Ramirez Guzman, Feliz Gonzalez Cossio, Angel Martinez Garza. *Agrociencia*, 579-592.

Mejia Dominguez, C., Macavilca Tidayauri, E., Velazquez Gamarra, J., Palacios, R. B., & Garcia Alor, L. (2013). Formulacion y evaluacion de galletas enriquecidas con micronutrientes y proteinas de origen animal y vegetal. 23-34.

Mohan Rao, P., Abburi, S., Kottam, V., & Reddy, M. (2013). Influence of granite fines as sand replacement in concrete mix. *Internal journal of applied engineering research*, 1823-1829.

Montgomery, D. C. (1991). *Diseño y análisis de experimentos*. México: Iberoamericana.

Nagaraja Shastri, P., V. Urbale, R., & J. D'Souza, M. (2013). Implementation of mixture design for formulation of albumin containing enteric-coated spray-dried microparticles. *Informa healthcare*, 164-175.

Ning, J.-H., Fang, K., & Zhou, Y. (2011). Uniform design for experiments with mixtures. *Taylor & Francis*, 1734-1743.

Ostos Chirinos, J. J. (2009). Comparacion de métodos de diseños de mezclas de concreto de baja consistencia. 1-75.

Pal, M., & Kumar Mandal, N. (2012). *Optimum Designs for Estimation of Parameters*. Taylor & Francis, 665-674.

Rojas, C., Tripaldi, P., Perez, A., & Quinteros, P. (2012). Diseño experimental y métodos de desición multicriterio para optimizar la composición del helado mantecado. *Scientia Agropecuaria*, 51-60.

Salamanca G., G., Osorio T., M. P., & Montoya, L. M. (2010). Elaboracion de una bebida funcional de alto valor biologico a base de borojo. *Rev. Chil. Nut*, 87-96.

Saltos, H., & Bayas, A. (2010). Aplicacion de un diseno experimental de mezclas en el

desarrollo de una barra energetica con base en el salvado de palmito de Pejibaye. Revista Tecnologica ESPOL, 1-8.

Santa Cruz Noriega, S. G., & Alaysa Valenzuela, A. (2014). Diseño y control del concreto autocompactante en el valle del Mantaro. Ingetecnum, 1-16.

Sastry, M., Rao, K., & Rao, P. (2011). Considerations in producing high performance concrete and comparison of concrete mix design methods. The IUP Journal of Structural Engineering, 37-51.

Sing Ng, T., & Foster, S. (2012). Development of a mix design methodology for high-performance geopolymer mortars. Technical paper, 148-157.

Soto Alcantar, J. A. (2012). Evaluacion de la durabilidad de concreto elaborado por el método de diseño de mezclas de O reilly mediante potenciales de corrosion. 1-60.

Yan-Zhu, P. (2010). Study on design method of open-graded mixture. IEEE, 4.

Yoshiara, L., Madeira, T., & Delarozza, F. (2012). Optimization of soy isoflavone extraction with different solvents. International Journal of Food Sciences and nutrition, 10.

Zumarán Alayo, O. R., & Yglesias Alva, L. A. (2013). Optimizacion de las propiedades fisicas, nutritivas y sensoriales del pan elaborado con harina de esparago, Kiwicha y trigo. Ciencia y Tecnología, 23-35.

Identificación de competencias laborales de empresas de desarrollo de software en Ciudad Juárez

Cynthia Vanessa Esquivel Rivera¹, María del Carmen Gutiérrez Diéz², Alejandra Mendoza Carreón¹, Abraham López Nájera¹, Sergio Miguel Terrazas Porras¹, Gildardo Rivas Valles¹,

¹Universidad Autónoma de Ciudad Juárez.

²Universidad Autónoma de Chihuahua.

Resumen

El desarrollo de software puede ser un tema bastante complejo, pero es necesario adentrarse y examinar cada uno de los conceptos de este tema. Actualmente existe una gran necesidad por el desarrollo de software dada su ubicuidad y con el fin de conocer los requerimientos en la localidad, se llevó a cabo una investigación con el objetivo de identificar las competencias laborales dentro de las empresas de desarrollo de software en Ciudad Juárez. La investigación inicio con un censo para identificar empresas de desarrollo de software en la localidad, y posteriormente se realizó un estudio de caso donde se obtuvo información mediante encuestas. Los resultados del instrumento arrojaron información relevante sobre las competencias laborales y profesionales con las que la empresa cuenta, así como la importancia que tienen las actividades de aprendizaje dentro de la organización para mantener a sus empleados actualizados en temas relevantes sobre tecnología.

Palabras clave: Software, Juárez, PYME.

Introducción

Al momento de definir software se puede ver éste como una herramienta que se usa para agilizar el trabajo, las aplicaciones de los teléfonos celulares y el software que se usa en la computadora fue creado por un equipo de desarrollo, pequeño, grande, distribuido o local. Pero queda claro que hay un gran trabajo detrás de cada botón y detrás de cada información que se guarda. El desarrollo de software requiere de un ciclo de creación, una serie de pasos que se van cumpliendo en diferentes tiempos.

La industria del software como estrategia de desarrollo para los países es muy atractiva, por que busca concentrar esfuerzos públicos y privados hacia la construcción de condiciones para la formación de una agrupación de empresas. Sin embargo, para el cumplimiento y logro de esta meta se requiere de un dinámico e importante apoyo por parte de los países que aspiran contar con la fuerza laboral que exige esta industria.

Esta industria cuenta con múltiples puntos de entrada, los cuales deben ser aprovechadas por las organizaciones mexicanas, cuyo éxito dependerá de la habilidad de éstas para formular una estrategia particular de inserción y de su capacidad de innovación, para evitar la simple reproducción de modelos de otros países tales como Estados Unidos, Japón, India, Irlanda e Israel, o los países emergentes como Brasil, China y Corea del Sur, que se han destacado por ser productores de software exitosos (Ruiz, Piore & Schrank, 2005).

En los últimos años, el interés por la industria del software dentro de sus diferentes actividades se ha incrementado por parte de algunas organizaciones, y dicho incremento resulta en el surgimiento de más empresas que pueden generar una mayor cantidad de empleos mejor remunerados para las personas capacitadas de manera adecuada en el área. En el año 2005 la industria del software alcanzó gran demanda y llegó a alcanzar una remuneración aproximada de \$288,806 millones de dólares en productos y servicios de este tipo de tecnología, situación que beneficia las exportaciones de nuestro país (Hualde & Gomiz, 2007).

La globalización es un proceso en función del comercio y la inversión en el ámbito internacional, el cual cuenta con el respaldo de las tecnologías de información (The Levin Institute, 2013). Indudablemente, si se pretende que el país logre alcanzar la competitividad deseada para tener una oportunidad de participar activamente en este proceso de

globalización, debe dar inicio a la innovación de las tecnologías de la información, y en especial en el área del software, pues sólo en el 2007, empresas que tenían a su cargo 250 empleados en la industria de software obtuvieron una ganancia de \$817 millones de dólares, y en servicios sumaron en \$2,311 millones de dólares (Hualde & Gomiz, 2007).

En términos globales las empresas de software en actividad modular en México alcanzan el 53%, donde el 1.8% representa software libre y el restante software de licencia (Hualde & Gomiz, 2007). Hecho que da certeza de que la creación del software como herramienta para las empresas es de suma importancia puesto que su empleo genera competitividad por sus múltiples beneficios como lo son el ahorro de tiempo, elevación de la calidad, menor margen de error, innovación de procesos, etc., sin embargo, su operatividad además de requerir recursos humanos y financieros, generación de ideas innovadoras y profesionalización de personal, también demanda una situación estable y segura en la sociedad.

Si no se cuenta con lo anterior, es prácticamente imposible obtener buenos resultados en la demanda de servicios, ampliación de mercado y por ende en la remuneración económica, situación por la que atraviesa el lugar donde se ubica la presente investigación, obstaculizando el buen desempeño de esta industria y obligando a cerrar su mercado a un sector más privado y no público.

Por esta razón es indispensable que se cuente con soporte y facilidades que

apoyen el desarrollo de un empresariado emprendedor a través del sector gubernamental y social que facilite su desempeño.

Por lo anterior es importante contar con información sobre las empresas de software existentes en la localidad, que permita identificar las competencias laborales y profesionales, y funcione como guía de consulta para otras organizaciones que desean incorporarse al mercado.

Este trabajo de investigación da a conocer el impacto que tienen las competencias laborales y las actividades de aprendizaje en una de las empresas en Ciudad Juárez, Chihuahua y la importancia que se le da para la mejora de sus productos y/o servicios.

Antecedentes

En la actualidad, el software es un elemento clave de la economía moderna. Se usa en casi todos los productos manufacturados y en los servicios; aun cuando hay empresas especializadas en su desarrollo esta clase de industria no refleja en realidad su verdadero avance en el mercado, ya que la elaboración de programas de cómputo figura en casi todas las industrias y es, de hecho, factor de éxito de todos los sectores de la economía (Ruiz, Piore & Schrank, 2005).

Según la consultora IDC (2013), durante 2012 el mercado mexicano de software en México (consumo y empresarial) tuvo un desempeño saludable, pues se expandió a \$2,100 millones de dólares y presentó un crecimiento de 8.5% frente al 2011.

En su análisis la firma asegura que este resultado fue favorecido por una concentración de inversión del sector corporativo en general, focalizado principalmente en las industrias de finanzas, gobierno, petróleo, gas y minería. Por lo tanto y continuando con este patrón, se espera que el mercado de software en el país tenga un crecimiento de 8.9% para 2013 y que incluso, supere las expectativas de 4%, de acuerdo con César Longa, gerente del mercado de Software empresarial y consumo para IDC Latinoamérica.

Esto hace que sea de vital importancia entender el desarrollo de la industria del software no sólo en México, sino en otros países con igual grado de crecimiento económico, de manera que las empresas se dirijan de forma inmediata hacia la formulación y la aplicación de políticas más ambiciosas para hacer que esta industria crezca en beneficio de la economía de todo el país.

Marco Referencial

Para conocer la información requerida de la empresa se requiere un instrumento que recabe información acerca de:

- Datos generales, en los que se solicita: Nombre del entrevistador, fecha de la entrevista, nombre de la empresa, domicilio(calle, número, colonia, ciudad,

C.P.), teléfono de la empresa, fax, página web y los datos de la persona entrevistada, tales como: nombre, cargo, departamento, edad, teléfono, e-mail y sexo.

- Datos del encuestado, en los que se solicita: ¿Qué es usted en la empresa?, ¿es fundador o se encuentra entre los fundadores de la empresa?, ¿ha realizado estudios de Especialidad o Diplomados?, ¿Ha realizado estudios de Posgrado (maestría, doctorado), ¿ha trabajado antes en alguna otra empresa o institución?
- Características de la empresa, en las que se solicita: ¿Su empresa es miembro de algún cluster de TI en Cd. Juárez?, año de inicio de operaciones de la empresa, ¿bajo qué figura fiscal opera?, ¿qué tipo de persona moral?, ¿qué tipo de persona física?, ¿se encuentra esta empresa asociada a otras empresas?, ¿cuentan con instalaciones en otras localidades?, mencione el tipo de instalaciones que tiene la empresa en otras localidades y su ubicación, ¿cuenta con oficinas o representación en el extranjero?, ¿dónde se encuentra ubicada esa oficina?, ¿cuál es el total de personas empleadas actualmente por la empresa?, ¿cuántos de ellos están contratados con seguro social?, ¿cuántos son mujeres?, ¿cuántos están contratados por honorarios de forma permanente?, ¿cómo se distribuyen las ocupaciones en su empresa?, ¿cómo estima que fue la tasa de rotación de los trabajadores en el año 2013?, ¿cuál es la antigüedad promedio de los trabajadores de su empresa?,

¿cuántos de ellos trabajaron antes en maquiladoras?, ¿ha usado la empresa trabajadores temporales (honorarios), por proyecto u obra terminada?, ¿en total, cuántos trabajadores contratados por proyectos tuvo en el 2013?, ¿cuáles son, hasta un máximo de tres, los principales productos o servicios de esta empresa?, ¿cuántos nodos tiene la red de su empresa?, ¿Cuántos servidores?, en total, ¿cuántas líneas telefónicas?, ¿cómo realiza el acceso a internet?, ¿dónde hospeda su página web?, ¿está preparado su sitio para e-Commerce?, ¿tiene contratos establecidos con su principal cliente?.

- Estrategia de la empresa, en la que se solicita: ¿Quién toma las decisiones en su empresa?, señale la frecuencia con que se utilizan en su empresa los servicios de asesores o especialistas externos en la toma de decisiones en las áreas siguientes, señale, en orden, las 5 estrategias más importantes para su empresa, ¿cuál considera la mejor manera de organizar el proceso de desarrollo/operación de los proyectos, para ser competitivos?.
- Competencias laborales y profesionales, en las que se solicita: Sistemas operativos que usa, bases de datos, lenguajes de programación, plataformas de desarrollo, en general, ¿considera que los niveles de competencias del personal empleado son adecuadas para las actividades de su empresa?, ¿evalúe las necesidades de capacitación de sus empleados en las siguientes áreas?, ¿por qué medios se capacitan sus empleados?,

evalúe la importancia de los siguientes factores como barreras a la capacitación de los empleados de su empresa, evalúe qué tan importante son para su empresa cada uno de los siguientes aspectos supuestamente relacionados con el perfil de competencia de la mano de obra en la región.

- Actividades de aprendizaje en la empresa, en las que se solicita: Evalúe las siguientes fuentes de información para hacer mejoras en los productos/servicios que ofrece la empresa, evalúe qué tan importante fueron los siguientes procesos de capacitación y aprendizaje en el mejoramiento de las capacidades de su empresa, señale cuáles mecanismos se utilizan en la empresa para incrementar el conocimiento de su empresa y para compartirlo entre los trabajadores y evalúe al mismo tiempo su grado de importancia.
- Innovaciones, en las que se solicita: Indique el nivel de importancia de las siguientes actividades que realiza su empresa, evalúe el peso de los siguientes aspectos como origen para el desarrollo de nuevos proyectos, ¿qué porcentaje aproximado de los proyectos solicitados por clientes o por otras empresas del sector han requerido las siguientes acciones?, evalúe los siguientes aspectos que tienen que ver con el tipo de relación que han mantenido con sus clientes, ¿introdujo su empresa algún producto o servicio, nuevo o significativamente mejorado, durante el periodo de 2010 a 2013?, señale el por ciento de incremento

a sus ventas en 2013 atribuibles a los productos/servicios nuevos/ mejorados, evalúe el impacto de las innovaciones realizadas durante los últimos 5 años en su empresa.

- Calidad, en la que se solicita: ¿Cuenta la empresa con alguna certificación de calidad?, ¿se encuentra actualmente en algún proceso de certificación?, evalúe la importancia que cada una de las siguientes actividades ha tenido en su empresa para asegurar la calidad en sus productos / procesos.
- Interacciones con otras organizaciones de la localidad, en las que se solicita: ¿Qué importancia ha tenido para el desarrollo/incorporación de nuevas tecnologías en su empresa la cooperación con otras organizaciones?, ¿mantiene la empresa algún tipo de relación con Universidades o Centros Públicos de Investigación?, ¿en dónde están localizados los más importantes para su empresa?, evalúe los siguientes aspectos de sus relaciones con universidades / centros públicos de investigación, evalúe las siguientes afirmaciones como probables causas de esa ausencia de vinculación con el sector académico, ¿forman parte de una asociación?, evalúe la importancia que le atribuye a los siguientes apoyos de las dependencias de gobierno para su empresa (SeDeSu, Secretaría de Economía, Nafin, Bancomext, en relación con OTRAS EMPRESAS DEL SECTOR, evalúe la importancia actual.

- Evaluación del entorno y políticas públicas, en las que se solicita: Evalúe los programas o acciones específicas, en los distintos niveles de gobierno, abajo

mencionadas, ¿en qué medida son importantes los siguientes aspectos como supuestas ventajas asociadas a la localización de la empresa en la región?

Criterios Metodológicos

La investigación se realizó dentro de las empresas de desarrollo de software en Ciudad Juárez, Chihuahua durante los meses de octubre y noviembre de 2013.

Se contó con una base de datos de las empresas de TI que se tenían ubicadas en el año 2008 en todo el Estado proporcionada por Desarrollo Económico del Estado de Chihuahua, pero se llevó a cabo un filtrado de la misma para contactar sólo a las empresas desarrolladoras de software ubicadas en Ciudad Juárez y que aún sigan con sus mismas labores. De esta manera se planteó aplicar el instrumento de recolección de datos a estas empresas.

Es importante mencionar, que después de llevar a cabo la localización de las empresas se acudió a ellas para solicitar su participación en esta investigación por medio del llenado de la encuesta, pero no todas accedieron a participar por cuestiones de privacidad.

El propósito de la investigación es examinar un tema poco estudiado, del cual se tienen muchas dudas, es por eso que el alcance de la investigación será exploratorio. Se considera que la importancia de familiarizarse sobre el tema puede generar variables que permitan ser estudiadas en futuras investigaciones.

Dentro de esta investigación se llevó a cabo un censo para ubicar a las empresas desarrolladoras de software de la localidad y se utilizó un instrumento de recolección de datos que se aplicó a la entidad en el ambiente donde se dan las variables de estudio, en este caso, la empresa desarrolladora de software, por tal motivo se considera una investigación de campo o empírica.

El diseño de la investigación es no experimental, debido que no se va a intervenir sobre las variables, sino que solamente se observa cómo se comportan en la realidad y se registran las observaciones para un análisis posterior.

Se realizó el estudio a la empresas desarrolladora de software ubicada en Ciudad Juárez, Chih.

Las principales características del instrumento de recolección de datos son:

- Datos generales.
- Datos del encuestado.
- Características de la empresa.
- Estrategia de la empresa.
- Competencias laborales y profesionales.

- Actividades de aprendizaje en la empresa.
- Innovaciones.
- Calidad.

- Interacciones con otras organizaciones de la localidad.
- Evaluación del entorno y políticas públicas.

Análisis de los Resultados

Se identificaron 5 empresas en la localidad, de las cuales sólo tres aceptaron llenar la encuesta que se manejó como instrumento para la obtención de datos, pero al final del periodo brindado para responder dicha encuesta, sólo una empresa la regresó parcialmente contestada, a pesar de que se mantuvo contacto con todas por medio telefónico por parte de los encuestadores para ofrecer ayuda en el llenado.

Se llevó a cabo la recolección de los datos y se obtuvo la siguiente información que se muestra acerca de la empresa:

Competencias Laborales y Profesionales.

Respecto a las capacidades técnicas en la empresa:

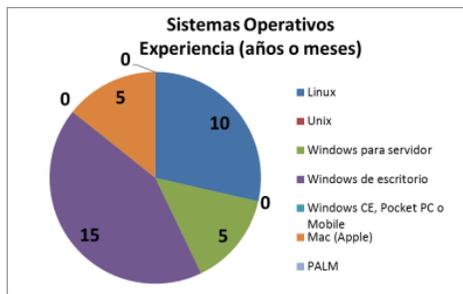


Figura 1. Capacidades Técnicas en Sistemas Operativos

La figura 1 muestra la cantidad de años que la empresa tiene realizando proyectos de sistemas operativos, así como el nombre de los mismos, en los que se mencionan 5 años en proyectos del sistema operativo Mac (Apple), 10 en Linux, 5 en Windows para servidor y 15 en Windows de escritorio.

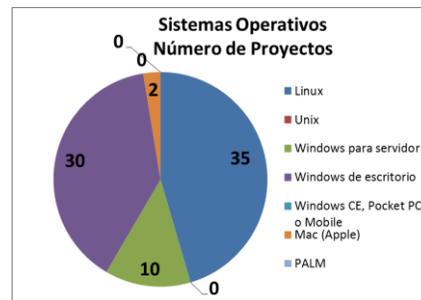


Figura 2. Proyectos realizados de Sistemas Operativos.

La figura 2 muestra la cantidad de proyectos realizados por la empresa en el área de los sistemas operativos, 35 de Linux, 2 de Mac (Apple), 10 de Windows para servidor y 30 de Windows de escritorio.

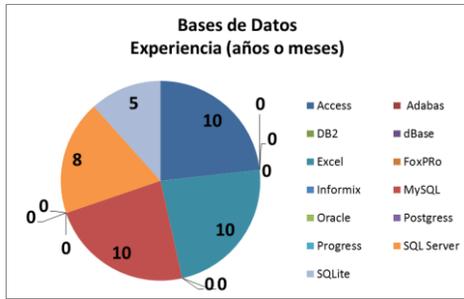


Figura 3. Capacidades Técnicas en Bases de Datos

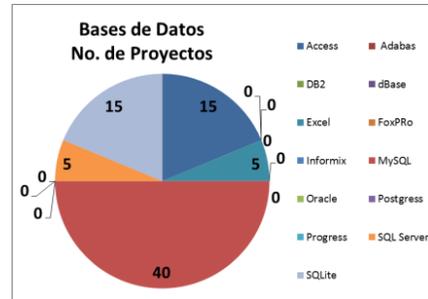


Figura 4. Proyectos realizados de Bases de Datos.

La figura 3 muestra la cantidad de años que la empresa tiene realizando proyectos de bases de datos, 5 de SQLite, 10 de Access, 10 de Excel, 10 de MySQL y 8 de SQL Server. La gráfica 4 muestra la

cantidad de proyectos realizados por la empresa en el área de las bases de datos, 15 en Access, 5 en Excel, 40 en MySQL, 5 en SQL Server y 15 en SQLite.



Figura 5. Proyectos realizados en Lenguajes de Programación.

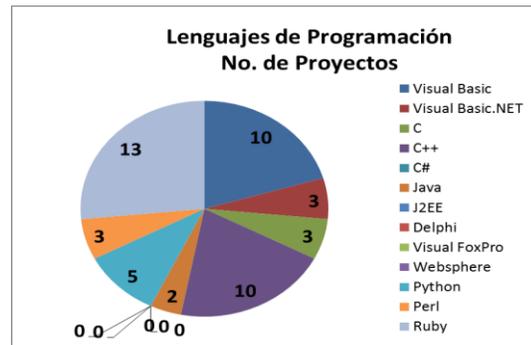


Figura 6. Proyectos realizados de Lenguajes de Programación.

La figura 5 muestra la cantidad de años que la empresa tiene realizando proyectos de lenguajes de programación, 10 de Visual Basic, 5 de Delphi, 10 de C, 10 de C++, 3 de Java, 3 de Python, 3 de Perl y 8 de Ruby.

La figura 6 muestra la cantidad de proyectos realizados por la empresa en el área de los lenguajes de programación, 10 en Visual Basic, 3 en Visual Basic .NET, 3 en C, 10 en C++, 2 en Java, 5 en Python, 3 en Perl y 13 en Ruby.

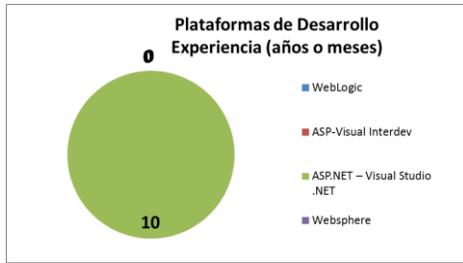


Figura 7. Capacidades Técnicas en Plataformas de Desarrollo.

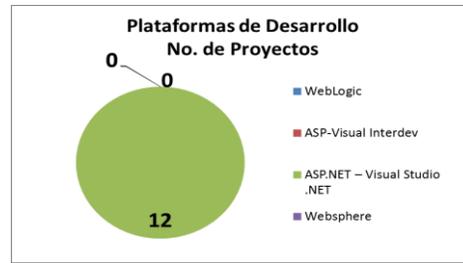


Figura 8. Proyectos realizados en Plataformas de Desarrollo.

La figura 7 muestra la cantidad de años que la empresa tiene realizando proyectos en diferentes plataformas de desarrollo, y solo utilizan ASP.NET – Visual Studio .NET. La figura 8 muestra la cantidad de proyectos realizados por la

empresa en las diferentes plataformas de desarrollo, y solo utilizan ASP.NET – Visual Studio .NET.

Respecto a las necesidades de capacitación de los empleados en las siguientes áreas:

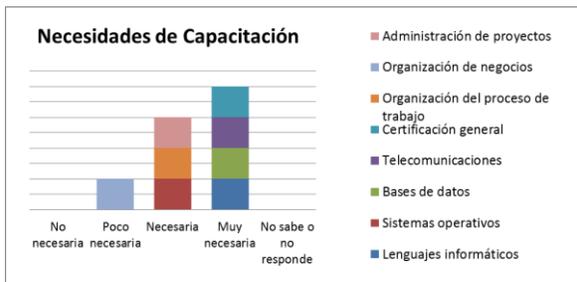


Figura 9. Necesidades de capacitación de la empresa.

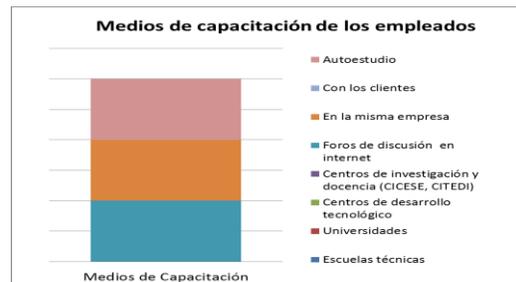


Figura 10. Medios de capacitación.

La figura 9 muestra las áreas donde los empleados de la empresa requieren capacitación constante para su óptimo desempeño, donde consideran que la capacitación en la organización de negocios es poco necesaria, en la administración de proyectos, la organización del proceso de trabajo y los sistemas operativos necesaria, y en la certificación general, las

telecomunicaciones, las bases de datos y los lenguajes informáticos muy necesaria. La figura 10 muestra los cuatro medios por los que la empresa actualiza a sus empleados en las áreas requeridas para los proyectos que se realizan, los cuales son: el autoestudio, en la misma empresa y en foros de discusión en internet.

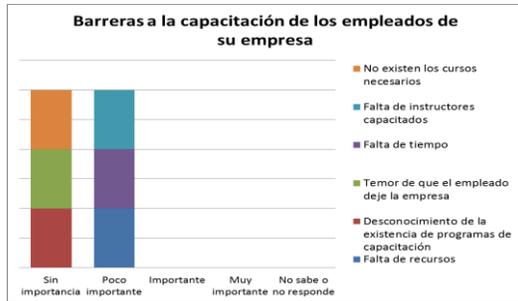


Figura 11. Barreras para la capacitación de los empleados.

La figura 11 muestra las barreras que existen en la empresa para llevar a cabo la capacitación de sus empleados, así como la importancia que tienen cada uno de ellos, en los cuales se menciona que la falta de recursos, el temor de que el empleado deje la empresa y el desconocimiento de la existencia de programas de capacitación no tienen importancia, y la falta de instructores capacitados, falta de tiempo y la falta de recursos son poco importantes.

La figura 12 muestra los diferentes aspectos supuestamente relacionados con el perfil de competencia de la mano de obra en la región a los cuales la empresa les da

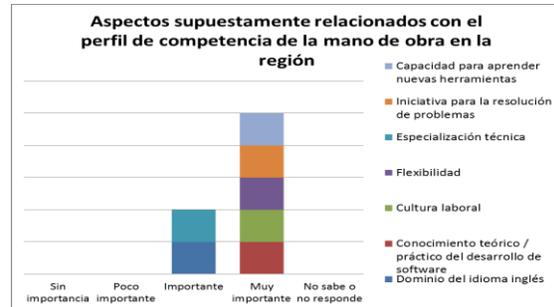


Figura 12. Perfil de competencia de la mano de obra de la región.

importancia para la formación de sus empleados, en los cuales menciona que la especialización técnica y el dominio del idioma inglés son importantes, y la capacidad para aprender nuevas herramientas, la iniciativa para la resolución de problemas, la flexibilidad, la cultura laboral y el conocimiento teórico/práctico del desarrollo de software son muy importantes.

Actividades de Aprendizaje en la Empresa

Respecto a las fuentes de información para hacer mejoras en los productos/servicios que ofrece la empresa:

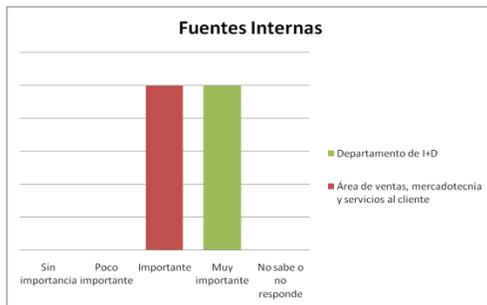


Figura 13. Fuentes Internas de Información.

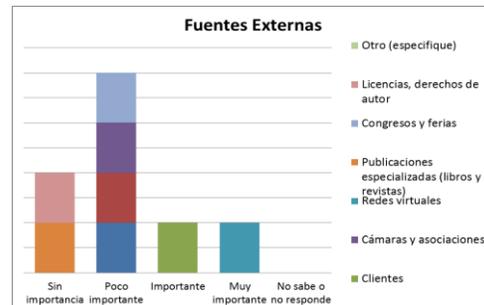


Figura 14. Fuentes Externas de Información.

La figura 13 muestra el grado de importancia de las diferentes áreas que la empresa como fuentes internas de información para llevar a cabo las mejoras en los productos y/o servicios que ésta ofrece, de las cuales el área de ventas, mercadotecnia y servicio al cliente son importantes, y el departamento de I+D se considera muy importante.

La figura 14 muestra el grado de importancia de las diferentes áreas que la empresa como fuentes externas de información para llevar a cabo las mejoras en los productos y/o servicios que ésta ofrece, de las cuales las licencias y derechos de autor y las publicaciones especializadas (libros y revistas) no tienen importancia, congresos y ferias, cámaras y asociaciones, competidores y consultorías son poco importantes, los clientes importantes y las redes virtuales muy importantes.

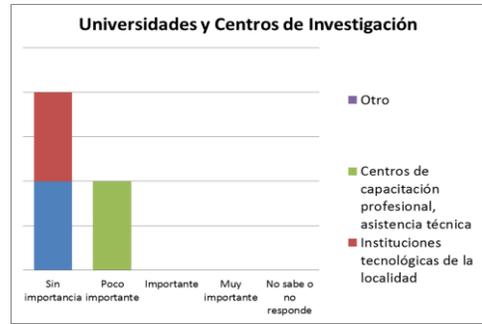


Figura 15. Universidades y Centros de Investigación.

La figura 15 muestra el grado de importancia que las universidades y los centros de investigación representan como fuentes de información para llevar a cabo las mejoras en los productos y/o servicios que ésta ofrece, donde se aprecia que las universidades y las instituciones tecnológicas de la localidad no tienen importancia, y los centros de capacitación profesional y la asistencia técnica son poco importantes.

Respecto a los procesos de capacitación y aprendizaje en el mejoramiento de las capacidades de la empresa:

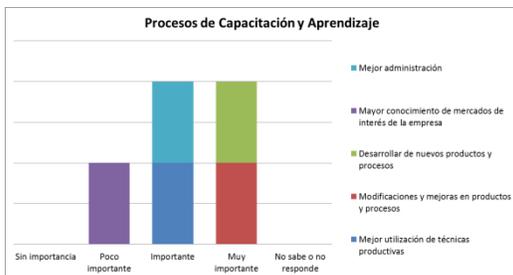


Figura 16. Procesos de capacitación y aprendizaje.

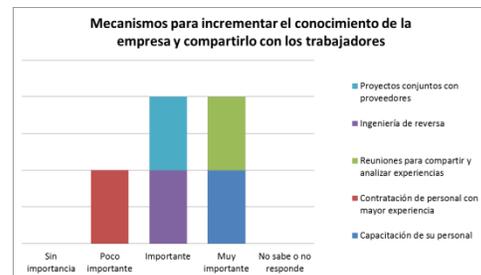


Figura 17. Mecanismos para incrementar el conocimiento de los trabajadores.

La gráfica 16 muestra el grado de importancia que la empresa le da a los procesos de capacitación y aprendizaje en el mejoramiento de las capacidades de la misma, donde el mayor conocimiento de mercados de interés de la empresa es poco importante, la mejor administración y la mejor utilización de técnicas productivas se considera importante y el desarrollar nuevos productos y procesos y las modificaciones y mejoras en productos y procesos son consideradas muy importantes.

La gráfica 17 muestra el grado de importancia que la empresa le da a los diferentes mecanismos mencionados en la encuesta para incrementar el conocimiento de la empresa y compartirlo con sus empleados, donde la contratación de personal con mayor experiencia es poco importante, los proyectos conjuntos con proveedores y la ingeniería de reversa son importantes y las reuniones para compartir y analizar experiencias y la capacitación del personal son consideradas muy importantes.

Conclusiones

En la actualidad, las empresas requieren de un software que les permita manejar sus operaciones y administrar a su personal. Incluso los pequeños negocios necesitan una forma de llevar la contabilidad y verificar su crecimiento, de ahí, se puede decir que el software es importante al ser parte de las actividades diarias de la mayoría de las organizaciones y las personas que las componen.

El objetivo de la investigación consistió en identificar las competencias laborales dentro de las empresas de desarrollo de software en Ciudad Juárez.

De las 5 empresas identificadas para la investigación, se logró recopilar información muy importante de una de ellas acerca de las actividades llevadas a cabo por la empresa en relación con el área de desarrollo de software, así como de las actividades de aprendizaje brindadas para la actualización de sus empleados y las competencias que éstos tienen para llevar a

cabo sus funciones dentro de la organización.

La empresa mencionada, a la cual agradecemos su participación en esta investigación, brindó información relevante que puede ser de gran ayuda para otras empresas que ya se encuentran dentro del mercado del desarrollo de software o pretenden incursionar en éste, proponiendo una base de los aspectos relacionados con proyectos que más se solicitan en la industria, las competencias necesarias de los empleados para llevar a cabo su función de desarrolladores, las necesidades de capacitación de los empleados y las actividades de aprendizaje que se requieren y se dan para su actualización.

Y para concluir, se exponen los resultados obtenidos por la encuesta por medio de las diferentes gráficas que muestran las competencias laborales y profesionales de los empleados de la empresa y el grado de importancia que ésta le da a las actividades de aprendizaje que se

da dentro de la empresa para mantener actualizado al personal de la misma.

Recomendaciones

Las empresas que desarrollan software deben adaptarse con mayor rapidez a un mundo cada vez más globalizado, ya que esto implica la internacionalización de sus productos, los cuales deben ser creados con la calidad que un mercado así exige. Es por ello que a medida que el software se vuelve más complejo y juega un papel más emergente en aplicaciones críticas, los desarrolladores deben respetar los consejos de ingeniería de software con el fin de garantizar que una aplicación sea fiable, segura y tolerante a fallos.

Otro punto muy importante que deben tomar en cuenta las empresas desarrolladoras de software es el de analizar cuidadosamente los mercados potenciales, su tamaño, costos y beneficios, para llevar a cabo una localización de mercado que será seleccionado para la distribución de sus productos y/o servicios.

Al inicio de esta investigación se planteó llevar a cabo un censo para identificar las empresas que desarrollan software en la localidad, el cual se cumplió

con éxito. Lamentablemente es mucha la información que se requiere para su estudio por lo que el instrumento para la obtención de información es demasiado extenso, cosa que influyó en la respuesta de las empresas al momento de llevar a cabo el llenado de la encuesta. Una recomendación para investigaciones futuras, sería el elaborar un instrumento más compacto que motive al encuestado a llenarlo de manera más simple, posiblemente en línea, de esta manera se considera que se puede obtener mejor respuesta por parte de las organizaciones.

Otro factor que se considera que influyó en la respuesta de las empresas de desarrollo de software en Ciudad Juárez, fue que al igual que muchas otras empresas en los diferentes ramos de la industria, se encuentran en una etapa difícil de desarrollo debido a la ola de violencia e inseguridad que se vive en esta y muchas otras ciudades del país, lo que genera miedo al momento de tener que brindar información sobre sus funciones y principales características generales, por lo que se recomienda que se continúe indagando cada vez más en este tema por medio de instituciones que brinden confianza a las empresas, de manera que las organizaciones se sientan seguras para proporcionar sus datos.

Referencias

CICESE - Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (2013). Introducción. Recuperado el 15 de noviembre de 2013, de <http://www.cicese.edu.mx/int/index.php?mod=acd&op=intro>

CITEDI – Centro de Investigación y Desarrollo de Tecnología Digital (Junio de 2013). Recuperado el 15 de noviembre de 2013, de <https://www.facebook.com/pages/Citedi-IPN-Oficial/189921207832704>

COMERCIO México (2013). ¿Qué es el Outsourcing?. Recuperado el 30 de octubre de 2013,

de
<http://www.comercomexico.com/notas/outsourcing.html>

CRISTIÁ, M. (Noviembre 2009). Introducción al Testing de Software. Recuperado el 14 de noviembre de 2013, de <http://www.fceia.unr.edu.ar/ingsoft/testing-intro-a.pdf>

FUNDACIÓN Universitaria San Martín - Facultad Universidad Abierta y a Distancia(2012). ¿Qué es hardware?. Recuperado el 19 de octubre de 2013, de <http://www.slideshare.net/FlorenaVJ/ques-es-hardware-14374082>

HUALDE, A., Gomiz R. (Febrero de 2007). PYME, Software en la Frontera Norte de México.

IDC (International Data Corporation) (2013), IDC Releases. Recuperado el 12 de octubre de 2013, de <http://mx.idclatin.com/releases/news.aspx?id=1463>

LEVIN Institute The - The State University of New York (2013). ¿Qué es la globalización?. Recuperado el 12 de octubre de 2013, de <http://www.globalization101.org/es/que-es-la-globalizacion>

NAFINSA – Nacional Financiera (2012). NAFINSA. Recuperado el 14 de noviembre de 2013, de <http://www.directoriopemex.com/articulos/2012/nafinsa.pdf>

NAUR, P., Randell B. (1969). Software Engineering: A Report on a Conference Sponsored by the NATO Science.

PRESSMAN, R. (1997).Ingeniería del Software: Un enfoque práctico, McGraw Hill.

PROGRAMA PYME con el apoyo de la Secretaría de Economía (2007). ¿Qué es un agrupamiento empresarial (cluster)?. Recuperado el 14 de noviembre de 2013, de <http://www.contactopyme.gob.mx/agrupamientos/que.html>

PRO México – Secretaría de Economía (Septiembre de 2013). PyMES, eslabón fundamental para el crecimiento en México. Recuperado el 14 de noviembre de 2013, de <http://www.promexico.gob.mx/negocios-internacionales/pymes-eslabon-fundamental-para-el-crecimiento-en-mexico.html>

RUIZ D., C., M. Piore & A. Schrank. (2005), Revista de Comercio Exterior, Los retos para el desarrollo de la industria del software. Recuperado el 15 de noviembre de 2013, de <http://revistas.bancomext.gob.mx/rce/magazines/87/1/Ruiz-Schrank.pdf>

SANTIAGO, O. (2010). Historia y Tipos de Software. Recuperado el 18 de octubre de 2013, de <http://es.scribd.com/doc/26618289/Historia-y-Tipos-de-Software>

SECRETARÍA de Economía (2013). PROSOFT 2.0. Recuperado el 13 de noviembre de 2013, de <http://www.prosoft.economia.gob.mx/acercade/>

SEFOE – Secretaría de Fomento Económico (2013). Programa para el Desarrollo de la Industria del Software. Recuperado el 13 de noviembre de 2013, de <http://www.sefoe.yucatan.gob.mx/esp/servicios/prosoft.php>.

Control de un convertidor CD-CD tipo *buck* por medio del microcontrolador ATMEGA328

Irving Eduardo Vargas Morales¹, Jorge Arturo Pérez Venzor¹, Juan de Dios Cota Ruiz¹,
Manuel Iván Castellanos García¹, Oscar Nuñez Ortega¹, Jaime Romero González¹,
Adriana Cecilia González Saucedo¹

¹Universidad Autónoma de Ciudad Juárez.

Resumen

En el siguiente artículo se muestra la implementación de un convertidor de CD-CD tipo buck utilizando el microcontrolador ATmega328. Se presenta el análisis matemático del convertidor de voltaje con el cual se encontraron las características propias para ejercer una técnica de control apropiada. El análisis matemático para el controlador está basado en el primer método de Ziegler-Nichols. Este método proporciona los parámetros del controlador de forma experimental de una manera comprensible, con la finalidad de determinar los componentes del sistema que se usarán. El control del convertidor se realiza por medio del microcontrolador ATmega328, programado con el lenguaje C. Para comprobar el funcionamiento del control se realiza una simulación en el software MATLAB, el cual ayuda a depurar el circuito antes de su implementación. Finalmente se realiza la integración del programa y el circuito electrónico. La medición obtenida tanto en simulación como en físico se compara y se observa la diferencia entre ambas.

Palabras clave: Convertidor de voltaje, atmel, microcontroladores, convertidor buck, control digital..

Introducción

Los convertidores de potencia son dispositivos que nos ayudan en la transformación de la energía eléctrica, que se toma de la red, en otro tipo de energía eléctrica requerida para una tarea especial. Los convertidores son de amplia utilización, gracias a ellos se puede transformar la energía eléctrica con eficiencia, seguridad y bajo costo. Muchas cargas necesitan de este tipo de convertidores tales como soldadores eléctricos, equipos de telecomunicaciones y aparatos biomédicos, entre otros. Los

convertidores de potencia deben proporcionar un determinado nivel de voltaje, bien sea en tareas de regulación o de seguimiento, y deben ser capaces de rechazar cambios en la carga. Se estima que alrededor del 90% de la energía eléctrica se procesa a través de convertidores de potencia antes de su uso final. Una de las cualidades en estos dispositivos es su eficiencia en el desempeño, la cual puede ser mejorada mediante el uso de dispositivos de conmutación, correctamente implementados,

que permitan generar la salida deseada con un bajo consumo de potencia.

El esquema simplificado del convertidor reductor (también llamado convertidor buck o step down), usado en los experimentos, se muestra en la figura 1. Con esta configuración se puede hacer regulación de voltaje CD positiva. En general esta carga podría ser del tipo resistiva, no lineal, etc. Sin embargo, las técnicas propuestas han sido probadas para cargas resistivas.

El modelo matemático del convertidor buck se realizará de modo de conducción continua (MCC) en donde la corriente del inductor y el voltaje del capacitor adquieren un valor constante y de un valor promediado. En la ecuación 1, se puede observar las condiciones del MCC del convertidor reductor, el cual está ligado con la carga, la frecuencia de conmutación y el ciclo de trabajo al cual opera.

$$\frac{2Lf}{R} > (1 - U) \quad (1)$$

La técnica más utilizada para obtener el modelo matemático del convertidor buck se basa en espacio de estados. Dichos estados están dados por el interruptor Q cuyas fases son encendido y apagado. Se toman dos estados del sistema, los cuales están dados por la corriente del inductor (i_L) y el voltaje del capacitor (V_c). En la figura 2 se pueden observar los modos de operación del convertidor reductor.

El modelo del convertidor se puede dar por las ecuaciones 2 y 3. La variable de control (μ) define el estado del interruptor (0 ó 1) Q.

$$\frac{di_L}{dt} = -\frac{V_o}{L} + \frac{Vin}{L}\mu \quad (2)$$

$$\frac{dV_o}{dt} = -\frac{V_o}{RC} + \frac{i_L}{C} \quad (3)$$

Este modelo del sistema es promediado y, en las ecuaciones (4, 5, 6) se encuentran con estados definidos.

$$x_1 = \frac{1}{T} \int_t^{t+T} i_L(\tau) d\tau \quad (4)$$

$$x_2 = \frac{1}{T} \int_t^{t+T} V_o(\tau) d\tau \quad (5)$$

$$x_3 = \frac{1}{T} \int_t^{t+T} \mu(\tau) d\tau \quad (6)$$

En las ecuaciones anteriores, al integrar la variable de control del interruptor sobre el periodo de conmutación T, la nueva variable de control u se convierte en el ciclo de trabajo. El modelo promediado del convertidor incluyendo las variaciones del voltaje de alimentación está dadas por las ecuaciones 7 y 8.

$$\frac{dx_1}{dt} = -\frac{x_2}{L} + \frac{Vin}{L}u + \frac{\widehat{Vin}}{L}u \quad (7)$$

$$\frac{dx_2}{dt} = \frac{x_1}{C} - \frac{x_2}{RC} \quad (8)$$

Los valores en CD de las variables de estado pueden tenerse a partir del modelo promediado. Se toma la derivada igual a cero y se despeja en cada caso. El valor promedio en i_L es igual a $\frac{V_o}{R}$ mientras que el valor en el voltaje V_o está dado por $U * Vin$.

Finalmente, la aproximación lineal más cercana está dado por un modelo lineal en espacio de estados como se puede observar en las ecuaciones 9 y 10.

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \end{bmatrix} &= \\ &= \begin{bmatrix} 0 & -\frac{1}{L} \\ \frac{1}{C} & -\frac{1}{RC} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} Vin/L \\ 0 \end{bmatrix} \hat{u} + \\ &+ \begin{bmatrix} U/L \\ 0 \end{bmatrix} \widehat{vin} \end{aligned} \quad (9)$$

$$y = [0 \quad 1] \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} \quad (10)$$

Dado esto, se pueden obtener 2 funciones de transferencia (11 y 12) con

respecto a las variaciones en el voltaje de salida \widehat{v}_o :

$$G_1(s) = \frac{\widehat{v}_o(s)}{\widehat{u}(s)} = \frac{Vo}{U} * \frac{\frac{1}{LC}}{s^2 + \frac{1}{RC}s + \frac{1}{LC}} \quad (11)$$

$$G_2(s) = \frac{\widehat{v}_o(s)}{\widehat{vin}(s)} = U * \frac{\frac{1}{LC}}{s^2 + \frac{1}{RC}s + \frac{1}{LC}} \quad (12)$$

Estas ecuaciones representan el efecto de las variaciones del ciclo de trabajo con respecto al voltaje de salida ($G_1(s)$) y las variaciones del voltaje de entrada que, normalmente están dadas como perturbaciones con respecto al voltaje de salida ($G_2(s)$) (Campos, s.f.)

Métodos

Problemática

Las fuentes convencionales (lineales) suelen ser muy ineficientes. Esto se debe al componente de regulación que siempre se encuentra en la zona activa haciendo que el consumo de potencia siempre este presente. Además, el tamaño y el costo de las fuentes lineales suelen ser muy grandes debido a los filtros y transformadores que utiliza. Estas fuentes no resultan ser muy prácticas y su voltaje de salida tiende a ser menor de lo esperado, por lo que no podrán aprovechar su eficiencia al máximo.

Existen otros tipos de fuentes de alimentación como las fuentes conmutadas las cuales pueden mejorar la eficiencia, el tamaño y el costo utilizando distintos métodos de control hacia el componente de regulación.

Convertidor Buck

En un regulador reductor, el voltaje promedio de salida V_a , es menor que el voltaje de entrada V_s . En la figura 1 se muestra el diagrama del circuito de un regulador reductor. La operación del circuito se puede dividir en dos modos. El modo 1 empieza cuando el transistor Q1 en $t=0$. La corriente de entrada, que se eleva, fluye a través del inductor L, del capacitor de filtro C y de la resistencia de carga R. El modo 2 empieza cuando se desconecta el transistor Q1 en $t=t_1$. El diodo de marcha libre D_m conduce debido a la energía almacenada en el inductor y la corriente del inductor y la corriente del inductor continúa fluyendo a través de L, C, la carga y el diodo D_m . La corriente del inductor se abate hasta que en el siguiente ciclo del transistor Q1 se vuelve

a activar. Los circuitos equivalentes correspondientes a los modos de operación

se muestran en la figura 2.

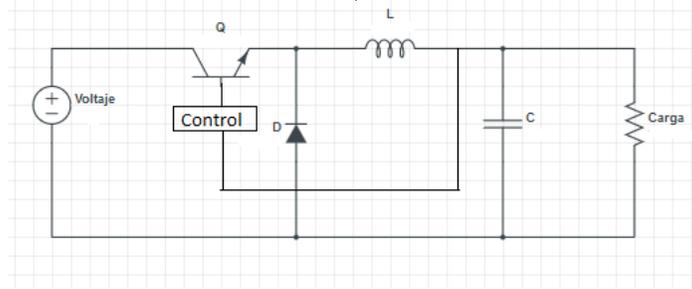


Figura 1. Circuito básico de un regulador reductor

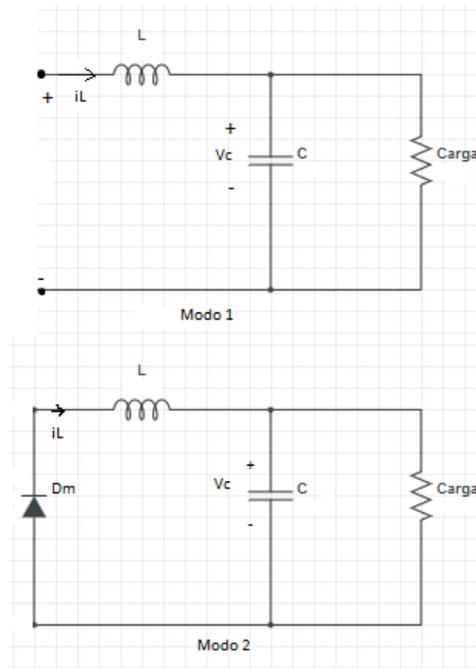


Figura 2. Circuito equivalente en modo de operación

El regulador reductor requiere de un solo transistor, es sencillo y tiene una alta eficiencia, mayor del 90%. La corriente de entrada es discontinua y por lo general requiere de un filtro suavizante de entrada. Proporciona una polaridad de voltaje de salida y corriente unidireccional de salida. En caso de posible corto circuito a través de la trayectoria del diodo, requiere de un

circuito de protección (Rashid, González, & Fernández, 2004).

Microcontrolador ATmega328.

El ATmega328 es un microcontrolador creado por Atmel y pertenece a la serie megaAVR. El ATmega328 es un circuito integrado de alto rendimiento que está basado en un microcontrolador RISC,

combinando 32 KB ISP flash, 1 KB de memoria EEPROM, 2 KB de SRAM, 23 líneas de E/S de propósito general, 32 registros de proceso general, tres temporizadores/contadores con modo de comparación, 6 canales de PWM, interrupciones internas y externas, programador de modo USART, una interface serial orientada a byte de 2 cables (I2C), interface serial SPI, 6-canales 10-bit conversor análogo-digital (ADC),

temporizador watchdog programable con oscilador interno, y seis modos de ahorro de energía seleccionables por software. El dispositivo opera entre 1.8 y 5.5 voltios y cuenta con una velocidad entre 0-20 MHz (Atmel Corporation, s.f.).

Modelado en MATLAB-Simulink.

En la figura 3 se observa el diagrama de bloques realizado en lazo abierto (Mahesh Gowda, Kiran, & Parthasarthy, 2014).

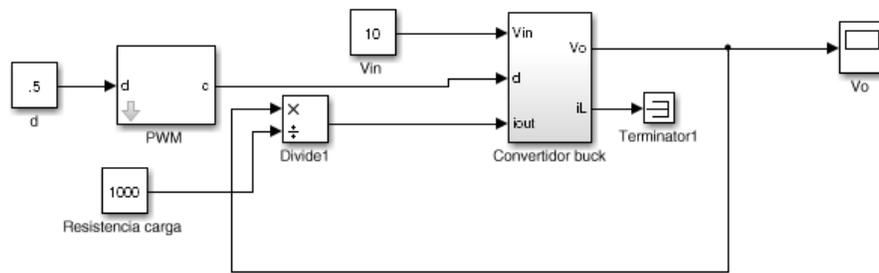


Figura 3. Vista general del modelo del convertidor buck a lazo abierto

En la figura 4 se observa el bloque del PWM que se tenía en la vista general, en él se hace una comparación entre el ciclo de

trabajo (d) dado en decimales contra la señal de diente de sierra para obtener una onda cuadrática.

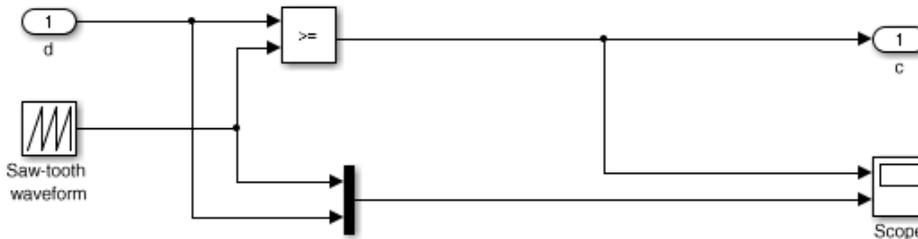


Figura 4. Bloque del PWM

En la figura 5 se observa el bloque del convertidor buck, que se toman en

consideración las resistencias que se tienen en los inductores y en los capacitores.

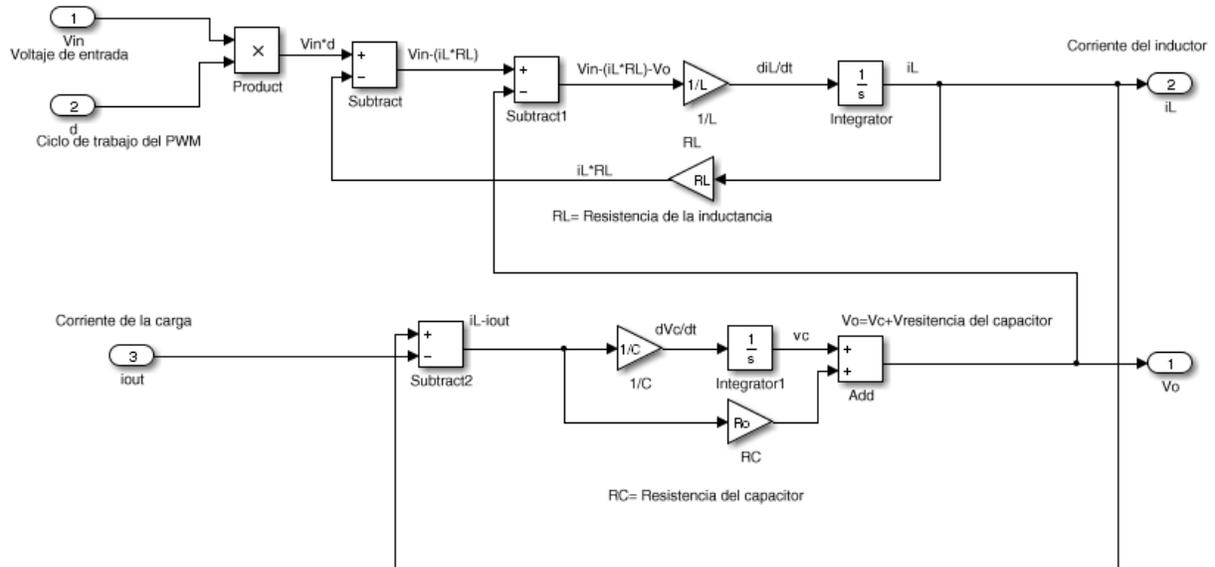


Figura 5. Bloque del convertidor buck

Los valores que se utilizan para obtener una respuesta en lazo abierto fueron los siguientes: $C= 100 \mu\text{F}$, $L= 4.62 \text{ H}$, $R_L= 220 \Omega$, $R_C=10 \Omega$, $f= 15 \text{ KHz}$, ciclo de trabajo = 50% y una resistencia de carga de 1000Ω . En la figura 6 se puede observar la

curva que se obtuvo del modelo hecho en simulink.

Con respecto a la curva, se logró estabilizar en un tiempo de 0.25 segundos llegando aproximadamente a 4.2 V.

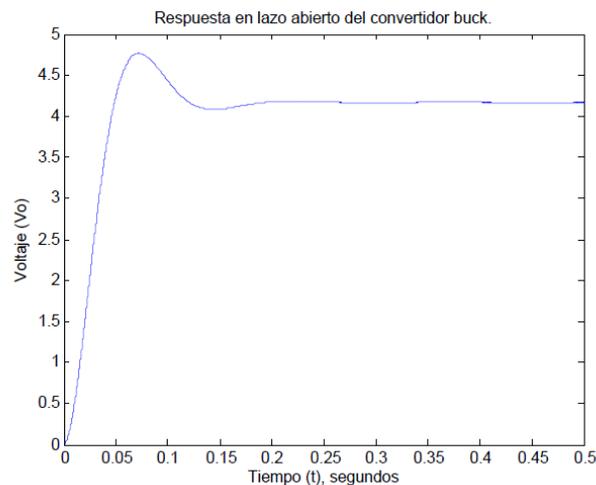


Figura 6. Respuesta en lazo abierto del convertidor buck

Sintonización del controlador

Obteniendo la respuesta en lazo abierto (figura 6) se procedió a utilizar el primer método de Ziegler-Nichols en donde se obtienen L y T al trazar una recta y obtener el punto de inflexión para calcular los valores del controlador PI que se utilizó para mantener un voltaje deseado a la salida del sistema.

En la figura 7 se trazaron las líneas para calcular los valores de L y T para un controlador PI.

Los valores que se obtienen son los siguientes: $L= 0.01132$ y $T= 0.04569$.

Se aplica las fórmulas de la tabla 1.1 y se obtienen los valores de K_p y T_i que equivalen a 3.632597173 y 0.037733333 respectivamente. Los parámetros obtenidos fueron utilizados en simulaciones posteriores y en la implementación con el microcontrolador.

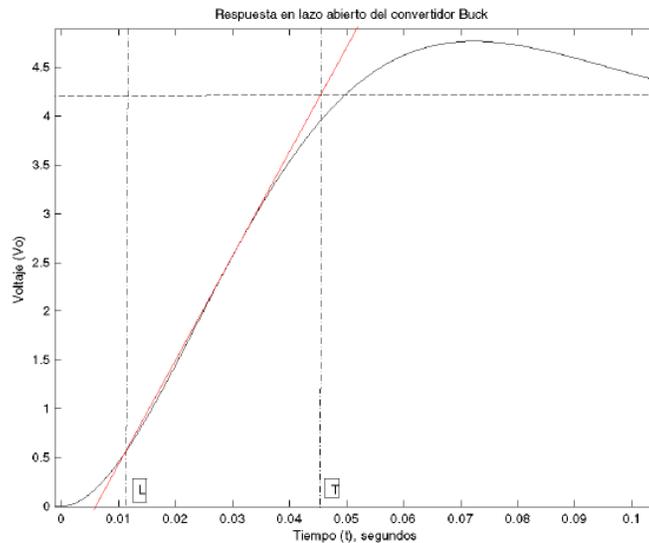


Figura 7. Respuesta en lazo abierto del convertidor buck aplicando el primer método de Ziegler-Nichols

Circuito del convertidor buck

Para llevar a cabo la implementación, se requiere que el hardware este acondicionado para llevar a cabo el control.

El ADC del microcontrolador solo puede leer valores entre 0 y 5V por lo que se tiene que reducir el voltaje de salida de la carga. También requiere un MOSFET

adicional para conmutar el PWM generado desde el microcontrolador.

En la figura 8 se puede observar el circuito básico del ATmega328 en donde solo se utilizan dos líneas para hacer el control. En el pin 15, se encuentra el OC1A que servirá como salida del PWM. En el pin

23, se encuentra el ADC0 que servirá como

nuestro convertor de datos.

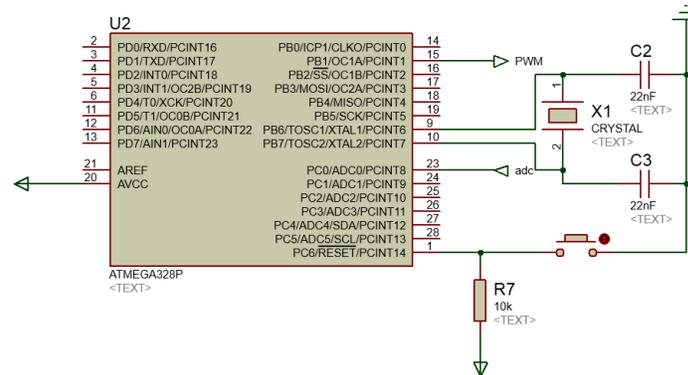


Figura 8. Conexión básica del ATmega328

En la figura 9 se puede observar el circuito del convertidor buck en el cual se hace uso de los valores propuestos con

anterioridad y, añadiendo un MOSFET adicional para efectuar una rápida conmutación en el circuito.

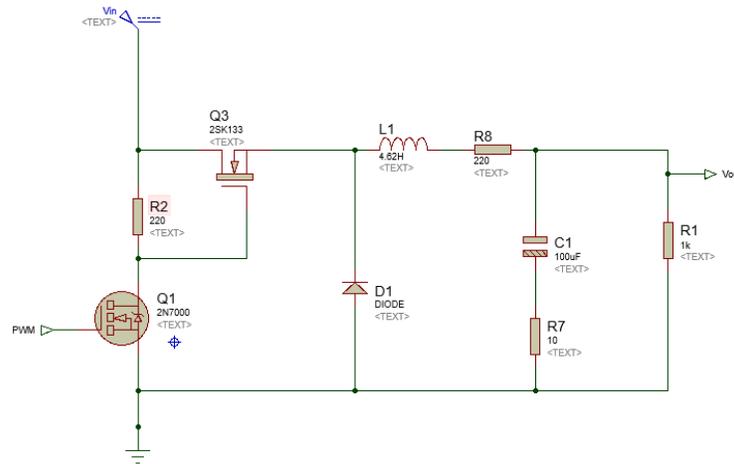


Figura 9. Conexión del convertidor buck

Para acondicionar el ADC, se necesitó reducir el voltaje de salida a la mitad. Por medio de los amplificadores operacionales, se redujo a la mitad el voltaje al cual le llega al convertor de datos que se

encarga de hacer la retroalimentación para hacer un control en el voltaje de la carga. En la figura 10 se puede observar dicho circuito.

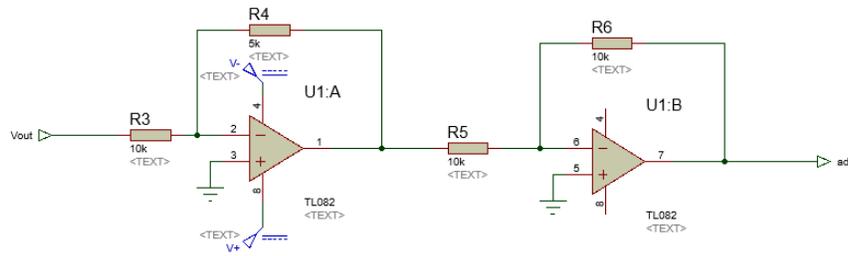


Figura 10. Acondicionamiento para la entrada del ADC

Posteriormente, el circuito fue controlado por medio del microcontrolador programado en lenguaje C. Cabe destacar que se utilizó un registro del temporizador 1, el cual consta de 16 bits lo que permite

hacer cuentas más grandes y obtener una mejor precisión. Además, se utilizó los mismos parámetros del controlador previamente propuesto con un tiempo de muestreo de 10 ms.

Resultados

En la simulación hecha con solo bloques de Simulink, la cual propusieron Gowda et al. (2014); se agregó una retroalimentación para controlar el voltaje de salida a un valor

deseado. En la figura 11 se muestra el bloque general retroalimentado con un controlador proporcional.

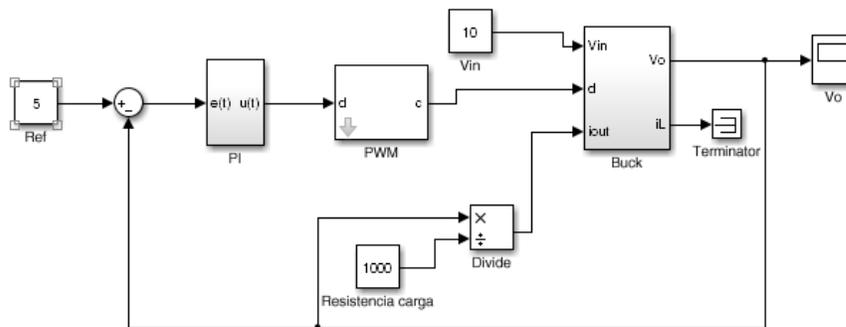


Figura 11. Control del convertidor buck utilizando bloques de simulink

En el bloque PI del controlador de la figura 12, los valores para K_p y K_i fueron obtenidos por el primer método de Ziegler-

Nichols. Dichos resultados se implementaron y posteriormente se agregaron a la simulación.

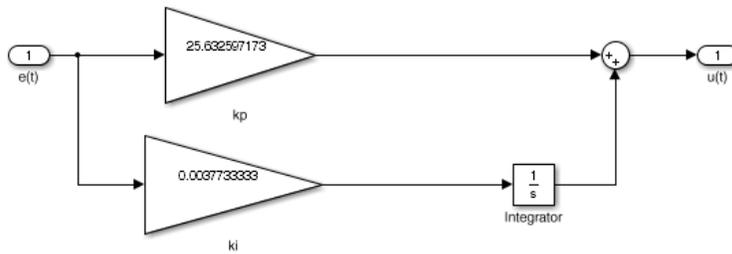


Figura 12. Diagrama del convertidor PI

La respuesta que se obtuvo al final de la simulación, con una carga de 1000Ω y un voltaje de referencia de $5V$, se muestra en la figura 13



Figura 13. Respuesta a lazo cerrado del convertidor buck

Resultados obtenidos en el ATmega328

En la figura 14 se muestran los resultados obtenidos en el osciloscopio utilizando los

mismos valores de las ganancias obtenidas anteriormente. El sistema se llegó a estabilizar en 1.45 segundos a $5.17 V$.

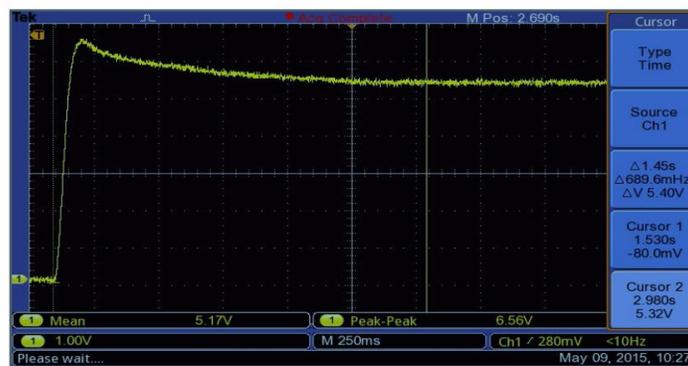


Figura 14. Respuesta a lazo cerrado del controlador buck utilizando el ATmega328

La ganancia propuesta hace que el sistema tarde en estabilizarse en un tiempo muy largo. Sin embargo, se aumentó la ganancia a 20.7 para lograr una respuesta rápida. Se hicieron varias pruebas en las cuales se aumentaba la ganancia a más de 30 pero hacia que el sistema oscilará con un margen de error del 20% logrando

estabilizarse en cuestión de minutos. Se optó por dejar la ganancia a 20.7 para evitar que el sistema no actuase lento. En la figura 15 se puede observar la respuesta que se obtuvo al aumentar la ganancia, cabe destacar que llega a estabilizar alrededor de 400ms llegando a medir un voltaje promedio de 4.76.

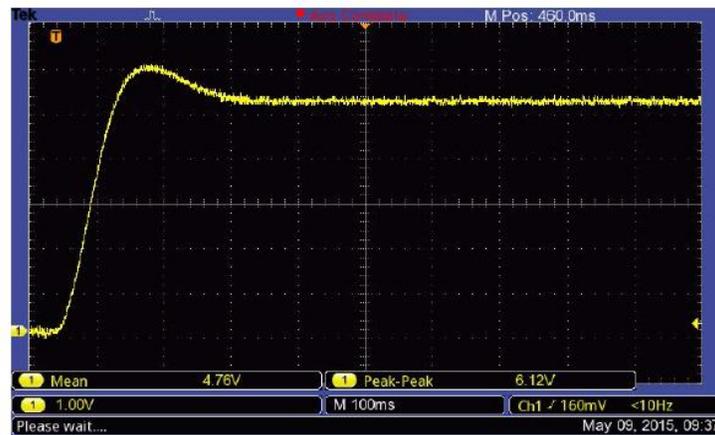


Figura 15. Respuesta a lazo cerrado del controlador buck con el ATmega328 aumentando la ganancia

Conclusiones

El sistema se desarrolla utilizando el microcontrolador ATmega328 con el cual se tiene una exactitud aceptable debido a la resolución de 10 bits tanto del ADC como del PWM y técnica de control empleada. Una de las ventajas de este microcontrolador fue el uso del lenguaje C el cual permitió crear el código del controlador PI de manera sencilla y eficaz. Además, debido a su alta integración, permitió adquirir la señal de voltaje a controlar, procesarla y enviarla al dispositivo de control por medio de una salida modulada en ancho de pulso.

El microcontrolador reguló voltajes entre 1 y 6V con una carga de 1K Ω en un

tiempo aproximado de 400ms. La precisión que marca el voltaje de salida está en un rango de $\pm 0.05V$. Esto se debe a que el circuito de acondicionamiento, que se mostró en la figura 1.14, provocó un pequeño ruido al reducir el voltaje de salida para acoplarlo con el ADC.

Con respecto a las discrepancias en los resultados de las simulaciones (figura 18 y figura 19), se debe a que no se consideraron factores como: frecuencia máxima a la cual operan los componentes, resistencias parásitas, método por el cual se simuló, entre otros. Además, se produjeron algunos sobreimpulsos y no llegó al voltaje

de referencia deseado, es decir, presentó un error de estado estable aproximado de 0.2V.

El proyecto se puede mejorar con un microcontrolador más veloz, un PWM que trabaje frecuencias más altas y un circuito de

acondicionamiento más preciso y un filtro más selectivo. Además, si se controlara la retroalimentación por sensado de corriente y voltaje, se obtendría una mejor respuesta en la salida del sistema.

Referencias

Atmel Corporation. (s.f.). Atmel 8-bit Microcontroller with 4/8/16/32KBytes In-System Programmable Flash, Atmel Corporation, San José, CA.

Campos, D. U. (s.f.). Experimentos en teoría de control: convertidores CD-CD, Facultad de Ciencias (UASLP).

Mahesh Gowda, N. M., Kiran, Y., & Parthasarthy, D. S. (2014). Modelling of Buck DC-

DC Converter Using Simulink. *International Journal of Innovative Research in Science Engineering and Technology*, 3(7), 14965-14975.

Rashid, M. H., González, M. H. R. V., & Fernández, P. A. S. (2004). *Electrónica de potencia: circuitos, dispositivos y aplicaciones*. Pearson Educación.

Evaluación de medicina en México

José Jair Guerrero Ávila¹, Jaime Romero González¹, Juan Díaz Rosales¹, Beatriz Díaz Torres¹,
Rodrigo Ríos Rodríguez¹, Gina Isabel Zesati Pereyra¹

¹Universidad Autónoma de Ciudad Juárez

Resumen

La evaluación médica en México es un término empleado para hacer referencia a la forma en que es evaluado el dominio de los conocimientos médicos y su aplicación frente a un examen. En la literatura mexicana contamos con seis estudios académicos realizados por cuatro universidades que toman en cuenta al Examen General de Egreso de la Licenciatura en Medicina General (EGEL-MG) y el Examen Nacional de Aspirantes a residencias Médicas (ENARM). Estos estudios coinciden en relacionar el conocimiento médico adquirido durante el periodo universitario y sus factores sociodemográficos evaluados frente a estas dos evaluaciones Nacionales. En el presente estudio se establecen los factores de mayor impacto sociodemográficos que intervienen en el rendimiento académico de los alumnos de Medicina a nivel Nacional y de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez (UACJ) frente al EGEL-MG y el ENARM.

Palabras clave: Evaluación médica, medicina, residencias médicas, EGEL, ENARM.

Introducción

La Universidad Autónoma de Ciudad Juárez (UACJ) y su programa de médico cirujano del Instituto de Ciencias Biomédicas (ICB), considera fundamental observar el desarrollo profesional de sus alumnos en el dominio de sus conocimientos médicos y profesionales así como su competitividad al egreso de la licenciatura de médico cirujano.

Actualmente no existe una metodología que permita predecir con éxito si el egresado de medicina obtendrá un buen rendimiento académico en el Examen General al Egreso de la Licenciatura en Medicina General (EGEL-MG) y en el

Examen Nacional de Aspirantes a Residencias Médicas (ENARM), por lo que se realiza una investigación académica de la información documental realizada hasta ahora a nivel nacional.

El examen EGEL-MG evalúa el rendimiento académico del sustentante con respecto a sus habilidades, valores y conocimientos necesarios al egreso de la licenciatura de medicina general determinando el dominio que posee respecto a las áreas de conocimiento al término de su formación universitaria indispensable para su desempeño laboral y profesional (Centro

Nacional para de Evaluación para la Educación Superior A.C., 2015). Por otro lado, el ENARM es un examen de selección más que un índice de evaluación de conocimientos médicos, pero esta evaluación define si un médico general puede o no estudiar una especialidad o subespecialidad médica.

Mediante esta comparación evaluativa externa a la universidad se

analizan los factores académicos y sociodemográficos de los egresados de la escuela de Medicina a nivel nacional y de la UACJ en el EGEL-MG y su relación con el resultado del ENARM.

La revisión pretende que estas dos evaluaciones médicas a nivel nacional puedan relacionarse para predecir la competitividad y el resultado académico en el ENARM.

Evaluación médica e investigación en México

La complejidad de la evaluación de conocimientos se reconoce desde el punto de vista del dominio de conocimientos adquiridos o aplicados. En el campo de la medicina, hay pocos estudios en la literatura mexicana acerca de la identificación de una relación entre el rendimiento adquirido y el dominio de conocimientos médicos adquiridos evaluados mediante un test. En México, la evaluación en medicina más representativa es el EGEL-MG y el ENARM.

Actualmente se cuenta con seis estudios en este campo médico y educativo.

El primero de ellos es el realizado por la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)

Este estudio fue realizado en el 2004, titulado “Desempeño en el examen nacional de ingreso a residencias médicas. Facultad de Medicina, UNAM”.

Se realizó el seguimiento a los alumnos de las generaciones 1994 a 1996 en relación con su desempeño en el Examen

Nacional de Aspirantes a Residencias Médicas.

Posteriormente, se evaluó el desempeño en el ENARM XXIII a nivel nacional (Grupo 1). Se comparó este grupo 1 con el desempeño de la Facultad de medicina de la UNAM (Grupo 2) y a su vez también se comparó con los alumnos que pertenecían al plan único (Grupo 3).

Por otro lado, también se analizó el desempeño en el ENARM XXIII al XXV de la Facultad de Medicina. Se dividieron en tres grupos según su rendimiento académico:

- a. Regulares
- b. Irregulares
- c. Núcleo de Calidad Educativa (NUCE).

Los resultados obtenidos indicaron que el grupo NUCE tenía 8 veces más probabilidad de ser aceptados y seleccionados en el ENARM que los del grupo de regulares.

Así también, se encontró que el grupo regular tiene 5 veces más probabilidades de ser seleccionados que los del grupo irregular (Acosta-Arreguín, 2004).

El segundo estudio realizado fue en la Universidad la Salle (ULSA) en el año 2005, con el nombre “Desempeño de los egresados de la ULSA en el ENARM (2001-2003)”.

En este estudio se analizaron los factores académicos que determinaron el resultado obtenido por sus egresados de la licenciatura de médico cirujano en el ENARM.

Se estudiaron los factores escolares con mayor valor predictivo positivo y negativo en el resultado del ENARM.

Se incluyeron 590 egresados. Se analizó el perfil académico y su rendimiento académico visto en el promedio de salida. Se analizó igualmente el resultado del Examen General de Evaluación de la Licenciatura en Medicina General (EGEL-MG) realizado por el Consejo Nacional de Evaluación (CENEVAL).

Sus resultados fueron que el promedio general de salida y el resultado del EGEL-MG fueron los valores de mayor valor predictivo. Por el contrario, el bajo promedio general de salida y el no ser seleccionados en el primer intento en el ENARM fueron los factores con mayor influencia negativa (Romero Valle, 2007).

El tercer estudio fue el realizado por la Universidad de Guadalajara (UdeG) por el Dr. Romero-Valle, el libro “Desempeño de los egresados de medicina en el Examen

Nacional de Residencias Médicas. Un estudio en la Universidad de Guadalajara”. Este libro fue publicado en el año 2007 por la editorial de la universidad de Guadalajara.

Se analizaron las características sociodemográficas, académicas y su relación en la selección y aceptación en el ENARM XXVIII. Se evaluó también el nivel de competitividad y el rendimiento en cada una de las ramas de especialidades médicas.

Las conclusiones del libro fueron que no tener hijos antes o durante la carrera, contar con promedio general de salida mayor de 94, ser hijo de padre profesionista o médico, ser del género masculino y no tener empleo antes o durante la carrera de médico cirujano; tuvieron mayor probabilidad de ser seleccionados a una especialidad médica en el ENARM (Romero Valle, 2007).

El cuarto estudio es el artículo publicado en 2009 por el Dr. Romero Valle titulado "Factores académicos y sociales asociados al desempeño de los candidatos al examen nacional de residencias médicas".

El objetivo de este fue identificar los factores sociales y académicos asociados al rendimiento de graduados de la escuela de medicina del Centro Universitario de Ciencias de la Salud (CUCS) (Martínez, 2008) de la Universidad de Guadalajara en el Examen Nacional de Residencias Médicas (ENARM) entre los años 2002 al 2005.

Se evaluó a los alumnos que fueron seleccionados para estudiar una especialidad médica o que alcanzaron una puntuación alta en este examen. Con la información

publicada por el Comité Institucional para la Formación de Recursos Humanos en Salud (CIFRHS), se evaluó a los 4971 egresados de medicina del CUCS que presentaron el ENARM del 2002 al 2005.

Los resultados establecieron que una buena formación de pregrado y la presentación de la prueba ENARM poco tiempo después de terminar la carrera de licenciatura y un contexto social y familiar favorable son los factores mayormente asociados a ser aceptados en el ENARM (Romero-Valle, 2009).

Los siguientes dos estudios fueron realizados en la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez (UACJ).

El quinto estudio denominado “Evaluación del programa de médico cirujano (PMC) del Instituto de Ciencias Biomédicas (ICB) de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez.

El PMC eligió tres procesos de evaluación en sus egresados en el periodo 2006-2008, estos fueron el promedio general de salida (PGS), el Examen Profesional Ante Pacientes (EPAP) y el EGEL-MG. Sus resultados indicaron: Una correlación significativa entre el PGS y el EPAP más no con el EGEL. El EPAP reflejó los conocimientos obtenidos a lo largo del

programa de médico cirujano, comparado con el PGS. El EGEL mostro una diferencia marcada al evaluar con diferente puntaje las diferentes disciplinas evaluadas por el programa. Las conclusiones que se obtuvieron fueron que la utilización de por lo menos dos instrumentos de evaluación, permiten establecer criterios más acordes al dominio de los conocimientos y habilidades del egresado (Cataño, 2012).

Finalmente, el último estudio publicado en 2013, titulado: “Análisis de la competencia en medicina visto a través EGEL-MG”.

Se evaluó a 166 alumnos que presentaron el EGEL-MG y 270 alumnos que presentaron el ENARM. Se estudiaron los diferentes aspectos académicos y sociodemográficos. Sus resultados establecieron que aquellos alumnos que al egreso de la licenciatura de medicina tiene una edad menor de 26 años, un promedio general de salida de 90 o más y un puntaje sobresaliente en el EGEL-MG, son factores académicos y sociodemográficos predictivos de mayor tendencia a la selección y aceptación del ENARM. Así también se concluyó que el puntaje de 1061 en el EGEL-MG fue el punto de cohorte mínimo requerido para ser seleccionado en el ENARM (Guerrero-Ávila, et al., 2013).

Conclusiones

Es notable la observación de que los factores sociodemográficos y aspectos académicos influyen invariablemente en el rendimiento escolar del alumno. El rendimiento académico del médico en formación

depende grandemente de su formación personal, familiar y social. Aunado a ello, los factores demográficos repercuten importantemente al momento de decidir ingresar a la licenciatura de médico cirujano.

La carrera Medicina requiere dedicación por completo al estudio, por lo que dificulta trabajar y estudiar al mismo tiempo.

La dedicación, constancia y la competencia clínica, entendida como las habilidades clínicas, conocimiento y comprensión, atributos interpersonales, solución de problemas y juicio clínico y sus habilidades técnicas (Trejo, 2014), permitirán al alumno obtener un mayor promedio general de salida al egreso de la licenciatura de médico cirujano.

En ese sentido, la primera evaluación que demostrará la aptitud y capacidad del estudiante de medicina es el examen profesional, donde el alumno deberá aplicar el dominio de los conocimientos aprendidos durante la licenciatura. Posteriormente la evaluación nacional CENEVAL- EGEL-MG evaluará de forma objetiva y estandarizada

las capacidades y conocimientos médicos que son necesarios para ejercer la profesión de médico general.

Posteriormente la necesidad personal y profesional del egresado de médico cirujano optará por la especialidad médica mediante el ENARM, en donde el egresado demostrara los niveles de conocimiento y dominios alcanzados.

Esta evaluación permite de forma científica, demostrar objetivamente el nivel de conocimiento alcanzado de los alumnos, haciéndolo un instrumento comparativo muy útil en la evaluación del desempeño curricular de las escuelas y facultades de medicina a nivel nacional aportando un medio eficiente en la mejora y optimización de la toma de decisiones de la calidad de la educación médica en las instituciones de educación superior en México.

Bibliografía

Acosta-Arreguín, E., Cortés Gutiérrez, M.T., et al. (2004). Desempeño en el Examen Nacional de Ingreso a Residencias Médicas. Facultad de Medicina, UNAM. Rev. Fac. Med. UNAM; 47(6): 231-7. Disponible en: <http://www.medigraphic.com/pdfs/facmed/un-2004/un046c.pdf>

Cataño-Calatayud, R., Manjarrez-González, M.T.G., Romero-González, J. (2012). Evaluación del programa de médico cirujano del Instituto de Ciencias Biomédicas de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez. Educ. Méd. 15(4): 221-225. Disponible en: <http://scielo.isciii.es/pdf/edu/v15n4/original2.pdf>

Centro Nacional de Evaluación para la Educación Superior A.C. [homepage en Internet]. CENEVAL; c2015 [actualizada 23 junio 2015; consultado 23 junio 2015]. Disponible en:

<http://www.ceneval.edu.mx/ceneval-web/content.do?page=2241>

Comité Interinstitucional para la Formación de Recursos Humanos en Salud [homepage en Internet]. CIFRHS. (2015). [actualizada 23 junio 2015; consultado 23 junio 2015]. Disponible en: <http://www.cifrhs.salud.gob.mx/>

Comité Interinstitucional para la Formación de Recursos Humanos en Salud [homepage en Internet]. CIFRHS. (2012). [actualizada 23 junio 2015; consultado 17 mayo 2012]. Disponible en: http://www.cifrhs.salud.gob.mx/descargas/pdf/2012_convocatoria.pdf

Guerrero Ávila, J.J., Romero González J, Noriega R. (2013). Análisis de la competencia en Medicina visto a través del EGEL-MG. CULCyT; 49(10): 28-36. Disponible en:

<http://openjournal.uacj.mx/ojs/index.php/culcyt/articloe/view/157>

Martínez González, M.G. (2008). Los egresados de la carrera de medicina vistos a través del examen nacional de residencias médicas. *Revista de Educación y Desarrollo*; 9: 76-77. Disponible en: http://www.cucs.udg.mx/revistas/edu_desarrollo/antiores/9/009_Resena_Gonzalez.pdf

Neuman, M., Questa, U., Kaufmann, R. (2004). Concurso de residencias médicas en la ciudad de Buenos Aires: Importancia del género y universidad. *Educación Médica*; 7(2): 90-96. Disponible en: <http://scielo.isciii.es/pdf/edu/v7n2/original5.pdf>

Padierna-Luna, J.L., Oseguera-Rodríguez, J., Gudiño-Hernández, N. (2009). Factores socioacadémicos, estilo de aprendizaje, nivel intelectual y su relación con el rendimiento académico previo de médicos internos de pregrado. *Educación Médica*; 12(2): 91-102. Disponible en: <http://scielo.isciii.es/pdf/edu/v12n2/original1.pdf>

Romero Valle, S., González Pérez, G.J. (2007). Desempeño de los egresados de medicina en el Examen Nacional de Residencias Médicas: Un estudio en la Universidad de Guadalajara. 1ª ed. Guadalajara: Universidad de Guadalajara. Disponible en:

http://www.cucs.udg.mx/revistas/libros/DESEMPEN O_DE_EGRESADOS_ENARM.pdf

Romero-Valle, S. et al. (2009). Social and academic factors associated to the performance of the candidates in the national examination of medical residencies. *Archivos de CIENCIA*; 1(1): 15-20

Secretaría de Educación Pública [homepage en Internet]. SEP. (2011). Lineamientos de evaluación del aprendizaje; [actualizada junio 2011; consultado 23 junio 2015]. Disponible en: <http://www.dgb.sep.gob.mx/02-m1/03-iacademica/00-otros/l-eval-aprendizaje.pdf>

Trejo Mejía, J.A., Martínez González, A., et al. (2014). Evaluación de la competencia clínica con el examen objetivo estructurado en el internado médico de la Universidad Nacional Autónoma de México. *Gaceta Médica de México*; 150: 8-17. Disponible en: http://www.anmm.org.mx/GMM/2014/n1/GMM_150_2014_1_008-017.pdf

Universidad Autónoma de Ciudad Juárez: Medicina [homepage en Internet]. UACJ: Medicina; (2015). [actualizada 23 junio 2015; consultado 23 junio 2015]. Disponible en: <http://www3.uacj.mx/ICB/DCS/LMC/Paginas/default.aspx>.

Prototipo didáctico de un tren de engranes controlado por medio de un motor a pasos de DC

Luz Angélica García Villalba¹, Carlos Ponce Corral¹, Raúl Ñeco Caberta¹, Jesús Emanuel de la Torre¹
Francisco Javier Enríquez Aguilera¹, José Fernando Estrada Saldaña¹

¹Universidad Autónoma de Ciudad Juárez

Resumen

Es curioso saber cómo el hombre a través del tiempo se ha basado en la naturaleza para crear mecanismos o sistemas para beneficio propio como pudo haber sido el caso de los sistemas de engranaje que funcionan hoy en día. De igual manera que Issus coleopraturu un saltamontes capaz de alcanzar una gran aceleración en un salto gracias a sus patas en forma de un sistema de engranaje lo cual fue dicho en una publicación de la revista científica el 13 de septiembre del año 2013 (Burrows & Sutton, 2013). "Si quieres aprender, enseña" (Cicerón, s.f.), con base en esta premisa y la continua discrepancia visualizada en el aula de clases en el momento de dibujar una figura para visualizar fuerzas, torques o giros en un sistema de engranajes es conveniente crear un sistema propio para mejorar la visualización de estos aspectos. Además de que con ellos es más factible la creación de problemas reales para relacionar lo teórico con lo práctico. El sistema de engranaje cuenta con 12 engranes de diferentes diámetros y diferentes números de dientes rectos. Un motor a pasos de CC para mover a los engranes mediante una tarjeta electrónica mega 2560 y 3 sensores inductivos que están colocados en los engranes para medir las revoluciones por minuto. Una interfaz HMI para monitores e interactuar con el sistema en relación a torque, velocidad o corriente del mismo. El sistema permite comprobar teorías, despejar dudas, así como el control y programación del sistema.

Palabras clave: Engranes, interfaz HMI, educación.

Introducción

Es importante tener los conocimientos teóricos para poder aplicarlos en la solución de problemas prácticos. En ocasiones es difícil para un alumno implementar la teoría en un sistema real, donde se requiere hacer uso de varios conocimientos o disciplinas complementarias a su formación. Por no estar en ambientes prácticos, el alumno no conjuga la teoría con la práctica. Sustentar la teoría con la práctica es demasiado

importante para la formación complementaria de un estudiante.

Objetivo

Crear un sistema de engranajes didáctico que complemente la enseñanza y el aprendizaje de los alumnos en los temas relacionados a velocidad, torque, control y programación.

Justificación.

A Veces es complicado visualizar un tren de engranes y aún más, complementar la parte teórica con la práctica. Lo que conlleva a aplicar diferentes tipos de fórmulas para establecer qué tipo de engrane tengo que diseñar o implementar para transmitir

potencia o velocidad en un mecanismo deseado. La visualización y aplicación de la teoría en la práctica facilita el conocimiento y aplicación de varias disciplinas dentro de la mecatrónica. Y mucha más con una interfaz hombre máquina donde me permita variar parámetros propios del sistema.

Materiales y Métodos

Los materiales utilizados.

- Microcontrolador mega 2560
- Cables
- Laptop
- Tren de engranes de 12 diámetros diferentes
- Interfaz gráfica
- Motor a pasos de 1.8° , 5v., torque .1N.M, corriente .67amp.

Tren de engranes

Dando una explicación de los engranes breve mente podemos decir que son ruedas dentadas que se usan para transmitir movimiento y potencia desde un eje giratorio hasta otro. El Tren de engranes se muestra en la figura 1, cuenta con 12 diferentes engranes rectos. En la tabla 1 se muestran los diámetros y número de dientes de cada uno de ellos.

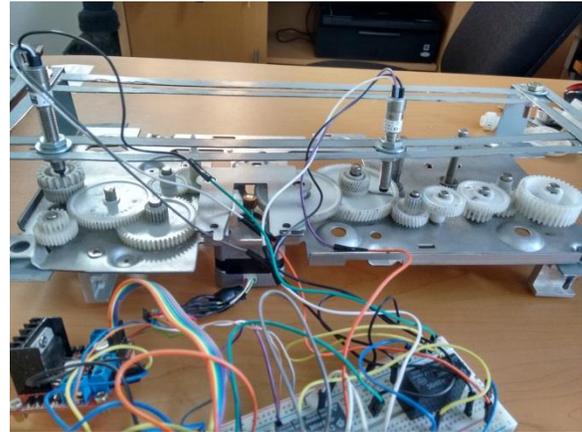


Figura 1

Tabla 1

| # | <i>Diámetro</i> | <i>Número de dientes</i> |
|----|-----------------|--------------------------|
| 1 | 7.85 mm | 19 |
| 2 | 53.24 mm | 124 |
| 3 | 20.25 mm | 30 |
| 4 | 69.34 mm | 82 |
| 5 | 22.50 mm | 38 |
| 6 | 10.67 mm | 18 |
| 7 | 26.16 mm | 44 |
| 8 | 30.58 mm | 52 |
| 9 | 17.42 mm | 18 |
| 10 | 20.34 mm | 28 |
| 11 | 18.54 mm | 17 |
| 12 | 38.64 mm | 36 |

En relación a la velocidad podemos decir que el engrane mayor gira con más longitud que el engrane inferior, en la ecuación 1 se muestra la relación.

$$\frac{n_p}{n_G} = \frac{N_p}{N_G} \quad (1)$$

Dónde:

n_p = Velocidad de entrada.

n_G = Velocidad de salida.

N_p = Número de engranes mayor.

N_G = Número de engranes menor.

Vamos a aplicarlo un ejemplo de los engranes que tenemos, usando un motor de a pasos de 130 rpm. El valor que refleja la ecuación número 2 muestra la velocidad de salida que es mayor a la del motor.

$$n_G = n_p \left(\frac{N_p}{N_G} \right) = (130 \text{ rpm}) \left(\frac{28}{17} \right) \quad (2)$$

$$= 214.1176471 \text{ rpm}$$

Por otra parte, se puede ver la relación existente entre dos engranes de diferente tamaño y por consiguiente la cantidad de dientes. Cuando hablamos en un sistema de engranes donde hay un conjunto de 2 o más engranes como el sistema que se tiene de 12 engranes, el término que se utiliza es tren de engrane (TV). Donde se puede ver la relación de velocidad de entrada (VR_2) entre la velocidad de salida (VR_1). La relación de velocidad que usaremos será como se muestra en la ecuación 3.

$$VR_1 = \frac{n_A}{n_B} \quad (3)$$

$$VR_2 = \frac{n_C}{n_D}$$

Donde:

VR_1 = Velocidad de Salida

VR_2 = Velocidad de Entrada

TV = Tren de engranes

Entonces el valor del tren (TV) es:

$$TV = (VR_1)(VR_2) = \frac{n_A n_C}{n_B n_D} \quad (4)$$

Pero como los engranes 2-3, 5-6, 8-9, 10-12, están en el mismo eje, su relación será $n_A = n_B$, y la ecuación se determina del engrane n_A hasta el engrane n_D como se muestra en la ecuación 5.

La figura 2 muestra el tren de engranes del lado derecho del sistema.

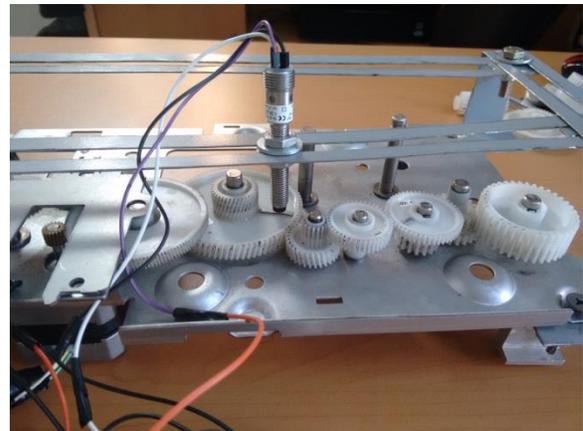


Figura 2

$$TV = \frac{n_A}{n_D} \quad (5)$$

Se sustituye el tren de engrane y se muestra en la ecuación 6 la relación de velocidad del engrane A sobre la velocidad del engrane D. Se establece la velocidad de entrada que está dada a 4 engranes y de ese modo se distribuye la velocidad. Se usarán los datos obtenidos y se obtendrá el tren de velocidades del eje de salida utilizando 130 rpm en sentido horario.

$$TV = \frac{n_A}{n_D} = \frac{\text{Velocidad de entrada}}{\text{Velocidad de salida}}$$

$$TV = (VR_1)(VR_2) = \frac{N_A N_C}{N_B N_D} = \frac{\text{número de dientes en los engranes conducidos}}{\text{número de dientes en los engranes conductores}}$$

$$TV = \frac{124}{30} \times \frac{52}{38} = 5.6561403$$

$$n_D = \frac{n}{TV} = \frac{130 \text{ rpm}}{5.65614035} = 22.98387097 \text{ rpm}$$

Utilizando los valores anteriores para continuar el tren de engranes, ahora tenemos 22.98387097 rpm y se sustituyen valores en la ecuación 8

$$TV = \frac{38}{18} \times \frac{44}{52} = 1.78632478632478$$

$$n_D = \frac{n}{TV} = \frac{22.98387097 \text{ rpm}}{1.78632478632478} = 12.86656892 \text{ rpm} \quad (8)$$

Utilizando los valores anteriores para continuar el sistema de engranaje, ahora tenemos 12.86656892 rpm, se sustituyen valores de número de dientes y se sustituyen en las ecuaciones 9 y 10.

$$TV = \frac{52}{18} \times \frac{28}{17} = 4.7581699346403 \quad (9)$$

$$n_D = \frac{n}{TV} = \frac{12.86656892 \text{ rpm}}{4.75816993464052287} = 2.704069137 \text{ rpm} \quad (10)$$

Utilizando los valores anteriores para continuar el sistema de engranaje, ahora tenemos 2.704069137 rpm, de igual manera se sustituyen valores en las ecuaciones 11 y 12

$$TV = \frac{17}{36} = 0.47222222 \quad (11)$$

$$n_D = \frac{n}{TV} = \frac{2.704069137 \text{ rpm}}{0.47222222222222} = 5.726264055 \text{ rpm} \quad (12)$$

Después de calcular las rpm del tren de engranes es importante calcular la relación de transmisión desde el engrane A hasta el D, como se muestra en la ecuación 13. Para calcular el torque existente del tren de engranes podemos explicar un teorema principal de éste mecanismo que es la rueda dentada doble. Consiste en dos engranajes de igual paso, pero de diferente número de dientes, unidos entre sí. Para la relación de transmisión se utiliza la ecuación 13 que se muestra en la parte de abajo:

$$N2 = N1 \times \left(\frac{Za}{Zb}\right) \quad (13)$$

$$N4 = N3 \times \left(\frac{Zc}{Zd}\right)$$

$$N4 = N1 \times \left(\frac{Za \times Zc \times Ze}{Zb \times Zd \times Zf}\right)$$

Para poder calcular la relación de transmisión se utiliza la ecuación 14.

$$i = \text{relación de transmisión}$$

$$i = \left(\frac{Z_a \times Z_c \times Z_e}{Z_b \times Z_d \times Z_f} \right)^{-1} \quad (14)$$

$$= \left(\frac{Z_b \times Z_d \times Z_f}{Z_a \times Z_c \times Z_e} \right)$$

$$i = \left(\frac{Z_b \times Z_d \times Z_f}{Z_a \times Z_c \times Z_e} \right) = \frac{52 \times 28 \times 36}{44 \times 18 \times 17} = 0.0005646399$$

La carga transmitida será calculada mediante la ecuación 15.

$$W_t = \frac{2T}{D} \quad (15)$$

Dónde:

W_t = Carga Transmitida (N)

T = Par Torsional (torque N.M)

D = Diámetro de paso del engrane (M)

Para calcular la carga transmitida que ejercen un torque de 1N.M, sobre un par de engranes de diámetro de paso 53.24mm (0.05324m), se sustituye en la fórmula 15.

$$W_t = \frac{2T}{D} = \frac{2(0.1)}{0.05324} = 3.756574N$$

Para la parte izquierda del tren de engranes la tabla 2 muestra el cálculo de la carga transmitirá aplicando la ecuación 15. En el tren de engranes del lado derecho tiene 6 engranes los cuales se muestran en la tabla 3.

Tabla 2

| # | Diámetro (M) | Torque (N.M) | W_t : |
|----|--------------|--------------|-------------|
| 1 | 0.00785 | 0.1 | 25.47770701 |
| 2 | 0.05324 | 0.1 | 3.756574005 |
| 3 | 0.02025 | 0.1 | 9.87654321 |
| 4 | 0.06934 | 0.1 | 2.884338044 |
| 5 | 0.0225 | 0.1 | 8.888888889 |
| 6 | 0.01067 | 0.1 | 18.74414246 |
| 7 | 0.02616 | 0.1 | 7.645259939 |
| 8 | 0.03058 | 0.1 | 6.540222368 |
| 9 | 0.01742 | 0.1 | 11.48105626 |
| 10 | 0.02034 | 0.1 | 9.832841691 |
| 11 | 0.01854 | 0.1 | 10.78748652 |
| 12 | 0.03864 | 0.1 | 5.175983437 |

En la figura 3 se muestra el tren de engranes de la parte derecha.

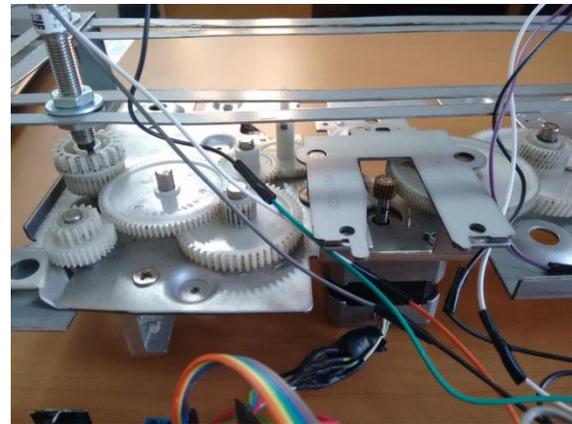


Figura 3

Tabla 3

| # | Diámetro | Dientes |
|---|----------|---------|
| 1 | 51.68mm | 118 |
| 2 | 20.32mm | 48 |
| 3 | 22.3mm | 36 |
| 4 | 51.69mm | 80 |
| 5 | 10.54mm | 24 |
| 6 | 51.73mm | 95 |
| 7 | 30.58mm | 52 |

En la tabla 4 se muestran las relaciones de carga transmitida en la parte derecha del Tren de engranes.

Tabla 4

| Lado derecho | | | |
|--------------|--------------|--------------|-----------|
| # | Diámetro (M) | Torque (N.M) | W_t : |
| 1 | 0.05168 | 0.1 | 3.8699694 |
| 2 | 0.02032 | 0.1 | 9.8425195 |
| 3 | 0.0223 | 0.1 | 8.9686095 |
| 4 | 0.05169 | 0.1 | 3.8692252 |
| 5 | 0.01054 | 0.1 | 18.97507 |
| 6 | 0.05173 | 0.1 | 3.866294 |

Se aplica la ecuación 5 para calcular la velocidad del tren de engranes de A hasta D.

$$TV = \frac{n_A}{n_D} = \frac{\text{Velocidad de entrada}}{\text{velocidad de salida}}$$

$$TV = (VR_1)(VR_2) = \frac{N_A N_C}{N_B N_D} =$$

$\frac{\text{núm. de dientes en los engranes conducidos}}{\text{núm. de dientes en los engranes conductores}}$

$$TV = \frac{118}{48} \times \frac{36}{80} = 1.10625$$

$$n_D = \frac{n}{TV} = \frac{130rpm}{1.10625} = 117.5141243 rpm$$

$$TV = \frac{80}{24} \times \frac{95}{1} = 316.6666666667$$

$$n_D = \frac{n}{TV} = \frac{117.5141243 rpm}{316.66666666666666} = 0.3710972346 rpm$$

Resultados

Descripción de pruebas

Mediante la colocación de una lámina de 1mm en cada engrane es posible medir las rpm de cada uno de los engranes al colocar sobre él un sensor inductivo BALLUFF BES 516-3027-SA-C.

El motor que se utilizó fue un motor a pasos de 1.8 grados, torque .1 Nm, corriente por fase .67amp. Voltaje 5.6v, resistencia por fase 8.4 Ω . Para demostrar el funcionamiento correcto del sistema fue necesario saber si en realidad el motor a pasos gira a las rpm correctas. Para ello, se utilizaron 2 maneras distintas de hacerlo. La primera prueba se realizó mediante un sensor inductivo colocado a un milímetro

sobre el engrane. La segunda forma de demostrarlo fue mediante programación al mandarle pulsos al motor y calcular el número de pasos. Otro punto de comprobación fue si en realidad el tren de engrane gira a las rpm. Para lo cual se utilizó la fórmula 1 de transmisión: $N_1.Z_1 = N_2.Z_2$ en la que N es el número de rpm del eje y Z es el número de dientes del engrane. La ecuación se resolvió matemáticamente y fue comprobada por el resultado que se muestra en pantalla. Por especificaciones técnicas los sensores inductivos deben tener una separación de entre 1 a 2mm sobre la superficie a medir o detectar.

Programación

Para el control de las revoluciones por minuto del motor a pasos se utiliza la librería <stepper.h> donde se encuentran dos funciones y una constante importantes para el control del motor. La constante `const int stepsPerRevolution= 200`, almacena el total de pasos que el motor tiene que girar en los 360 grados. El paso del motor está determinado por el fabricante. Es decir 360° entre 1.8° para obtener el total de pasos para que el motor de una vuelta completa.

```
#include <Stepper.h>
int revoluciones = 0;
const int stepsPerRevolution = 200;
float segundos=0;
float rpm=0;
Stepper myStepper(stepsPerRevolution, 2, 3,
4, 5);
void setup() {
  myStepper.setSpeed(60);
  Serial.begin (9600);}
void loop() {
  segundos = millis()/1000;
  myStepper.step(stepsPerRevolution);
  revoluciones++;
  rpm=(revoluciones/(segundos)*60);
  Serial.print("RPM-MOTOR: ");
  Serial.println(rpm); }
```

El programa destinado al control de los sensores inductivos realizaba una comparación del tiempo de ejecución del microcontrolador contra el número de veces que se detecta un metal ferroso el cual se encuentra colocado sobre el engrane a medir.

```
#include <Stepper.h> //puede detectar
desde 0 hasta 130RPM
```

```
int revoluciones = 0;
int revoluciones2 = 0;
int sensor1 = 8;
int sensor2 = 12;
int total_pieza = 0;
int total_pieza_anterior=0;
int total_pieza2 = 0;
int total_pieza_anterior2=0;
float segundos =0;
float rpm=0;
float rpm2=0;
void setup (){
  pinMode(sensor1, INPUT);
  pinMode(sensor2, INPUT);
  Serial.begin (9600); }
void loop (){
  segundos= millis()/1000;
  rpm=(revoluciones/segundos)*60;
  rpm2=(revoluciones2/segundos)*60;
  total_pieza = digitalRead(sensor1);
  total_pieza2 = digitalRead(sensor2);
  if((total_pieza == LOW) &&
(total_pieza_anterior == HIGH)) {
  revoluciones=revoluciones+1; // se le suma 1
a revoluciones }
  if((total_pieza2 == LOW) &&
(total_pieza_anterior2 == HIGH)) {
  revoluciones2=revoluciones2+1; }
  total_pieza_anterior = total_pieza;
  total_pieza_anterior2 = total_pieza2;
  Serial.print("RPM-SENSOR: ");
  Serial.print(rpm);
  Serial.print("\t\t");
  Serial.print("RPM-SENSOR2: ");
  Serial.println(rpm2);
}
```

En la parte de abajo se muestra un segmento del programa donde pide que el usuario introduzca los datos como el número de engranes y las revoluciones por minuto. El sistema adquiere los datos, procesa la

información y realiza los cálculos. El tren de engranes es controlado a las revoluciones proporcionadas por el usuario, de ésta misma manera se realiza para los 12 engranes.

```
while(1) {  
    printf("ingrese el número de engranes a  
    utilizar:\t "); // se imprime frase  
    scanf("%d", &numerodeengranes); // lectura  
    del número de engranajes  
    printf("ingrese el número de revoluciones  
    del motor:\t "); // se imprime frase
```

```
scanf("%d", &revoluciones); //  
Lectura del número de revoluciones  
switch(numerodeengranes) // switch se  
utiliza para saber el número de engranes a  
utilizar  
{  
    case 1: // caso de 1 engrane  
        printf("Las revoluciones son: %d RPM\t",  
        revoluciones);  
        break;
```

Conclusiones

Es interesante aplicar la teoría en la práctica, realizar los cálculos matemáticos, realizar la programación e implementar la electrónica para demostrar y obtener resultados prácticos. En conclusión podemos saber que mediante relación de dientes en un sistema de engranajes podemos aumentar la velocidad pero esto provocará la disminución del torque y esto funciona de manera recíproca también. Además teniendo el número de dientes de nuestros engranes, la potencia, diámetros de los engranes y las revoluciones por minuto en el eje podemos calcular el torque en cada uno de los ejes y también podemos despejar y cambiar alguno de estos datos para el cálculo del torque para realizar diversos problemas. El propósito didáctico del prototipo deja ver y aplicar los conceptos ya

entes mencionados. Otro punto de comprobación fue si en realidad el tren de engrane gira a las rpm. Para lo cual se utilizó la fórmula 1 de transmisión: $N \cdot Z = N_2 \cdot Z_2$ en la que N es el número de rpm del eje y Z es el número de dientes del engrane. La ecuación se resolvió matemáticamente y fue comprobada por el resultado que se muestra en pantalla. Un detalle a tomar en cuenta al momento de realizar las pruebas es verificar que los sensores inductivos no deben tener una separación de entre 1 a 2mm de la superficie a medir o detectar. Las pruebas que se realizaron se encuentran sobre un margen del 5% en relación a la teoría. Este 5% queda justificado dentro de las tolerancias que mantienen todos los dispositivos y actuadores que integran al sistema.

Referencias

Burrows, M., & Sutton, G. (2013). Interacting gears synchronize propulsive leg movements in a jumping insect. *Science*, 341(6151), 1254-1256.

Boylestad, R.L. (1989). *Electrónica teoría de circuitos*, México: Prentice Hall.

Ciceron. (s.f.). Wikiquote. [En línea].
Available:
<https://es.wikiquote.org/wiki/Cicer%C3%B3n>.

Monk, S. (2013). 30 Arduino projects for the
evil genius. McGraw-Hill Professional.

Mott, R. L., Sánchez, S. S., Fernández, Á.
H., & Sánchez, J. V. (2006). Diseño de elementos de
máquinas. Pearson Educación.

Pont, M. J. (2002). Embedded C.

Tocii, R.J. (2007). Sistemas Digitales
Principios y Aplicaciones, México: Person
Educación.

Modelo óptimo estocástico de redes de distribución con generación distribuida

Carlos Ponce Corral¹, Raúl Neco Caberta¹, Luz Angélica García Villalba¹, René Alberto Valenzuela¹, Martha Haifa Tamer Salcido¹, Gerardo Sandoval Montes¹, Abel Quezada Carreón¹

¹Universidad Autónoma de Ciudad Juárez

Resumen

El pronóstico de la demanda actualmente es muy variable, lo cual implica un problema de optimización estocástico. En este trabajo es mostrado un modelo de planificación óptima de la generación a mediano plazo, en el cual se incluyen generadores distribuidos. La expansión de la generación es formulada como un problema de optimización del costo de la red (minimización). Los escenarios de la planificación son considerados debidos a la demanda, la estocasticidad de las fuentes de energía renovables y los diferentes componentes de la red. El método bietapa es utilizado para la solución del problema estocástico.

Palabras clave: Expansión de la generación, generación distribuida, optimización estocástica.

Abreviaturas

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|
| C_k^{inv} Costo de inversión de la línea k [\$]. | P_g^p Potencia activa del generador g . |
| C_k^{var} Costo variable de la línea k [\$]. | P_g^{max} Máxima potencia activa de la unidad de generación g . |
| S_{ikj} Potencia aparente que fluye por la línea desde el nodo i [kVA]. | P_g^{min} Mínima potencia activa de la unidad de generación g . |
| S_{ikj}^{max} Máxima potencia permitida por el conductor de la línea k [kVA]. | Q_g^p Potencia reactiva del generador g . |
| S_{Di} Demanda en el nodo i [kVA]. | Q_g^{max} Máxima potencia reactiva de la unidad de generación g . |
| $S_{G\ell}$ Nodo de generación ℓ [kVA]. | Q_g^{min} Mínima potencia reactiva de la unidad de generación g . |
| Z_1 Costo. | δ_n Ángulo de fase de la tensión en el bus n . |
| $Z_{1,s}$ Costo estocástico. | R_{jn} Parte real de la línea j,n de la matriz de impedancias. |
| S Conjunto de escenarios. | X_{jn} Parte imaginaria de la línea j,n de la matriz de impedancias. |
| $PROB_s$ Probabilidad de cada escenario. | P_j^d Demanda activa en el bus j . |
| N_d Subconjunto de buses de la red. | |
| N_g Subconjunto de buses PV de la red. | |
| Φ_i Conjunto de líneas conectadas al bus i . | |

Q_j^d Demanda reactiva en el bus j .
 $Y_{gr,s,k}^s$ Potencia en operación estocástica en escenario s y en periodo k .

Y_{ji}^s Potencia de operación para cada escenario s
 X_{ij} Variable de decisión binaria para construcción de líneas c .

Introducción

El objetivo de la planificación de las redes de distribución es conocer con certeza cuál (Ault, McDonald, & Burt, 2003) será la inversión que se deba de contemplar a corto, mediano y largo plazo, para cubrir los requerimientos de la demanda, contemplando para ello, que en cada momento se cumplan las restricciones técnicas requeridas para cumplir con la calidad de la energía. Con una adecuada planificación de las redes de distribución se pueden obtener beneficios tales como al aumento de la vida útil de los equipos y el aumento de la fiabilidad y robustez del sistema (Haesen, Driesen, & Belmans, 2007). El modelo de planificación contempla la inclusión de generación distribuida (GD), la cual puede ser generación por medio de fuentes de energía renovable, como son la turbinas eólicas o los generadores fotovoltaicos, lo que conlleva a tener incertidumbre en la generación, debido a la aleatoriedad del recurso primario de estas fuentes (Aghaei, Shayanfar, & Amjady, 2009). Diferentes metodologías han sido propuestas en la literatura para la solución óptima de redes de distribución, obteniendo la localización y dimensionado óptimos de los generadores a instalarse (Allan, & Billinton, 2000; Ramirez-Rosado, & Gönen, 1991). En este trabajo es propuesta una metodología para ayudar a los diseñadores de redes para una correcta selección de la expansión de la generación.

Se integra en el modelo la estocasticidad de las fuentes de energía eléctrica producida por turbinas eólicas, debido a que son una de las tecnologías más conocidas y de mayor auge (International Energy Agency, 2008; Wang, & Nehrir, 2004). La integración de tales recursos dentro de los sistemas de potencia presenta un reto para los operadores y planificadores (Heier, 1998). Esto es debido a la incertidumbre y variabilidad de la energía eólica, ya que la potencia generada depende de la velocidad del viento (International Energy Agency, 2009). La estocasticidad o incertidumbre se debe generalmente a la carencia de datos fiables, errores en las mediciones o simplemente por tratarse de parámetros que representan información sobre el futuro (Carrión, Arroyo, & Alguacil, 2007). La planificación de sistemas de energía eléctrica asume incertidumbre, la cual surge principalmente en la demanda (García-Ascanio, & Maté, 2010), precios futuros de la electricidad o de los combustibles y las aportaciones de los recursos de los generadores (Alepez, Busquets-Monge, Bordonau, Gago, González, & Balcells, 2006). En algunos casos, todas las decisiones a tomar deben de ser fijadas desde un principio manteniéndose invariables a pesar de que en periodos de tiempo posteriores se disponga de más información sobre los distintos escenarios que puedan existir.

Metodología

El método propuesto para resolver el modelo es el método estocástico bietapa (Krukanont, & Tezuka, 2007). La primera etapa consta de un nodo común con la misma información bajo todos los escenarios, mientras que la segunda consta de un nodo por escenario. Por tanto, las decisiones de la primera etapa serán las mismas e independientes del escenario, mientras que las de la segunda etapa no se anticipan y dependerán del escenario que acontezca. El programa lineal estocástico de dos etapas con recurso total, originado por Beale (1955), es el problema de encontrar:

$$Z_{PL} = \min c_1 x_1 + E_\varepsilon(\min c_2^\omega x_2^\omega) \quad (1)$$

$$\text{s. a. } A_1 x_1 = b_1 \quad (2)$$

$$A_2^\omega x_1 + A_2 x_2^\omega = b_2^\omega \quad (3)$$

$$x_1 \geq 0, x_2^\omega \geq 0 \quad (4)$$

Las decisiones de la primera etapa son representadas por la letra x_1 . A dicha etapa corresponden los vectores $c_1 \in \mathbb{R}^{n_1}$, $b_1 \in \mathbb{R}^{m_1}$ y la matriz A_1 de tamaño $m_1 \times n_1$, todos ellos conocidos. En la segunda etapa puede acontecer un conjunto de sucesos aleatorios $\omega \in \Omega$. Para cada realización ω , los datos de la segunda etapa $A_2^\omega \in M_{m_2 \times n_2}$, $C_2^\omega \in \mathbb{R}^{n_2}$ y $b_2^\omega \in \mathbb{R}^{m_2}$ son conocidos. Además existe una matriz A_2 de tamaño $m_2 \times n_2$ fija⁴, independiente del suceso aleatorio ω acontecido, llamada

matriz de recurso. Cada componente de c_2 , b_2 y A_2 es además una posible variable aleatoria. Sea $A_{2,i}^\omega$ la i -ésima fila de la llamada *matriz tecnológica* A_2^ω . Poniendo juntas todas las componentes estocásticas de los datos de la segunda etapa, se obtiene un vector $\xi^\omega = (c_2^\omega, b_2^\omega, A_{2,1}^\omega, \dots, A_{2,m_2}^\omega)$ con $N = n_2 + m_2 \times n_1$ componentes potenciales. Como se ha indicado, una realización ω influye en varias variables aleatorias, aquí, todas las componentes de ξ . Sea $\Xi \subset \mathbb{R}^N$ el conjunto de ξ , es decir el cerrado más pequeño contenido en \mathbb{R}^N tal que $P(\Xi) = 1$. Como se ha dicho antes, dada realización ω , los datos de la segunda etapa son conocidos. Entonces, se toman las decisiones de la segunda etapa x_2^ω . La dependencia de x_2 sobre ω es de una naturaleza completamente diferente a la dependencia de c_2 u otros parámetros estocásticos sobre ω . No es una relación funcional pero indica que las decisiones x_2 , no son normalmente las mismas bajo diferentes realizaciones ω . Estas son elegidas de manera que las condiciones (3) y (4) se mantienen casi seguramente, es decir, $\forall \omega \in \Omega$ excepto tal vez para un conjunto de probabilidad nula. La función objetivo (1) contiene el término determinista $c_1 x_1$ y la esperanza para los términos de la segunda etapa, tomada para las distintas realizaciones $\omega \in \Omega$. Este segundo término es el más difícil de explicar, puesto que para cada ω ,

el valor x_2^ω es para la solución de un problema lineal. Para remarcar esto, a veces se utiliza la noción de MDE. Para una realización ω y un valor de vector x_1 , sea:

$$Q(x_1, \xi^\omega) = \min_{x_2} \{c_2^\omega x_2^\omega : A_2 x_2^\omega = b_2^\omega - A_2^\omega x_1, x_2^\omega \geq 0\} \quad (5)$$

El valor de la función objetivo en la segunda etapa y sea E la esperanza matemática con respecto a ξ , entonces se define el valor esperado de la función en la segunda etapa como:

$$Q(x_1) = EQ(x_1, \xi^\omega) \quad (6)$$

Y el modelo determinista equivalente es:

$$Z_{PL} = \text{mín} c_1 x_1 + Q(x_1) \quad (7)$$

$$Z_{PE} = \left| \begin{array}{l} \text{Formulación extendida} \\ \text{mín} \sum_{\omega \in \Omega} w^\omega (c_1^\omega x_1^\omega + c_2^\omega x_2^\omega) \\ A_1 x_1^\omega = b_1 \\ A_2^\omega x_1^\omega + A_2 x_2^\omega = b_2^\omega, \forall \omega \in \Omega \\ x_1^\omega - x_2^\omega = 0, \forall \omega, \omega \in \Omega \\ x_1^\omega \in \mathbb{R}^{+n_1}, x_2^\omega \in \mathbb{R}^{+n_2}, \forall \omega \in \Omega \end{array} \right| \left| \begin{array}{l} \text{Formulación compacta} \\ \text{mín} c_1 x_1 + \sum_{\omega \in \Omega} w^\omega c_2^\omega x_2^\omega \\ A_1 x_1^\omega = b_1 \\ A_2^\omega x_1^\omega + A_2 x_2^\omega = b_2^\omega, \forall \omega \in \Omega \\ x_1^\omega \in \mathbb{R}^{+n_1}, x_2^\omega \in \mathbb{R}^{+n_2}, \forall \omega \in \Omega \end{array} \right|$$

En particular el modelo 0-1, corresponde al modelo anterior, donde los conjuntos \mathbb{R}^{+n_1} y \mathbb{R}^{+n_2} son remplazados por $\{0,1\}^{n_1}$ y $\{0,1\}^{n_2}$, respectivamente. Además, si ambas variables pueden tomar valores tanto enteros como reales, el modelo estocástico bietapa mixto, en formulación compacta, es el siguiente:

$$Z_{PM} = \text{mín} \alpha_1 x_1 + c_1 y_1 + \sum_{\omega \in \Omega} w^\omega (a_2^\omega x_2^\omega + c_2^\omega y_2^\omega)$$

$$\text{s. a. } A_1 x_1 + B_1 y_1 = b_1$$

$$\text{s. a. } A_1 x_1 = b_1$$

$$x_1 \geq 0$$

Esta representación de un programa estocástico ilustra claramente que la mayor diferencia con la formulación determinista esta en el valor de la función de la segunda etapa. Si dicha función es dada, entonces un programa estocástico es justamente un programa ordinario no lineal. La formulación (6) y (7) es la más simple para un programa estocástico en dos etapas. Diferentes extensiones son fáciles de modelar. Por ejemplo, si la primera y la segunda etapa corresponden a decisiones de carácter entero, el *modelo estocástico bietapa entero*, en las formulaciones equivalentes, se representa por:

$$\begin{aligned} A_2^\omega x_1 + B_2^\omega y_1 + A_2 x_2^\omega + B_2 y_2^\omega &= b_2^\omega \quad \forall \omega \in \Omega \quad (8) \\ x_1 \in \mathbb{R}^{+n_1}, x_2 \in \mathbb{R}^{+n_2} &\quad \forall \omega \in \Omega, y_1^\omega \in \mathbb{R}^{+n_1}, y_2^\omega \in \mathbb{R}^{+n_2} \quad \forall \omega \in \Omega \end{aligned}$$

Análogamente, se puede definir el modelo de formulación extendida y el modelo 0-1 mixto. Además, se pueden incorporar funciones objetivo o restricciones no lineales para la primera o segunda etapa. En efecto, las formulaciones (6)-(7) pueden ser aplicables para variables discretas y continuas. Esta representación claramente

ilustra la secuencia de acontecimientos en el problema con recurso. Las decisiones de primera etapa x_1 son tomadas en presencia de incertidumbre sobre futuras realizaciones de ξ . En la segunda etapa, el valor actual de ξ es conocido, lo que permite tomar acciones de corrección o decisiones de recurso x_2 . Las decisiones de primera etapa, sin embargo, son elegidas sin tener en cuenta efectos futuros de forma individual. Estos efectos futuros vienen medidos por el valor de la función de recurso $Q(x_1)$, que calcula el valor esperado de tomar la decisión x_1 . La dificultad inherente en la programación estocástica radica claramente en el peso computacional de $Q(x_1)$, para todo x en (6)-(7). No es sorprendente por tanto, que las propiedades de MDE en general y de la función $Q(x_1)$ hayan sido extensamente estudiadas. De dichas propiedades, se observa cómo la resolución de problemas estocásticos lineales de grandes dimensiones no es tan compleja como la de aquellos en las que intervienen variables enteras.

Fuentes renovables y fuentes convencionales

Las fuentes de energía renovable (solar, eólica, hidráulica, biomasa, etc.) son incluidas como generación distribuida. En este modelo se incluyen fuentes de energía renovable. En este modelo son incluidos tanto los costos de inversión (coste de equipo e instalación) y los costos de operación y mantenimiento (costo variable).

Las fuentes convencionales (térmica, nuclear, grandes hidroeléctricas, etc.) son las que por lo general suministran la energía necesaria para los centros de consumo. La energía suministrada por estas centrales eléctricas tiene un índice de fiabilidad muy alto, por lo que se incluyen en el modelo suministrando casi el consumo total de la demanda, (mayor de un 80%), que junto con las fuentes de energía renovable deben de suministrar la energía necesaria para los centros de consumo.

Caso de estudio

En la red de distribución de 29 nodos de la figura 1 se requiere conocer la planificación óptima de la expansión de la generación para saber cuál va ser la inversión óptima. Se dispone de varios generadores para satisfacer la demanda durante varios periodos. También, la decisión de inversión puede ser única para todos los periodos.

Los generadores convencionales son instalados en los nodos 1, 2 y 3. La generación distribuida en base a generadores renovables se propone para ser instalada en el nodo 4, nodo 7, nodo 16, nodo 20, nodo 24 y nodo 27.

Las líneas de conexión son construidas con el cable RHZ1 18/30 kV 3x (1x240 mm Al) cuyo límite térmico es de 27.540 MVA. En la tabla 5.3 se muestran las características completas de las líneas incluyendo la longitud de cada tramo de línea y costes de inversión (fijos) y de operación y mantenimiento (variable).

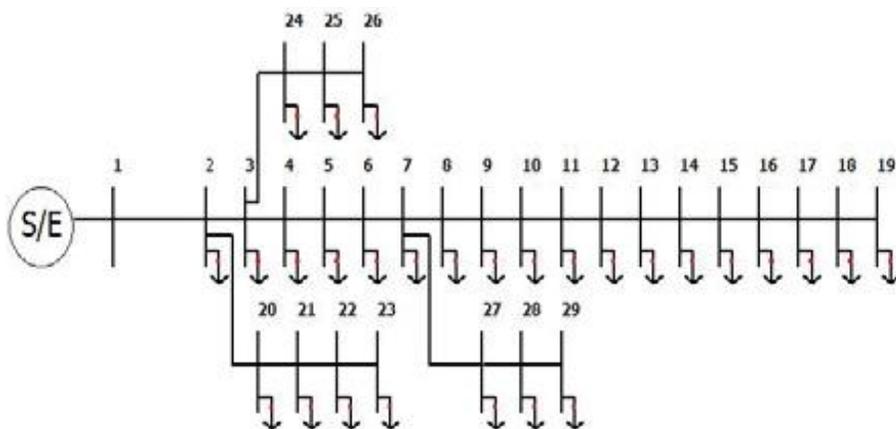


Figura 1. Red radial de 29 nudos

Tabla 1 Datos de generadores convencionales

| GENERADORES | P _{MIN} | P _{MAX} | Q _{MIN} | Q _{MAX} | S _{MIN} | S _{MAX} | COSTO |
|-------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|-------|
| G1 | 0.00 | 6000.0 | 0.0 | 5453.8 | 0.0 | 8108.3 | 20.00 |
| G2 | 0.00 | 6000.0 | 0.0 | 5453.8 | 0.0 | 8108.3 | 20.00 |
| G3 | 0.00 | 6000.0 | 0.0 | 5453.8 | 0.0 | 8108.3 | 20.00 |
| G4 | 0.00 | 6000.0 | 0.0 | 5453.8 | 0.0 | 8108.3 | 20.00 |
| G5 | 0.00 | 6000.0 | 0.0 | 5453.8 | 0.0 | 8108.3 | 20.00 |
| G6 | 0.00 | 6000.0 | 0.0 | 5453.8 | 0.0 | 8108.3 | 20.00 |
| G7 | 0.00 | 6000.0 | 0.0 | 5453.8 | 0.0 | 8108.3 | 20.00 |
| G8 | 0.00 | 6000.0 | 0.0 | 5453.8 | 0.0 | 8108.3 | 20.00 |
| G9 | 0.00 | 6000.0 | 0.0 | 5453.8 | 0.0 | 8108.3 | 20.00 |

Tabla 2. Datos de generadores renovables

| GENERADORES | P _{MIN} | P _{MAX} | Q _{MIN} | Q _{MAX} | S _{MIN} | S _{MAX} | COSTO |
|-------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|-------|
| GR1 | 0.00 | 6000 | 0.00 | 5453.8 | 0.0 | 8108.3 | 9.70 |
| GR2 | 0.00 | 6000 | 0.00 | 5453.8 | 0.0 | 8108.3 | 9.70 |
| GR3 | 0.00 | 6000 | 0.00 | 5453.8 | 0.0 | 8108.3 | 9.70 |
| GR4 | 0.00 | 6000 | 0.00 | 5453.8 | 0.0 | 8108.3 | 9.70 |
| GR5 | 0.00 | 6000 | 0.00 | 5453.8 | 0.0 | 8108.3 | 9.70 |
| GR6 | 0.00 | 6000 | 0.00 | 5453.8 | 0.0 | 8108.3 | 9.70 |

Tabla 3. Datos de las líneas

| LÍNEAS | R | X | G | B | FLMAX | CLN | LONG | CVLN | Z | |
|--------|----|--------|--------|--------|-------|---------|-------|-------|-------|--------|
| 0 | 1 | 0.1288 | 0.0904 | -5.202 | 3.651 | 30000.0 | 0.010 | 2.000 | 0.020 | 0.1574 |
| 1 | 2 | 0.1208 | 0.0848 | -5.545 | 3.893 | 30000.0 | 0.010 | 7.000 | 0.020 | 0.1475 |
| 2 | 3 | 0.2013 | 0.1413 | -3.328 | 2.336 | 30000.0 | 0.010 | 3.200 | 0.020 | 0.2459 |
| 3 | 4 | 0.3019 | 0.2119 | -2.219 | 1.558 | 30000.0 | 0.010 | 4.500 | 0.020 | 0.3688 |
| 4 | 5 | 0.2516 | 0.1766 | -2.663 | 1.869 | 30000.0 | 0.010 | 2.000 | 0.020 | 0.3073 |
| 5 | 6 | 0.1811 | 0.1271 | -3.700 | 2.596 | 30000.0 | 0.010 | 4.000 | 0.020 | 0.2213 |
| 6 | 7 | 0.3590 | 0.2520 | -1.866 | 1.310 | 30000.0 | 0.010 | 8.000 | 0.020 | 0.4386 |
| 7 | 8 | 0.0902 | 0.0633 | -7.428 | 5.213 | 30000.0 | 0.010 | 8.000 | 0.020 | 0.1102 |
| 8 | 9 | 0.1256 | 0.0881 | -5.336 | 3.743 | 30000.0 | 0.010 | 2.000 | 0.020 | 0.1534 |
| 9 | 10 | 0.1092 | 0.0766 | -6.138 | 4.305 | 30000.0 | 0.010 | 7.000 | 0.020 | 0.1334 |
| 10 | 11 | 0.0902 | 0.0633 | -7.428 | 5.213 | 30000.0 | 0.010 | 3.200 | 0.020 | 0.1102 |

| | | | | | | | | | | |
|----|----|--------|--------|--------|-------|---------|-------|-------|-------|--------|
| 11 | 12 | 0.1711 | 0.1201 | -3.915 | 2.748 | 30000.0 | 0.010 | 4.500 | 0.020 | 0.2090 |
| 12 | 13 | 0.4528 | 0.3178 | -1.480 | 1.038 | 30000.0 | 0.010 | 2.000 | 0.020 | 0.5532 |
| 13 | 14 | 0.5031 | 0.3531 | -1.332 | 0.935 | 30000.0 | 0.010 | 4.000 | 0.020 | 0.6147 |
| 14 | 15 | 0.3767 | 0.2644 | -1.778 | 1.248 | 30000.0 | 0.010 | 8.000 | 0.020 | 0.4603 |
| 15 | 16 | 0.2201 | 0.1545 | -3.044 | 2.137 | 30000.0 | 0.010 | 3.000 | 0.020 | 0.2689 |
| 16 | 17 | 0.3614 | 0.2537 | -1.854 | 1.301 | 30000.0 | 0.010 | 2.000 | 0.020 | 0.4416 |
| 17 | 18 | 0.3597 | 0.2524 | -1.863 | 1.307 | 30000.0 | 0.010 | 7.000 | 0.020 | 0.4394 |
| 2 | 19 | 0.7245 | 0.5085 | -0.925 | 0.649 | 30000.0 | 0.010 | 3.200 | 0.020 | 0.8851 |
| 19 | 20 | 0.5635 | 0.3955 | -1.189 | 0.834 | 30000.0 | 0.010 | 4.500 | 0.020 | 0.6884 |
| 20 | 21 | 0.3542 | 0.2486 | -1.891 | 1.328 | 30000.0 | 0.010 | 2.000 | 0.020 | 0.4327 |
| 21 | 22 | 0.3703 | 0.2599 | -1.809 | 1.270 | 30000.0 | 0.010 | 4.000 | 0.020 | 0.4524 |
| 3 | 23 | 0.7245 | 0.5085 | -0.925 | 0.649 | 30000.0 | 0.010 | 8.000 | 0.020 | 0.8851 |
| 23 | 24 | 0.2898 | 0.2034 | -2.312 | 1.623 | 30000.0 | 0.010 | 3.300 | 0.020 | 0.3541 |
| 24 | 25 | 0.1932 | 0.1356 | -3.468 | 2.434 | 30000.0 | 0.010 | 2.000 | 0.020 | 0.2360 |
| 6 | 26 | 0.8372 | 0.5876 | -0.800 | 0.562 | 30000.0 | 0.010 | 7.000 | 0.020 | 1.0228 |
| 26 | 27 | 0.1771 | 0.1243 | -3.783 | 2.655 | 30000.0 | 0.010 | 3.200 | 0.020 | 0.2164 |
| 27 | 28 | 0.1530 | 0.1074 | -4.378 | 3.074 | 30000.0 | 0.010 | 4.500 | 0.020 | 0.1869 |

En la tabla 5.4 se muestran las demandas en los distintos periodos y los distintos escenarios. Se debe de realizar un estudio detallado para poder realizar una

predicción de la demanda más confiable, ya que de este análisis depende la correcta planificación de la expansión de la generación.

Tabla 5.4 Datos de demanda de potencia en escenarios
(a) escenario 1 (b) escenario 2 (c) escenario 3

(a) Escenario 1

| NUDOS | ENERO | FEBRERO | MARZO | ABRIL | MAYO | JUNIO | JULIO | AGOSTO | SEPTIEMBRE | OCTUBRE | NOVIEMBRE | DICIEMBRE |
|-------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|------------|---------|-----------|-----------|
| 0 | 420.00 | 504.00 | 588.00 | 630.00 | 567.00 | 609.00 | 638.40 | 621.60 | 600.60 | 579.60 | 546.00 | 462.00 |
| 1 | 470.00 | 564.00 | 658.00 | 705.00 | 634.50 | 681.50 | 714.40 | 695.60 | 672.10 | 648.60 | 611.00 | 517.00 |
| 2 | 772.00 | 926.40 | 1080.80 | 1158.00 | 1042.20 | 1119.40 | 1173.44 | 1142.56 | 1103.96 | 1065.36 | 1003.60 | 849.20 |
| 3 | 714.00 | 856.80 | 999.60 | 1071.00 | 963.90 | 1035.30 | 1085.28 | 1056.72 | 1021.02 | 985.32 | 928.20 | 785.40 |
| 4 | 840.00 | 1008.00 | 1176.00 | 1260.00 | 1134.00 | 1218.00 | 1276.80 | 1243.20 | 1201.20 | 1159.20 | 1092.00 | 924.00 |
| 5 | 336.00 | 403.20 | 470.40 | 504.00 | 453.60 | 487.20 | 510.72 | 497.28 | 480.48 | 463.68 | 436.80 | 369.60 |
| 6 | 630.00 | 756.00 | 882.00 | 945.00 | 850.50 | 913.50 | 957.60 | 932.40 | 900.90 | 869.40 | 819.00 | 693.00 |
| 7 | 520.00 | 624.00 | 728.00 | 780.00 | 702.00 | 754.00 | 790.40 | 769.60 | 743.60 | 717.60 | 676.00 | 572.00 |
| 8 | 672.00 | 806.40 | 940.80 | 1008.00 | 907.20 | 974.40 | 1021.44 | 994.56 | 960.96 | 927.36 | 873.60 | 739.20 |
| 9 | 420.00 | 504.00 | 588.00 | 630.00 | 567.00 | 609.00 | 638.40 | 621.60 | 600.60 | 579.60 | 546.00 | 462.00 |
| 10 | 470.00 | 564.00 | 658.00 | 705.00 | 634.50 | 681.50 | 714.40 | 695.60 | 672.10 | 648.60 | 611.00 | 517.00 |
| 11 | 772.00 | 926.40 | 1080.80 | 1158.00 | 1042.20 | 1119.40 | 1173.44 | 1142.56 | 1103.96 | 1065.36 | 1003.60 | 849.20 |
| 12 | 714.00 | 856.80 | 999.60 | 1071.00 | 963.90 | 1035.30 | 1085.28 | 1056.72 | 1021.02 | 985.32 | 928.20 | 785.40 |
| 13 | 840.00 | 1008.00 | 1176.00 | 1260.00 | 1134.00 | 1218.00 | 1276.80 | 1243.20 | 1201.20 | 1159.20 | 1092.00 | 924.00 |
| 14 | 336.00 | 403.20 | 470.40 | 504.00 | 453.60 | 487.20 | 510.72 | 497.28 | 480.48 | 463.68 | 436.80 | 369.60 |
| 15 | 630.00 | 756.00 | 882.00 | 945.00 | 850.50 | 913.50 | 957.60 | 932.40 | 900.90 | 869.40 | 819.00 | 693.00 |
| 16 | 520.00 | 624.00 | 728.00 | 780.00 | 702.00 | 754.00 | 790.40 | 769.60 | 743.60 | 717.60 | 676.00 | 572.00 |
| 17 | 672.00 | 806.40 | 940.80 | 1008.00 | 907.20 | 974.40 | 1021.44 | 994.56 | 960.96 | 927.36 | 873.60 | 739.20 |
| 18 | 420.00 | 504.00 | 588.00 | 630.00 | 567.00 | 609.00 | 638.40 | 621.60 | 600.60 | 579.60 | 546.00 | 462.00 |
| 19 | 470.00 | 564.00 | 658.00 | 705.00 | 634.50 | 681.50 | 714.40 | 695.60 | 672.10 | 648.60 | 611.00 | 517.00 |
| 20 | 772.00 | 926.40 | 1080.80 | 1158.00 | 1042.20 | 1119.40 | 1173.44 | 1142.56 | 1103.96 | 1065.36 | 1003.60 | 849.20 |
| 21 | 714.00 | 856.80 | 999.60 | 1071.00 | 963.90 | 1035.30 | 1085.28 | 1056.72 | 1021.02 | 985.32 | 928.20 | 785.40 |
| 22 | 840.00 | 1008.00 | 1176.00 | 1260.00 | 1134.00 | 1218.00 | 1276.80 | 1243.20 | 1201.20 | 1159.20 | 1092.00 | 924.00 |
| 23 | 336.00 | 403.20 | 470.40 | 504.00 | 453.60 | 487.20 | 510.72 | 497.28 | 480.48 | 463.68 | 436.80 | 369.60 |
| 24 | 630.00 | 756.00 | 882.00 | 945.00 | 850.50 | 913.50 | 957.60 | 932.40 | 900.90 | 869.40 | 819.00 | 693.00 |
| 25 | 520.00 | 624.00 | 728.00 | 780.00 | 702.00 | 754.00 | 790.40 | 769.60 | 743.60 | 717.60 | 676.00 | 572.00 |
| 26 | 672.00 | 806.40 | 940.80 | 1008.00 | 907.20 | 974.40 | 1021.44 | 994.56 | 960.96 | 927.36 | 873.60 | 739.20 |
| 27 | 430.00 | 516.00 | 602.00 | 645.00 | 580.50 | 623.50 | 653.60 | 636.40 | 614.90 | 593.40 | 559.00 | 473.00 |
| 28 | 334.00 | 400.80 | 467.60 | 501.00 | 450.90 | 484.30 | 507.68 | 494.32 | 477.62 | 460.92 | 434.20 | 367.40 |

(b) Escenario 2

| NODOS | ENERO | FEBRERO | MARZO | ABRIL | MAYO | JUNIO | JULIO | AGOSTO | SEPTIEMBRE | OCTUBRE | NOVIEMBRE | DICIEMBRE |
|-------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|------------|---------|-----------|-----------|
| 0 | 504.00 | 604.80 | 705.60 | 756.00 | 680.40 | 730.80 | 766.08 | 745.92 | 720.72 | 695.52 | 655.20 | 554.40 |
| 1 | 564.00 | 676.80 | 789.60 | 846.00 | 761.40 | 817.80 | 857.28 | 834.72 | 806.52 | 778.32 | 733.20 | 620.40 |
| 2 | 926.40 | 1111.68 | 1296.96 | 1389.60 | 1250.64 | 1343.28 | 1408.13 | 1371.07 | 1324.75 | 1278.43 | 1204.32 | 1019.04 |
| 3 | 856.80 | 1028.16 | 1199.52 | 1285.20 | 1156.68 | 1242.36 | 1302.34 | 1268.06 | 1225.22 | 1182.38 | 1113.84 | 942.48 |
| 4 | 1008.00 | 1209.60 | 1411.20 | 1512.00 | 1360.80 | 1461.60 | 1532.16 | 1491.84 | 1441.44 | 1391.04 | 1310.40 | 1108.80 |
| 5 | 403.20 | 483.84 | 564.48 | 604.80 | 544.32 | 584.64 | 612.86 | 596.74 | 576.58 | 556.42 | 524.16 | 443.52 |
| 6 | 756.00 | 907.20 | 1058.40 | 1134.00 | 1020.60 | 1096.20 | 1149.12 | 1118.88 | 1081.08 | 1043.28 | 982.80 | 831.60 |
| 7 | 624.00 | 748.80 | 873.60 | 936.00 | 842.40 | 904.80 | 948.48 | 923.52 | 892.32 | 861.12 | 811.20 | 686.40 |
| 8 | 806.40 | 967.68 | 1128.96 | 1209.60 | 1088.64 | 1169.28 | 1225.73 | 1193.47 | 1153.15 | 1112.83 | 1048.32 | 887.04 |
| 9 | 504.00 | 604.80 | 705.60 | 756.00 | 680.40 | 730.80 | 766.08 | 745.92 | 720.72 | 695.52 | 655.20 | 554.40 |
| 10 | 564.00 | 676.80 | 789.60 | 846.00 | 761.40 | 817.80 | 857.28 | 834.72 | 806.52 | 778.32 | 733.20 | 620.40 |
| 11 | 926.40 | 1111.68 | 1296.96 | 1389.60 | 1250.64 | 1343.28 | 1408.13 | 1371.07 | 1324.75 | 1278.43 | 1204.32 | 1019.04 |
| 12 | 856.80 | 1028.16 | 1199.52 | 1285.20 | 1156.68 | 1242.36 | 1302.34 | 1268.06 | 1225.22 | 1182.38 | 1113.84 | 942.48 |
| 13 | 1008.00 | 1209.60 | 1411.20 | 1512.00 | 1360.80 | 1461.60 | 1532.16 | 1491.84 | 1441.44 | 1391.04 | 1310.40 | 1108.80 |
| 14 | 403.20 | 483.84 | 564.48 | 604.80 | 544.32 | 584.64 | 612.86 | 596.74 | 576.58 | 556.42 | 524.16 | 443.52 |
| 15 | 756.00 | 907.20 | 1058.40 | 1134.00 | 1020.60 | 1096.20 | 1149.12 | 1118.88 | 1081.08 | 1043.28 | 982.80 | 831.60 |
| 16 | 624.00 | 748.80 | 873.60 | 936.00 | 842.40 | 904.80 | 948.48 | 923.52 | 892.32 | 861.12 | 811.20 | 686.40 |
| 17 | 806.40 | 967.68 | 1128.96 | 1209.60 | 1088.64 | 1169.28 | 1225.73 | 1193.47 | 1153.15 | 1112.83 | 1048.32 | 887.04 |
| 18 | 504.00 | 604.80 | 705.60 | 756.00 | 680.40 | 730.80 | 766.08 | 745.92 | 720.72 | 695.52 | 655.20 | 554.40 |
| 19 | 564.00 | 676.80 | 789.60 | 846.00 | 761.40 | 817.80 | 857.28 | 834.72 | 806.52 | 778.32 | 733.20 | 620.40 |
| 20 | 926.40 | 1111.68 | 1296.96 | 1389.60 | 1250.64 | 1343.28 | 1408.13 | 1371.07 | 1324.75 | 1278.43 | 1204.32 | 1019.04 |
| 21 | 856.80 | 1028.16 | 1199.52 | 1285.20 | 1156.68 | 1242.36 | 1302.34 | 1268.06 | 1225.22 | 1182.38 | 1113.84 | 942.48 |
| 22 | 1008.00 | 1209.60 | 1411.20 | 1512.00 | 1360.80 | 1461.60 | 1532.16 | 1491.84 | 1441.44 | 1391.04 | 1310.40 | 1108.80 |
| 23 | 403.20 | 483.84 | 564.48 | 604.80 | 544.32 | 584.64 | 612.86 | 596.74 | 576.58 | 556.42 | 524.16 | 443.52 |
| 24 | 756.00 | 907.20 | 1058.40 | 1134.00 | 1020.60 | 1096.20 | 1149.12 | 1118.88 | 1081.08 | 1043.28 | 982.80 | 831.60 |
| 25 | 624.00 | 748.80 | 873.60 | 936.00 | 842.40 | 904.80 | 948.48 | 923.52 | 892.32 | 861.12 | 811.20 | 686.40 |
| 26 | 806.40 | 967.68 | 1128.96 | 1209.60 | 1088.64 | 1169.28 | 1225.73 | 1193.47 | 1153.15 | 1112.83 | 1048.32 | 887.04 |
| 27 | 516.00 | 619.20 | 722.40 | 774.00 | 696.60 | 748.20 | 784.32 | 763.68 | 737.88 | 712.08 | 670.80 | 567.60 |
| 28 | 400.80 | 480.96 | 561.12 | 601.20 | 541.08 | 581.16 | 609.22 | 593.18 | 573.14 | 553.10 | 521.04 | 440.88 |

(c) Escenario 3

| NODOS | ENERO | FEBRERO | MARZO | ABRIL | MAYO | JUNIO | JULIO | AGOSTO | SEPTIEMBRE | OCTUBRE | NOVIEMBRE | DICIEMBRE |
|-------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|------------|---------|-----------|-----------|
| 0 | 546.00 | 655.20 | 764.40 | 819.00 | 737.10 | 791.70 | 829.92 | 808.08 | 780.78 | 753.48 | 709.80 | 600.60 |
| 1 | 611.00 | 733.20 | 855.40 | 916.50 | 824.85 | 885.95 | 928.72 | 904.28 | 873.73 | 843.18 | 794.30 | 672.10 |
| 2 | 1003.60 | 1204.32 | 1405.04 | 1505.40 | 1354.86 | 1455.22 | 1525.47 | 1485.33 | 1435.15 | 1384.97 | 1304.68 | 1103.96 |
| 3 | 928.20 | 1113.84 | 1299.48 | 1392.30 | 1253.07 | 1345.89 | 1410.86 | 1373.74 | 1327.33 | 1280.92 | 1206.66 | 1021.02 |
| 4 | 1092.00 | 1310.40 | 1528.80 | 1638.00 | 1474.20 | 1583.40 | 1659.84 | 1616.16 | 1561.56 | 1506.96 | 1419.60 | 1201.20 |
| 5 | 436.80 | 524.16 | 611.52 | 655.20 | 589.68 | 633.36 | 663.94 | 646.46 | 624.62 | 602.78 | 567.84 | 480.48 |
| 6 | 819.00 | 982.80 | 1146.60 | 1228.50 | 1105.65 | 1187.55 | 1244.88 | 1212.12 | 1171.17 | 1130.22 | 1064.70 | 900.90 |
| 7 | 676.00 | 811.20 | 946.40 | 1014.00 | 912.60 | 980.20 | 1027.52 | 1000.48 | 966.68 | 932.88 | 878.80 | 743.60 |
| 8 | 873.60 | 1048.32 | 1223.04 | 1310.40 | 1179.36 | 1266.72 | 1327.87 | 1292.93 | 1249.25 | 1205.57 | 1135.68 | 960.96 |
| 9 | 546.00 | 655.20 | 764.40 | 819.00 | 737.10 | 791.70 | 829.92 | 808.08 | 780.78 | 753.48 | 709.80 | 600.60 |
| 10 | 611.00 | 733.20 | 855.40 | 916.50 | 824.85 | 885.95 | 928.72 | 904.28 | 873.73 | 843.18 | 794.30 | 672.10 |
| 11 | 1003.60 | 1204.32 | 1405.04 | 1505.40 | 1354.86 | 1455.22 | 1525.47 | 1485.33 | 1435.15 | 1384.97 | 1304.68 | 1103.96 |
| 12 | 928.20 | 1113.84 | 1299.48 | 1392.30 | 1253.07 | 1345.89 | 1410.86 | 1373.74 | 1327.33 | 1280.92 | 1206.66 | 1021.02 |
| 13 | 1092.00 | 1310.40 | 1528.80 | 1638.00 | 1474.20 | 1583.40 | 1659.84 | 1616.16 | 1561.56 | 1506.96 | 1419.60 | 1201.20 |
| 14 | 436.80 | 524.16 | 611.52 | 655.20 | 589.68 | 633.36 | 663.94 | 646.46 | 624.62 | 602.78 | 567.84 | 480.48 |
| 15 | 819.00 | 982.80 | 1146.60 | 1228.50 | 1105.65 | 1187.55 | 1244.88 | 1212.12 | 1171.17 | 1130.22 | 1064.70 | 900.90 |
| 16 | 676.00 | 811.20 | 946.40 | 1014.00 | 912.60 | 980.20 | 1027.52 | 1000.48 | 966.68 | 932.88 | 878.80 | 743.60 |
| 17 | 873.60 | 1048.32 | 1223.04 | 1310.40 | 1179.36 | 1266.72 | 1327.87 | 1292.93 | 1249.25 | 1205.57 | 1135.68 | 960.96 |
| 18 | 546.00 | 655.20 | 764.40 | 819.00 | 737.10 | 791.70 | 829.92 | 808.08 | 780.78 | 753.48 | 709.80 | 600.60 |
| 19 | 611.00 | 733.20 | 855.40 | 916.50 | 824.85 | 885.95 | 928.72 | 904.28 | 873.73 | 843.18 | 794.30 | 672.10 |
| 20 | 1003.60 | 1204.32 | 1405.04 | 1505.40 | 1354.86 | 1455.22 | 1525.47 | 1485.33 | 1435.15 | 1384.97 | 1304.68 | 1103.96 |
| 21 | 928.20 | 1113.84 | 1299.48 | 1392.30 | 1253.07 | 1345.89 | 1410.86 | 1373.74 | 1327.33 | 1280.92 | 1206.66 | 1021.02 |
| 22 | 1092.00 | 1310.40 | 1528.80 | 1638.00 | 1474.20 | 1583.40 | 1659.84 | 1616.16 | 1561.56 | 1506.96 | 1419.60 | 1201.20 |
| 23 | 436.80 | 524.16 | 611.52 | 655.20 | 589.68 | 633.36 | 663.94 | 646.46 | 624.62 | 602.78 | 567.84 | 480.48 |
| 24 | 819.00 | 982.80 | 1146.60 | 1228.50 | 1105.65 | 1187.55 | 1244.88 | 1212.12 | 1171.17 | 1130.22 | 1064.70 | 900.90 |
| 25 | 676.00 | 811.20 | 946.40 | 1014.00 | 912.60 | 980.20 | 1027.52 | 1000.48 | 966.68 | 932.88 | 878.80 | 743.60 |
| 26 | 873.60 | 1048.32 | 1223.04 | 1310.40 | 1179.36 | 1266.72 | 1327.87 | 1292.93 | 1249.25 | 1205.57 | 1135.68 | 960.96 |
| 27 | 559.00 | 670.80 | 782.60 | 838.50 | 754.65 | 810.55 | 849.68 | 827.32 | 799.37 | 771.42 | 726.70 | 614.90 |
| 28 | 434.20 | 521.04 | 607.88 | 651.30 | 586.17 | 629.59 | 659.98 | 642.62 | 620.91 | 599.20 | 564.46 | 477.62 |

La demanda en los distintos periodos y escenarios, la cual es determinista. En base a dichas demandas deterministas se determinan probables cambios, pudiendo ser el más favorable cuando se tenga la menor demanda y el más desfavorable cuando se tenga la demanda pico de cada escenario. La tabla 5 muestra la probabilidad de cada escenario. En este caso específico se ven tres escenarios en donde se suponen probabilidades tanto muy altas como muy bajas.

Tabla 5. Probabilidad de escenarios

| Escenarios | Probabilidad |
|-------------|--------------|
| Escenario 1 | 0.2 |
| Escenario 2 | 0.3 |
| Escenario 3 | 0.5 |

El costo de los equipos varía de acuerdo a su localización y recurso primario que se utilice. El costo de los equipos es proporcional al tamaño de los mismos, aunque realizar el montaje de una planta generadora tiene su propia problemática, como puede ser el (Bouffard, & Galiana, 2008) transporte de los materiales para su instalación, el tipo de tecnología empleada, etc. El costo variable de la generación (operación mas mantenimiento) está determinado de acuerdo al suministro de combustible y la distancia donde se ubique, así como cual es el aumento a mediano y a largo plazo. Los costos de mantenimiento pueden ser menores si en un periodo a mediano plazo la capacidad de la planta de generación aumenta.

Formulación matemática

Primero se verá un escenario determinista cualquiera. La función objetivo será minimizar la suma de costos fijos de inversión más los costos fijos de operación de los grupos de generación a instalar más las líneas de la red para cada escenario (El-Khattam, Bhattacharya, Hegazy, & Salama, 2004).

Función objetivo:

La función objetivo es la minimización del costo de los equipos de generación, donde se incluyen costos fijos de los equipos y costos variables.

$$\min Z_1 = \sum_G P_G^g C_G^{inv} + \sum_G \sum_t P_{G,t}^g C_{G,t}^{var}$$

Función objetivo estocástica, donde se incluyen las probabilidades de cada escenario.

$$\min Z_{1,s} = \sum_G P_G^g C_G^{inv} + \sum_G \sum_t \sum_s PROB_s YS_{g,k}$$

La optimización (minimización del costo) de la función objetivo esta sujeta a las restricciones técnicas que rigen a la red, como son: balance de potencia en los nodos, límites de capacidad de los generadores, límites de capacidad de los generadores distribuidos, límites de tensión en nodos, restricciones lógicas (involucrando las variables de decisión enteras) y todas las restricciones para el flujo óptimo de cargas (OPF). Por lo tanto, las siguientes restricciones deben ser consideradas:

Restricciones

Balance de potencia en los buses (primera ley de Kirchhoff):

$$\sum_{l \in \Phi_i^m} \sum_{j \in n} S_{ij} - \sum_{l \in \Phi_i^{md}} \sum_{j \in n} S_{ji} + \sum_{g \in \Omega_i} \sum_{j \in n} S_{gm}^G + \sum_{r \in \Omega_i} \sum_{j \in n} S_{rm}^G + \sum_{s \in \Omega_i} \sum_{j \in n} S_{sm}^G = S_{im}^D \quad La$$

potencia máxima de los generadores debe ser mayor o igual que la demanda:

$$\sum_{g \in \Omega_i} \sum_{j \in n} S_{gm}^G + \sum_{r \in \Omega_i} \sum_{j \in n} S_{rm}^G + \sum_{s \in \Omega_i} \sum_{j \in n} S_{sm}^L - \sum_{s \in \Omega_i} \sum_{j \in n} S_{sm}^D \geq S_{im}^D \quad Ei$$

flujo de potencia en las líneas debe ser menor al límite térmico del conductor:

$$S_{ilj} \leq S_{ilj}^{max} \cdot X_{ilj} \quad \forall i \in N, \forall k \in \Phi_i, j \in R$$

Límite de la potencia activa:

$$P_i^{min} \leq P_i^G \leq S_i^{max} \quad \forall i \in N_d, \forall k \in \Phi_i, j \in R$$

Límite de la potencia reactiva:

$$Q_i^{min} \leq Q_i^G \leq Q_i^{max} \quad \forall i \in \Psi_i, \quad \forall n \in N_g$$

$$-\pi \leq \delta_n \leq \pi, \quad \forall n \in N / \{n_s\}$$

$$\delta_n = 0, \quad n_s: swing bus$$

$$Y_{ji}^s \leq G_{g,i} \quad \forall ji$$

Resultados

La tendencia de la expansión de la generación de acuerdo a los diferentes escenarios se observa en las tablas 6(a), 6 (b) y 6(c). En el escenario determinista 1 es cuando existe menor generación así como el costo es menor. En este caso de estudio se puede observar las decisiones de inversión cambian de acuerdo a la probabilidad de cada escenario.

Tabla 6 (a) Expansión de la generación escenario 1

| GENERADOR | POTENCIA(KW) | |
|--------------------------|--------------|---------|
| | DETERM. | PROB |
| GENERADOR CONVENCIONAL 2 | 1352.8 | 1217.52 |
| GENERADOR CONVENCIONAL 5 | 1887.8 | 1699.06 |
| GENERADOR CONVENCIONAL 8 | 1596.0 | 1436.4 |
| GENERADOR RENOVABLE 1 | 5935.0 | 4741.5 |
| GENERADOR RENOVABLE 2 | 6000.0 | 6000.0 |
| GENERADOR RENOVABLE 3 | 2450.2 | 2205.2 |
| GENERADOR RENOVABLE 4 | 3535.5 | 3182.0 |
| GENERADOR RENOVABLE 5 | 1748.0 | 1573.2 |
| GENERADOR RENOVABLE 6 | 1161.3 | 1045.2 |
| COSTO | 698522 | 658149 |

Tabla 6 (b) Expansión de la generación escenario 2

| GENERADOR | POTENCIA(KW) | |
|--------------------------|--------------|---------|
| | DETERM. | PROB |
| GENERADOR CONVENCIONAL 2 | 1623.4 | 2435.0 |
| GENERADOR CONVENCIONAL 5 | 2265.4 | 0.0 |
| GENERADOR CONVENCIONAL 6 | 0.0 | 3762.0 |
| GENERADOR CONVENCIONAL 7 | 0.0 | 6000.0 |
| GENERADOR CONVENCIONAL 8 | 0.0 | 5714.9 |
| GENERADOR CONVENCIONAL 9 | 4237.2 | 640.9 |
| GENERADOR RENOVABLE 1 | 6000.0 | 6000.0 |
| GENERADOR RENOVABLE 2 | 6000.0 | 6000.0 |
| GENERADOR RENOVABLE 3 | 2940.3 | 4410.4 |
| GENERADOR RENOVABLE 4 | 4242.6 | 6000.0 |
| GENERADOR RENOVABLE 5 | 2097.6 | 3146.4 |
| GENERADOR RENOVABLE 6 | 1393.5 | 2090.3 |
| COSTE | 818087 | 1147679 |

Tabla 6 (c) Expansión de la generación escenario 3

| GENERADOR | POTENCIA(KW) | |
|--------------------------|--------------|----------|
| | DETERM. | PROB |
| GENERADOR CONVENCIONAL 2 | 1758.6 | 1055.2 |
| GENERADOR CONVENCIONAL 5 | 2454.2 | 1472.5 |
| GENERADOR CONVENCIONAL 8 | 0.0 | 1244.9 |
| GENERADOR CONVENCIONAL 9 | 5590.4 | 0.0 |
| GENERADOR RENOVABLE 1 | 6000.0 | 3309.3 |
| GENERADOR RENOVABLE 2 | 6000.0 | 6000.0 |
| GENERADOR RENOVABLE 3 | 3185.3 | 1911.2 |
| GENERADOR RENOVABLE 4 | 4596.2 | 2757.7 |
| GENERADOR RENOVABLE 5 | 2272.4 | 1363.4 |
| GENERADOR RENOVABLE 6 | 1509.7 | 905.8 |
| COSTE | 871868.2 | 601080.1 |

En la figura 2 (a-f) se puede observar el comportamiento de la generación por

periodos y en los diferentes escenarios, tanto determinista como estocástico.

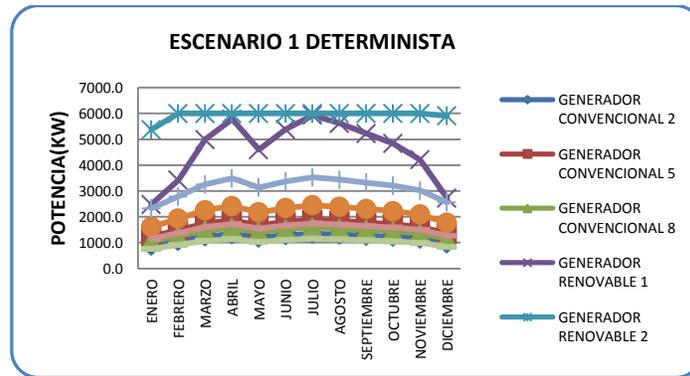


Figura 2 (a) Expansión de la potencia de los generadores de la red Escenario 1 determinista

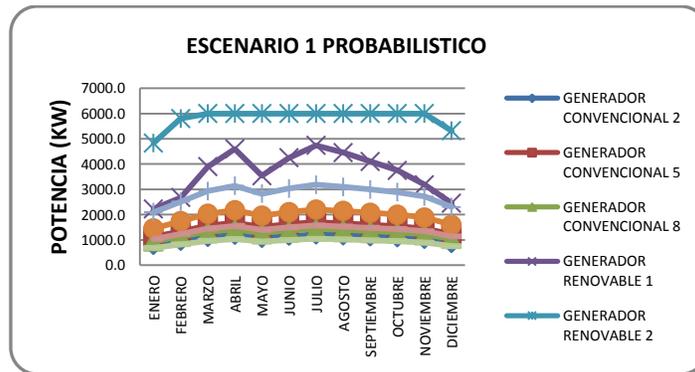


Figura 2 (b) Expansión de la potencia de los generadores de la red Escenario 1 probabilístico

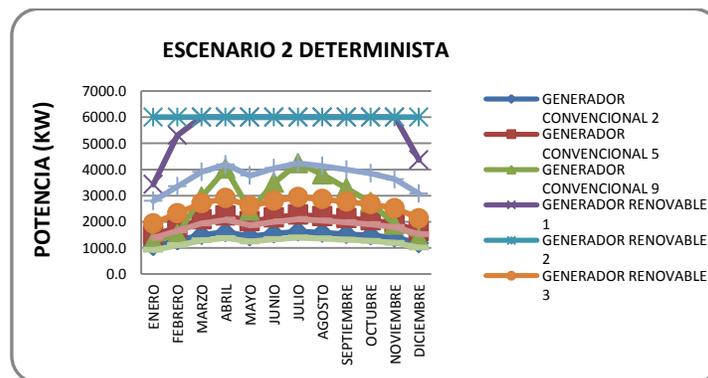


Figura 2 (c) Expansión de la potencia de los generadores de la red Escenario 2 determinista

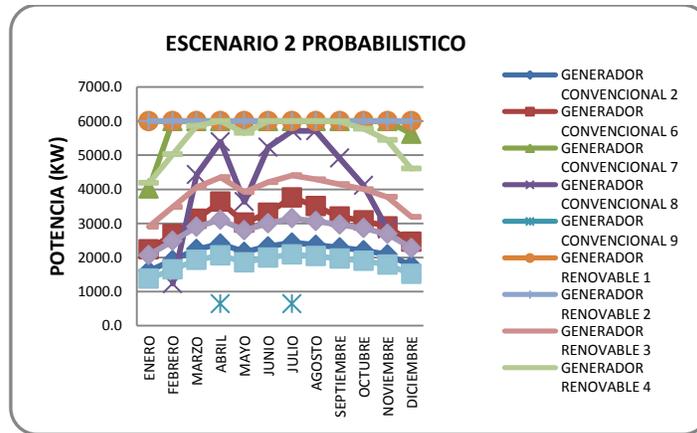


Figura 2 (d) Expansión de la potencia de los generadores de la red Escenario 2 probabilístico

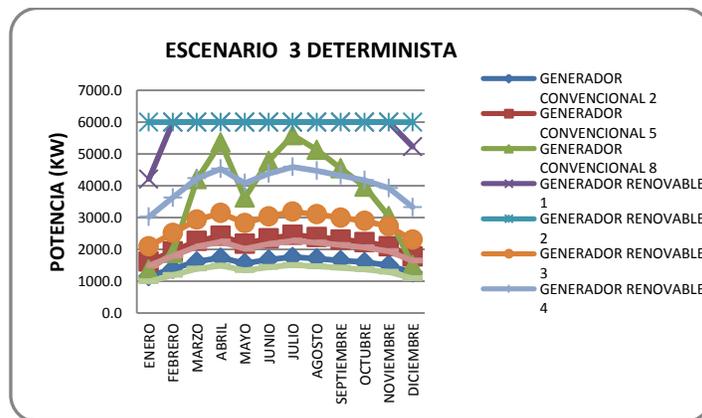


Figura 2 (e) Expansión de la potencia de los generadores de la red Escenario 3 determinista

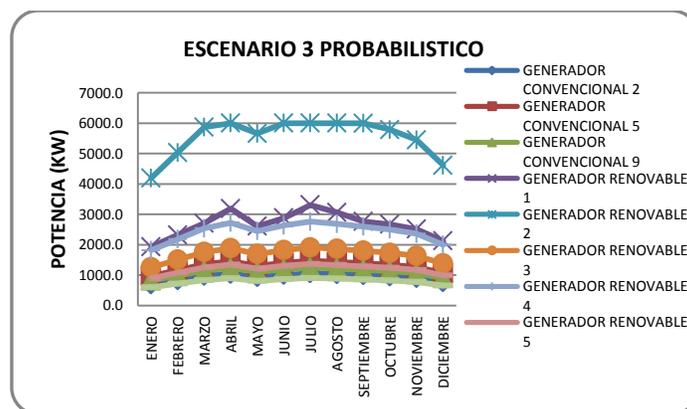


Figura 2 (f) Expansión de la potencia de los generadores de la red Escenario 3 probabilístico

Conclusiones

Se conoce cuál es la expansión de la generación de acuerdo a la distribución de la probabilidad. El comportamiento de la demanda se realiza de acuerdo a estadísticas. En base al crecimiento que se tenga se podrían realizar mejoras, tanto en la misma red de distribución, como en sistemas indirectos. Los resultados obtenidos nos permiten poder realizar una inversión apropiada. El método bietapa es efectivo ya que el tiempo de programación es rápido. La generación distribuida ocasiona que los flujos de potencia en las líneas sean menores, ya que el suministro de la potencia de la demanda se hace en el sitio o cercano al sitio donde se instalen los generadores distribuidos. El costo que se obtiene es el

mínimo al realizar la optimización de acuerdo a las restricciones técnicas que rigen el sistema de distribución. Los requerimientos de la demanda serán cubiertos en cada periodo por los generadores convencionales y renovables. El tamaño de los generadores obtenido para instalarse en el sistema es el mínimo recomendado. Es obvio que se deben de instalar generadores de tamaños comerciales, inmediatamente mayores al tamaño obtenido en esta optimización y también de acuerdo a los planes de expansión que se tengan a largo plazo (entre 10 y 20 años), para no tener que realizar cambios inmediatos en el sistema.

Referencias

Aghaei, J., Shayanfar, H. A., & Amjady, N. (2009). Joint market clearing in a stochastic framework considering power system security. *Applied Energy*, 86(9), 1675-1682.

Alepuz, S., Busquets-Monge, S., Bordonau, J., Gago, J., González, D., & Balcells, J. (2006). Interfacing renewable energy sources to the utility grid using a three-level inverter. *Industrial Electronics, IEEE Transactions on*, 53(5), 1504-1511.

Allan, R., & Billinton, R. (2000). Probabilistic assessment of power systems. *Proceedings of the IEEE*, 88(2), 140-162.

Ault, G. W., McDonald, J. R., & Burt, G. M. (2003). Strategic analysis framework for evaluating distributed generation and utility strategies. *IEEE Proceedings-Generation, Transmission and Distribution*, 150(4), 475-481.

Beale, E. M. (1955). On minimizing a convex function subject to linear inequalities. *Journal*

of the Royal Statistical Society. Series B (Methodological), 173-184.

Bouffard, F., & Galiana, F. D. (2008, July). Stochastic security for operations planning with significant wind power generation. In *Power and Energy Society General Meeting-Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21st Century*, 2008 IEEE (pp. 1-11). IEEE.

Carrión, M., Arroyo, J. M., & Alguacil, N. (2007). Vulnerability-constrained transmission expansion planning: A stochastic programming approach. *Power Systems, IEEE Transactions on*, 22(4), 1436-1445.

El-Khattam, W., Bhattacharya, K., Hegazy, Y., & Salama, M. M. A. (2004). Optimal investment planning for distributed generation in a competitive electricity market. *Power Systems, IEEE Transactions on*, 19(3), 1674-1684.

García-Ascanio, C., & Maté, C. (2010). Electric power demand forecasting using interval

time series: A comparison between VAR and iMLP. *Energy Policy*, 38(2), 715-725.

Haesen, E., Driesen, J., & Belmans, R. (2007). Robust planning methodology for integration of stochastic generators in distribution grids. *IET Renewable power generation*, 1(1), 25-32.

Heier, S. (1998). *Grid integration of wind energy conversion systems*. Wiley.

International Energy Agency. 2009. *Ensuring green growth in a time of economic crisis: The role of energy technology*. Paris: IEA

International Energy Agency. (2008). *Renewable energy essentials: Wind*. OECD/IEA.

Krukanont, P., & Tezuka, T. (2007). Implications of capacity expansion under uncertainty and value of information: the near-term energy planning of Japan. *Energy*, 32(10), 1809-1824.

Ramirez-Rosado, I. J., & Gönen, T. (1991). Pseudodynamic planning for expansion of power distribution systems. *Power Systems, IEEE Transactions on*, 6(1), 245-254.

Wang, C., & Nehrir, M. H. (2004). Analytical approaches for optimal placement of distributed generation sources in power systems. *Power Systems, IEEE Transactions on*, 19(4), 2068-2076.