Propuesta de automatización para un sistema de transporte de moldes de arena

O. Zarate Sampedro [1],* R. Ordóñez Flores[1], *J. Bedolla Hernández[1], L.M. García Martínez[1], M.A. Orduña Rosales[2]*
[1]División de Estudios de Posgrado e Investigación, Instituto Tecnológico de Apizaco, Av. Instituto Tecnológico s/n, C.P. 90300, Apizaco, Tlaxcala, México.
[2]Departamento de Ingeniería, Metalúrgica Artesanal S.A. de C.V. Eje Norte no.11, CI Xicohténcatl C.P. 90434, Tetla de la Solidaridad, Tlaxcala, México.

**ing.oscarzs@hotmail.com*
***Área de participación**: Ingeniería Mecatrónica*

Resumen

Los actuales estándares de manufactura requieren soluciones tecnológicas robustas que permitan garantizar un adecuado flujo de operaciones dentro de las empresas, optimizando la productividad y minimizando la mano de obra. Metalúrgica Artesanal S.A de C.V consciente de estos nuevos paradigmas, enfoca su estrategia tecnológica en la inversión de recursos para la automatización de sus procesos. El presente estudio se centra en el área de fundición, encargada de la producción de artículos de aluminio por molde de arena, donde se plantea un sistema de movimiento de adobes automático. La metodología a utilizar se enfoca en el desarrollo de sistemas mecatrónicos, planteando soluciones inteligentes y de vanguardia a los problemas derivados de la industria. Como resultado de esta primera etapa, se propone un sistema automático para el movimiento de adobes que establezca un circuito cerrado que una todas las operaciones del proceso para incrementando su productividad.

***Palabras clave**: Automatización, Proceso, Sistema, Tecnología.*

Abstract

The current manufacturing standards require robust technological solutions to ensure an adequate flow of operations within companies, optimizing productivity and minimizing labor. Metalúrgica Artesanal S.A de C.V aware of these new paradigms, focuses its technological strategy on the investment of resources for the automation of its processes. The present study focuses on the foundry area, responsible for the production of aluminum articles by sand mold, where an automatic adobe movement system is proposed. The methodology to be used focuses on the development of mechatronic systems, proposing intelligent and cutting-edge solutions to the problems arising from the industry. As a result of this first stage, an automatic system for the movement of bricks is proposed that establishes a closed circuit that unites all the operations of the process to increase its productivity.

***Key words**: Automation, Process, System, Technology.*

Introducción

Metalúrgica Artesanal S.A de C.V es una empresa dedicada a la fabricación de piezas de aluminio, cerámica, madera, vidrio entre otros materiales, dando como resultado piezas para iluminación o decoración. La planta ubicada en Cd. industrial Xicoténcatl, perteneciente al municipio de Tetla, Tlaxcala cuenta con capacidad para atender pedidos de toda índole bajo un riguroso control de calidad, sin embargo, sus procesos deben mejorar de forma continua. En años recientes la empresa ha invertido en Investigación Desarrollo e Innovación (I+D+I) formando un Departamento de Ingeniería que se encarga de desarrollar de manera permanente nuevas propuestas para optimizar recursos e incrementar la calidad de sus productos. (Metalurgica Artesanal S.A de C.V, 2018)

La naturaleza artesanal, y el asociado valor agregado que esto confiere, son elementos de vital importancia para los procesos productivos de la empresa. Sin embargo, los cambios tecnológicos actuales requieren hacer más

rec. 31/ago/2018, acc. 14/sep/2018

eficientes estos procesos, apegándose al compromiso ambiental y social adoptado por la empresa. Entre las soluciones establecidas para incrementar la capacidad de producción se adquirió un equipo automático para la elaboración de moldes de arena. Sin embargo, este dispositivo aún no se encuentra operando al total de su capacidad nominal, dado que las operaciones de transporte y vertido de material aún se realizan de forma manual.

Conservar la línea de producción con estas características, incrementa la probabilidad de ocurrencia de accidentes, pues se trabaja con aluminio fundido a 650 °C. De acuerdo a lo anterior, se propone un sistema automatizado para transportar adobes, que permita crear un circuito cerrado que contemple las actividades principales de la línea: recepción del molde de arena, llenado de los moldes con el vertido en turno, enfriamiento del vertido hasta su solidificación, retirada del molde y regreso de las bases de los moldes al punto de recepción. El proyecto tiene como objetivo responder a las necesidades de la empresa Metalúrgica Artesanal S.A de C.V proponiendo alternativas de solución basadas en las tecnologías emergentes de automatización, con el fin de mejorar la eficiencia del proceso y hacerlo menos riesgoso.

Metodología

Para obtener el elemento diferencial de la propuesta, hubo que realizar un monitoreo tecnológico sobre patentes de sistemas similares, así como artículos que describan otras soluciones factibles. De esta búsqueda resultaron las patentes: MX2015009526, “Sistema para automatización de banda transportadora con retroalimentación visual” (Cortés, 2017); MX2016011850, “Sistema de control y automatización de actuadores” (Ortega, 2018); AR108052, “Conjunto de rodillo transportador, uso del mismo y tapa terminal de un rodillo transportador” (Dubois, 2018), entre otras, que en común tienen aplicaciones de automatización en procesos industriales. Sin embargo, ninguna de estas ha sido aplicable a procesos de fundición de aluminio o de otro metal. Por lo que el elemento diferencial del presente proyecto será la selección de materiales para esta aplicación y fundamentalmente la migración de un proceso que actualmente se realiza de manera artesanal a otro de manera automático. Dentro de la literatura consultada existen diversos artículos que hablan sobre sistemas automatizados y herramientas de apoyo a la producción, como el expuesto por Velázquez E. y otros, sobre el sistema automático para extender rollos de tela (Velázquez, 2018), o bien lo expuesto por Córdova G. y Pozos J. sobre el diseño mecánico de una encajonadora de latas (Morales, 2012). Sin embargo, no hay evidencia de ningún dispositivo con características similares al sistema propuesto.

El diseño es un proceso iterativo que permite proyectar diferentes sistemas revisando y ajustando en diferentes momentos las partes que lo integran, por lo que es un proceso complejo que involucra diversas disciplinas y habilidades. El enfoque mecatrónico reside en la participación sinérgica de disciplinas como la electrónica, la programación y la ingeniería de control, dando como resultado sistemas mucho más precisos y flexibles. Con base en lo anterior se propone una metodología que abarque las distintas etapas para la generación de un prototipo, que eventualmente tenga posibilidades de ser implementado. Así se define en primer término la necesidad a atender a partir del análisis de la problemática, como siguiente paso se especifican los requerimientos y se dan diferentes propuestas de solución, se selecciona la idónea culminando el proceso con el diseño detallado.

Análisis del Problema

Para la empresa, el área de Fundición es una de las más importantes, pues se encarga de elaborar piezas de aluminio a partir del vertido en moldes de arena o adobes. Actualmente existen cuatro líneas que procesan adobes en prensas manuales y una más que los realiza a partir de una máquina de moldeo automática. Dada la demanda de artículos y la adquisición de este nuevo equipo de moldeo, resulta necesario adecuar los sistemas de manejo y transporte de moldes a los nuevos estándares de producción. Se requiere un sistema que sea más rápido, más eficaz y que permita mantener la operatividad de la línea acorde a la demanda.

Elaboración de una especificación

Se realizó la estandarización del proceso actual a partir de un estudio de métodos del sistema de producción con el objetivo de tener un punto de comparación y proponer una solución que permitiera incrementar los datos de productividad de la línea. Como resultado se obtuvieron los diagramas de operaciones, de recorrido, así como los tiempos de cada operación, para definir parámetros del nuevo sistema automático como: velocidad de los

sistemas de transporte, velocidad de los actuadores, entre otros. A continuación, en la figura 1 se muestran los resultados del análisis del proceso.

Resumen			
Descripción	**Presente**	**Propuesto**	**Ahorro**
Operación	13	11	2
Transporte	3	3	0
Demoras	1	1	0
Inspección	1	1	0
Almacenamiento	0	0	0
Tiempo (s)	**3023.35**	**1041.25**	**1982.1**

Figura 1. Resultados de la fase de análisis

Propuesta de Solución

Se buscó migrar el flujo de moldes hacia un circuito cerrado que permita una mejor interacción de las operaciones para agilizar el proceso y disminuir los riesgos a la salud. En la figura 2, se expone el esquema del nuevo sistema de producción. Se propone un sistema mecatrónico de cilindros, bandas y cadenas, que soporte adecuadamente el peso de los moldes, con una capacidad de hasta 18 adobes cada uno.

El material para el soporte estructural está compuesto por perfiles tubulares con ciertos ángulos para formar puentes fijos que soporten el peso del molde. Los elementos motrices de mayor uso son la banda transportadora, un motorreductor eléctrico, poleas, engranajes y elementos dinámicos que en conjunto conforman el sistema motriz. Los elementos deslizantes, se proponen para soportar la carga, ya sea de forma directa o indirectamente tratándose de la correa o banda, considerando parámetros como: velocidad, esfuerzo y tensión de acuerdo a la capacidad de carga a transportar en la banda.

El tambor motriz y de retorno tiene como función actuar como poleas, ubicándose al principio y al final de la banda transportadora, para ello se consideran factores de potencia, velocidad y ancho de la banda. La banda transportadora como se observa en la figura 3, tienen una longitud de 10.2m, ancho de 0.44m y altura de 0.94 m.

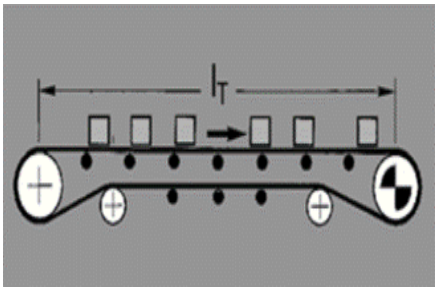

Figura 2. Componentes de la banda transportadora

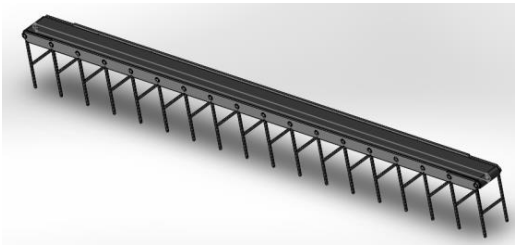

Figura 3. Diseño de la banda transportadora

Diseño detallado

El concepto de automatización se asocia con la eliminación o disminución de la participación humana en los diferentes procesos productivos teniendo en cuenta la aplicación de sistemas mecánicos, electrónicos y computarizados, con el fin de operar y controlar la producción con mayor eficiencia y eficacia. Para que el sistema de control se encargue de la toma de decisiones ante determinados comportamientos de la planta. (Perez, 2009) La topología empleada para el control del sistema de transporte de moldes de arena se muestra en la figura 4.

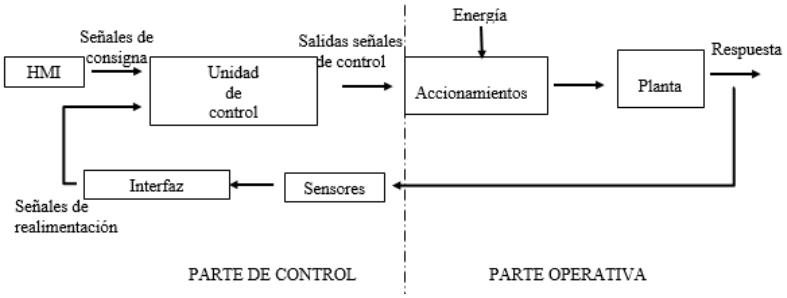

Figura 4. Diagrama de bloques del sistema

Las normas que rigen la propuesta de automatización son las siguientes:

1. Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEDE-2012 Instalaciones Eléctricas el cual responde a las necesidades que se requieren para la utilización de la energía eléctrica en las instalaciones eléctricas.
2. IEC60529. Comisión Electrotecnia Internacional que se usan para identificar niveles de protección contra el ingreso. Normalmente conocida como la Protección, estos códigos reflejan la capacidad del gabinete eléctrico de proteger contra el acceso a partes electrificadas por parte de personas, herramientas, humedad, polvo o suciedad.
3. Norma 250 de la Asociación Nacional de Fabricantes de Equipos Eléctricos (NEMA), se ocupa de las especificaciones que detallan los criterios mínimos de la construcción, el rendimiento, pruebas, la corrosión de tableros eléctricos. (Schneider Electric, 2013)

Para el cálculo del motor necesario en esta aplicación, se consideró el peso del adobe, el cual en vacío es de 90Kg. Al verter aluminio, su peso incrementa 0.7 kg y finalmente, al colocar la base de madera en el molde para su traslado se añaden 0.3 kg más, dando como resultado un peso total de 91Kg.

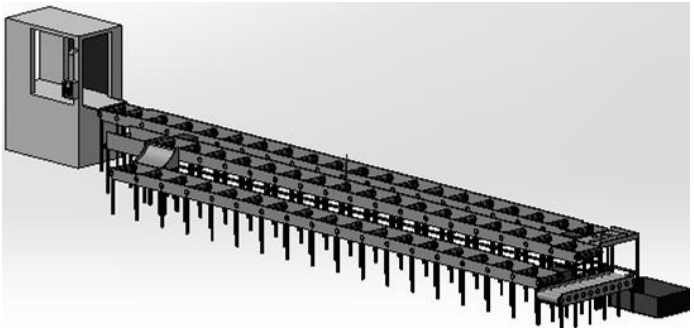

Figura 5. Propuesta del sistema para traslado de moldes de aluminio.

Como en la banda 1,2 y 3 (ver figura 5) caben hasta 18 moldes entonces se obtiene la masa de la mercancía de la banda, y a su vez con base a las especificaciones de los materiales que se usen en las bandas se obtienen los demás pesos que influyen en el cálculo para el motor eléctrico como se muestra en la figura 6.

$$F_u = \mu_R * g * (m + m_B + m_R)$$

Donde:
$F_u =$ Fuerza tangencial (N)
$\mu_R =$ Coeficiente de friccion de rodillo (0.033)
$g =$ Gravedad $\left(\frac{9.81m}{s^2}\right)$
$m =$ masa de mercancia transportada (kg)
$m_B =$ Masa de la banda (kg)
$m_R =$ Masa de todos los tambores (kg)

BANDA 1			BANDA 2			BANDA 3		
m=	1785	Kg	m=	1638	Kg	m=	1638	Kg
Mb=	459	Kg	Mb=	459	Kg	Mb=	459	Kg
MR=	420	Kg	MR=	420	Kg	MR=	420	Kg
mt=	2664	Kg	mt=	2517	Kg	mt=	2517	Kg
Fu=	862.41672	N	Fu=	814.82841	N	Fu=	814.82841	N
Pa=	1.72483344	Kw	Pa=	1.62965682	Kw	Pa=	1.6296568	Kw
Pm=	2.46404777	Kw	Pm=	2.32808117	Kw	Pm=	2.3280812	Kw
Capacidad del motor =	3.35244595	hp		3.16745738	hp		3.1674574	hp
Capacidad comercial de motor	**5**	**hp**		**5**	**hp**		**5**	**hp**

Figura 6. Datos y cálculo del motor eléctrico

Con base a la norma NOM-001-SEDE-2012 de instalaciones eléctricas se hizo el cálculo correspondiente para la selección de conductores eléctricos para los motores eléctricos. Considerando el voltaje de alimentación que se utiliza en la empresa de 220 V AC trifásico, la potencia del motor de 5hp, así como la temperatura de ambiente de trabajo de 32°C. Se establece un número de conductores en canalización de 3, como se describe a continuación:

Para la corriente:

$$I_{pc} = \frac{W}{\sqrt{3} * V_L * F_p * n}$$

Donde;
$W =$ Carga del equipo
$V_L =$ Voltaje de Linea
$F_p =$ Factor de potencia
$n =$ Eficiencia
$I_{pc} =$ Corriente a plena carga

Sustituyendo valores
$w = 3730\ W$ equivalente a 5Hp capacidad del motor
$V_L = 220\ V$
$F_p = 0.9$
$n = 0.8$

$$I_{pc} = \frac{3730\ W}{\sqrt{3} * 220V * 0.9 * 0.8}$$

$$\mathbf{I_{pc} = 13.596\ A}$$

Cálculo por conducción

$$I_C = (I_{pc} * 1.25)$$

Donde;
$I_c =$ Corriente por conduccion
$I_{pc} =$ Corriente a plena carga
Sustituyendo valores;

$$I_C = (13.596 * 1.25)$$

I_C = 16.994 A Valor que se busca en tabla de ampacidades de conductores eléctricos.

Selección del calibre del conductor.
No.AWG=12
Icond=20 A
Sección transversal= 3.31 mm^2

Factor de agrupamiento y temperatura.

$$I_{Conductor} = I_{cond} * F.T * F.A$$

Donde:
F. A= Factor de agrupamiento
F. T= Factor de temperatura
Icond= Ampacidad del conductor eléctrico de acuerdo a la tabla de ampacidad.
Iconductor= Ampacidad real del conductor eléctrico.
Sustituyendo valores;

$$I_{Conductor} = 20A * 1 * 0.91$$

$$\mathbf{I_{Conductor} = 18.2\ A}$$

El resultado de caída de tensión es de 2.83% el cual está en el rango que marca la NOM-001-SEDE-2012. En la figura 7 se muestran los resultados del cálculo de conductores eléctricos.

RESULTADOS		
Calibre AWG;	12	
Sección transversal;	3.31	mm^2
Caída de tensión;	2.83	%
longitud;	35	m
No. Conductores activos en canalización;	3	
Temperatura del área de trabajo;	32	°C
Corriente de conducción;	16.99	A
Corriente real que soporta el calibre AWG	18.2	A

Figura 7. Conductores eléctricos.

Para el cálculo de los pistones requeridos, se consideraron tanto las fuerzas de avance real, como las de retroceso, como se muestra en la figura 8.

Fuerza real de avance

$$F_{eff} = A_1 * P_1 - F_F = (1963.5 mm^2)\left(0.51 \frac{N}{mm^2}\right) - 100.138\ N = 901.2465\ N$$

Fuerza real de retroceso

$$F_{eff} = A_2 * P_2 - F_F = (1649.3361 mm^2)\left(0.51 \frac{N}{mm^2}\right) - 84.1161\ N = 757.0453\ N.$$

RESULTADOS	
Fuerza de retroceso	757.045 N
Fuerza de avance	901.2465 N
Área 1	1963.5 mm^2
Área 2	1649.3361 mm^2
Presión de ajuste	5.1 Bar
Diámetro del embolo	50 mm
Diámetro del vástago	20 mm
Carrera	800 mm

Figura 8. Cálculo del pistón neumático de doble efecto.

Resultados y discusión

Para implementar la propuesta de automatización planteada, se propone el control de cada banda transportadora a partir de un control escalar (voltaje-frecuencia) para regular la velocidad del motor conforme aumenta la frecuencia del voltaje de alimentación. Con ello, se evitarán los picos de corriente para el arranque de cada motor, utilizando un arranque tipo rampa en el variador de velocidad MICROMASTER 440. En este dispositivo, se puede aplicar esta técnica de control ajustando el parámetro P1300, donde se halla la forma estándar de la característica V/F lineal y FCC (Flux current control) programable.

Con ayuda de otros dispositivos como sensores, actuadores eléctricos, actuadores neumáticos, PLC e incluso, una pantalla HMI se puede realizar la monitorización y el control del sistema automatizado para el transporte de moldes.

Se realizó una selección de materiales considerando las características eléctricas y neumáticas de los dispositivos, así como, las características propias del proceso y la robustez de cada uno de ellos, así se tienen: interruptores mecánicos de limite (XCKP2145G11), motores eléctricos asíncronos trifásicos de AC de 5hp de potencia y

alimentación a 220 V AC /440 V AC a 1800 rpm, PLC siemens S7-300 o S7200, pantalla HMI Simatic TP900, Relevadores, Contactores mecánicos, Variadores de velocidad Micromaster 440 siemens de alimentación trifásica 220 V AC /440 V AC, cable tipo Olflex calibre 10 y 12, elementos de accesorios como clemas, bornes, gabinete de control, riel DIN, botones de paro de emergencia tipo hongo, lámparas indicadoras, electroválvulas 4/2 con retorno de muelle, pistones neumáticos serie DNC-50-800-PPV-A (FESTO, 2015) En la figura 9, se observa la ubicación de cada uno de los elementos dentro del sistema.

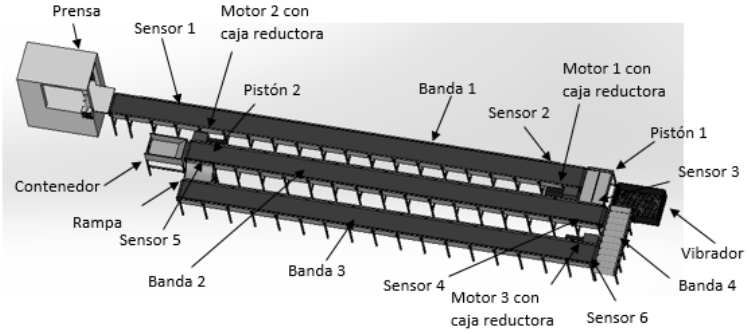

Figura 9. Componentes eléctricos y mecánicos en el sistema

La distribución de planta (suministro eléctrico, tablero eléctrico, tablero de mando, ductos eléctricos, tuberías, etc.) se muestra en la figura 10.

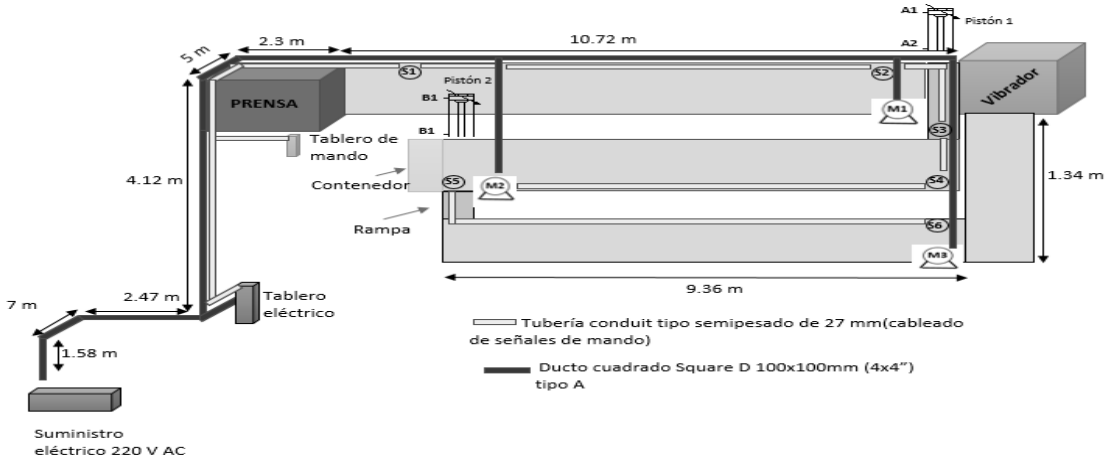

Figura 10. Tuberías y ductos para el cableado

Trabajo a futuro

La presente propuesta de automatización se elaboró en coordinación con Metalúrgica Artesanal S.A de C.V y el Instituto Tecnológico de Apizaco, respondiendo a las demandas del proceso y proponiendo una solución a la problemática detectada. Como parte del trabajo a corto y mediano plazo, se encuentra la implementación del sistema, para mejorar los procesos productivos en la empresa. Para apoyar la obtención de recursos, se busca participar en la convocatoria 2019 del Programa de Estímulo a la Innovación del CONACYT.

Conclusiones

De acuerdo al análisis de la situación actual se puede afirmar que los principales problemas identificados se relacionan con los métodos de trabajo y la ejecución manual de las operaciones. La propuesta de automatización del transporte de moldes de arena implica una mejora en el proceso general dentro de la empresa Metalúrgica Artesanal S.A de C.V, entre los beneficios que se obtienen destacan, disminuir o eliminar riesgos de trabajo, el incremento de la eficacia y eficiencia de las tareas, reducir el riesgo de enfermedades en los trabajadores al cargar manualmente los moldes de arena para transportarlos.

De implementarse, se disminuirán tiempos muertos incrementando en consecuencia, la producción; del mismo modo, se logrará una mayor eficiencia en este proceso. En cuanto al uso de tecnologías, se busca aplicar elementos de vanguardia, como los variadores de frecuencia y Controladores Lógicos Programables, optimizando así el sistema mecatrónico. Además, la propuesta de automatización está basada en la Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEDE-2012 de instalaciones eléctricas, en la norma IEC60529, de la Comisión Electrotecnia Internacional y la Norma 250 de la Asociación Nacional de Fabricantes de Equipos Eléctricos (NEMA).

Referencias

1. Cortés, J. F. (20 de OCTUBRE de 2017). WIPO PATENTSCOPE. Obtenido de WIPO PATENTSCOPE: https://patentscope.wipo.int/search/es/detail.jsf?docId=MX208127424&redirectedID=true

2. Dubois, L. (11 de JULIO de 2018). WIPO PATENTSCOPE. Obtenido de WIPO PATENTSCOPE: https://patentscope.wipo.int/search/es/detail.jsf?docId=AR224370016&redirectedID=true

3. EXSOL. (2017). Automatizacion industrial. Obtenido de Automatizacion industrial: http://www.exsol.com.ar/automatizacion-industrial/

4. FESTO. (12 de junio de 2015). Process Automation. Obtenido de Process Automation: https://www.festo.com/net/SupportPortal/Files/377670/Process_Automation_es_2015-07_low.pdf

5. Harper, E. (2000). El ABC de las instalaciones electricas industriales. Limusa.

6. Josep Balcells, J. L. (2010). Automatas Programables. España: Marcombo.

7. Metalurgica Artesanal S.A de C.V. (2018). Lo hecho en Mexico. Obtenido de Lo hecho en Mexico: http://www.lohechoenmexico.mx/metalurgica-artesanal-s-a-de-c-v/#.W2e--tJKjIU

8. Morales, G. C. (2012). Diseño mecanico y de automatizacion de una encajonadora de latas. Vision Politecnica, 20-23.

9. Ortega, J. C. (12 de MARZO de 2018). WIPO PATENTSCOPE. Obtenido de WIPO PATENTSCOPE: https://patentscope.wipo.int/search/es/detail.jsf?docId=MX219334143&redirectedID=true

10. Perez, E. M. (2009). Automatas Programables y Sistemas de Automatizacion. Barcelona: Marcombo.

11. Schneider Electric. (2013). Instalaciones Electricas Residenciales. Mexico: Schneider Electric Mexico.

12. Siemens. (11 de Mayo de 2015). Siemens Ingenio para la vida. Obtenido de Siemens Ingenio para la vida: https://www.industry.siemens.com/home/aan/es/argentina/Documents/CatalogoProductosSiemens_MAY2015.pdf
13. Velázquez, E. (12 de 10 de 2018). CIATEQ REPOSITORIO INSTITUCIONAL. Obtenido de CIATEQ REPOSITORIO INSTITUCIONAL: https://ciateq.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1020/28.