

## Diseño Mecatrónico de un Sistema de carga para Procesos Secuenciales

Jaime E. Niño Tovar† Omar Lengerke†  
Max Suell Dutra‡ Magda J.M. Tavera†

Fecha de Recibido: 28/07/2008 Fecha de Aprobación: 04/11/2008

### Resumen

Una de las principales preocupaciones de las empresas, se fundamenta en el incremento de los niveles de productividad, aumentando la efectividad y eficiencia de sus procesos. En la búsqueda de garantizar la competitividad en el mercado y mejorar los índices de calidad, existe la tendencia de integración de las operaciones mecánicas con sistemas automatizados y mecatrónicos. En este artículo, se describe la utilización de una metodología de diseño mecatrónico para la automatización de un sistema de carga del tipo puente grúa, basada en herramientas computacionales de diseño (CAD) para la validación del sistema. El sistema diseñado, reduce al máximo la intervención del operario durante el proceso aplicado, para garantizar mayor seguridad y eliminar errores humanos.

**Palabras clave:** *Automatización industrial, puente grúa, diseño mecatrónico, CAD*

### Abstract

One of the main concerns of companies in the field of production is to increase productivity levels, enhancing the effectiveness and efficiency of their processes. In seeking to maintain competitiveness in the market and improve these factors must open their outlook towards integrating its mechanical operations with automated and mechatronics systems. In this paper, we describe the use of a mechatronics design methodology for automating of a overhead bridge crane, using computational tools design (CAD) for system verification. The designed system reduces the maximum intervention by the operator during the processes implemented, in order to provide security and eliminate human errors.

**Keywords:** *Industrial Automation, bridge crane, mechatronics design, Programmable Logic Controller, CAD.*

---

†Universidad Autónoma de Bucaramanga, Laboratorio de Automatización Industrial - Calle 48 Nro. 39-234 Bucaramanga-Santander-Colombia, {jnino,olengerke}@unab.edu.co  
‡ Universidad Federal do Rio de Janeiro – Grupo Robótica COPPE, max@mecanica.coppe.ufjf.br  
†Cidade Universitária Centro de Tecnologia, Bloco G, Ilha do Fundão - Rio de Janeiro - Brasil, mtavera@ufjf.br

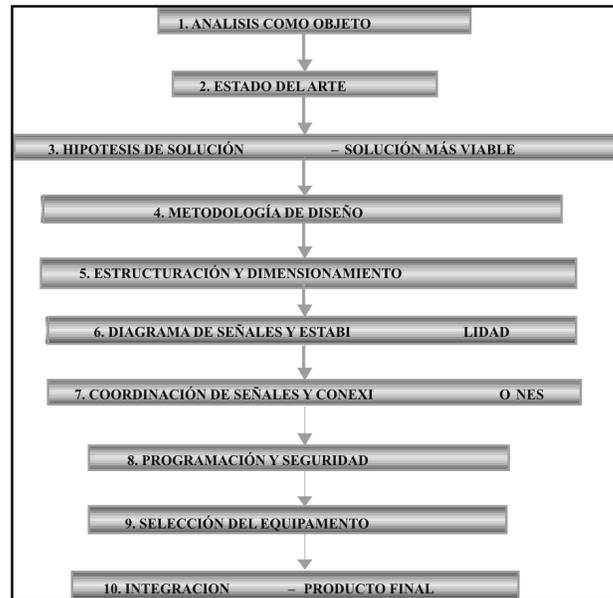
## **1 Introducción**

La mayor parte de empresas del sector de recubrimientos metálicos, utilizan en la actualidad procesos como el cromado, zincado, galvanizado o pinturas especiales para protección y acabado de productos. Estos procesos dependen de varios factores: método de aplicación, medio ambiente, tiempo de exposición, entre otros. Normalmente, funcionan de forma artesanal y poco productiva. Uno de los inconvenientes es el transporte de las piezas involucradas dentro del proceso, debido a las pérdidas de tiempo y exactitud. Generalmente, el transporte de los materiales que son sometidos a los diferentes procesos, es realizado manualmente por un operario. Este es un proceso, que además de ser ineficiente es nocivo para la salud del operario, debido al contacto permanente con este tipo de sustancias, las cuales generan problemas degenerativos. La automatización industrial no es un fenómeno reciente. Desde que la actividad artesanal comenzó a ser sustituida por la industrial, las empresas han procurado la obtención del máximo rendimiento del trabajo mediante la acción combinada de herramientas, máquinas y organización. Los beneficios que este tipo de tecnología proporcionan son innumerables, desde aumentos en los niveles de producción, hasta una mayor eficacia y precisión en la ejecución de las operaciones.

Con el diseño de un sistema de transporte de carga automático dentro de procesos secuenciales y con apoyo de la automatización, se busca diseñar un sistema robusto y seguro, en el que la presencia del ser humano sea “innecesaria”, aislándolo de tareas tediosas y repetitivas que puedan ocasionar problemas de salud, dando origen a un sistema con ausencia relativa de errores humanos, creando así un llamado “proceso limpio” [1].

## **2 Diseño Mecatrónico**

La mecatrónica, a pesar de no tener una definición fundamentada se puede afirmar que conceptualmente, mecatrónica representa la integración tecnológica direccionada a la utilización o implementación de sistemas modernos en plantas industriales. De igual manera, una nueva orden económica está exigiendo mayor competitividad de las empresas, que es alcanzada únicamente con un mayor nivel de automatización de los procesos, esto significa una mayor demanda en diversas áreas del conocimiento como ingeniería mecánica, electrónica y sistemas computacionales. Conforme la evolución tecnológica continúa rompiendo barreras de lo imposible, el mundo acompañará la adición de nuevos conceptos a la definición de mecatrónica [2]. Con la finalidad de diseñar el transportador automático bidimensional, es utilizada una metodología de diseño mecatrónico, persiguiendo una secuencia lógica de pasos, concibiendo que el sistema se desarrolle en un concepto integral, como es observado en la Figura 1 [3].



**Figura 1.** Secuencia lógica del diseño mecatrónico para la construcción de un puente grúa.

El primer paso es la identificación, análisis y efectos del problema. La determinación del problema de transporte, está enfocada a los procesos secuenciales como el galvanizado, que además de limitar la producción, mantiene a los operarios en contacto directo con los gases nocivos producidos. Posteriormente son estudiadas las diferentes soluciones posibles al caso en estudio, para finalmente plantear una hipótesis para llegar a una solución viable del problema. En la industria existen diversos sistemas de transporte mecánico, como por ejemplo el puente grúa, que es usado comúnmente en espacios reducidos y con capacidades de carga elevadas [4].

La automatización para este mecanismo, se convierte en una solución viable, debido a que acaba con el problema de transporte manual y disminuye los efectos y consecuencias ocasionados, permitiendo eliminar errores humanos, además de apartar al operario de tareas tediosas, repetitivas y peligrosas. La automatización enfocada correctamente brinda seguridad, robustez, estabilidad y confiabilidad al sistema.

El siguiente paso es el dimensionamiento y la estructuración del dispositivo transportador, iniciando con el lugar de ubicación (taller), carga a transportar, esfuerzos y deformaciones a los que está sometido. Las tecnologías utilizadas para integrar sistemas computacionales de auxilio al diseño, son conocidas en la literatura y en la práctica por

diversas denominaciones. No apenas, la metodología seguida, en especial las herramientas utilizadas, tienen influencia en la concepción y el resultado final de un producto. En la sociedad moderna, la utilización de los computadores como medio de expresión, generación y manipulación de la información es imprescindible.

En el contexto del CAD (Diseño Asistido por Computador) surge la necesidad del intercambio de datos y compartimiento de información en las actividades de desarrollo del producto. Actualmente, los sistemas CAD están ampliamente difundidos en el medio industrial como un todo y sus aplicaciones son envolventes en cuanto al dominio de actuación. Con un cierto grado de confiabilidad auxilian en el diseño de formas (vigas, columnas, uniones, etc.) y manipulación de dimensiones.

Posteriormente, es realizado un estudio del tipo de señales de entrada para desarrollar el control y la estabilidad del sistema mecatrónico integral. Debido a que el galvanizado es un proceso secuencial, es indispensable controlar variables como: la posición de las piezas a transportar en cada una de las etapas del proceso y las velocidades tanto de elevación como de translación producidas por los motores de inducción del trole y el elevador.

El control de velocidad de los motores de inducción es realizado por lo general mediante la implementación de variadores de velocidad [5] [6]. Esta solución, además de ser ampliamente usada en la industria, es el procedimiento ideal para el caso del transportador en cuestión, puesto que es una alternativa que brinda estabilidad, robustez y precisión al sistema.

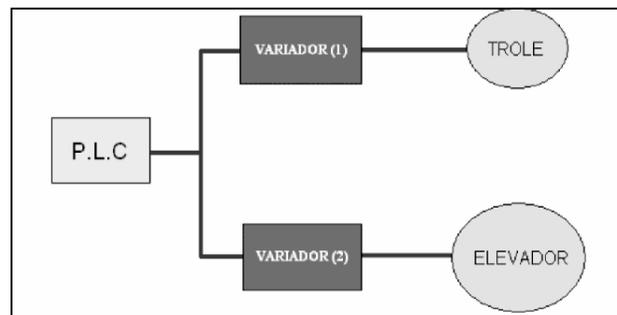
El problema de control de la posición del cargador sobre la viga del puente grúa, es realizado con la incorporación de sensores electromecánicos a lo largo de la viga principal, los cuales tienen la función de emitir señales de presencia del cargador en lugares específicos a lo largo de la viga, indicando así las etapas del proceso secuencial.

El enlace de las señales de entrada y salida producidas por los sensores, generadas por los variadores para controlar la velocidad de los motores, son realizadas por autómatas programables (PLC). El PLC además de manipular señales digitales brinda rapidez, robustez, exactitud, flexibilidad, confiabilidad y seguridad al sistema [7] [8] [9].

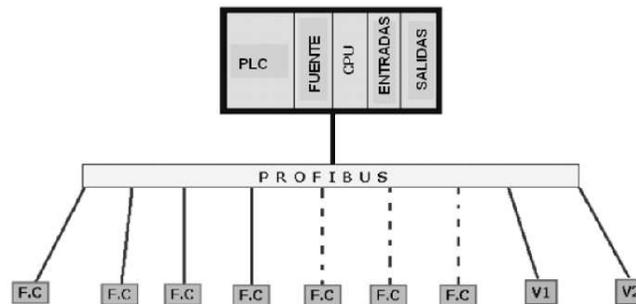
El tipo de conexiones necesarias para establecer una comunicación entre el PLC, los sensores y los actuadores del sistema son estudiadas, con el fin de permitir un flujo coherente y sincrónico de las señales.

Para la existencia de simultaneidad y rapidez en la comunicación entre los sensores y actuadores son conectados en paralelo (Figura 2) o formando una conexión de tipo bus (Figura 3). Por las necesidades de

velocidad de respuesta (transmisión de datos) la accesibilidad para el PLC, los variadores y la manipulación de las variables discretas, la comunicación es realizada por medio de una red tipo PROFIBUS (medio).



**Figura 2.** Conexiones generales en paralelo.



**Figura 3.** Conexiones para la comunicación de los finales de carrera (F.C.) (sensores electromecánicos) y los variadores (V) encargados de controlar los motores.

Las señales a manipular son de tipo digital, buscando uniformidad y coordinación entre cada uno de los componentes (Figura 4). Las señales de entrada indican presencia o no, captadas por los sensores electromecánicos y las señales de salida controlan los actuadores con funciones de tipo: SET y RESET (Figura 5).

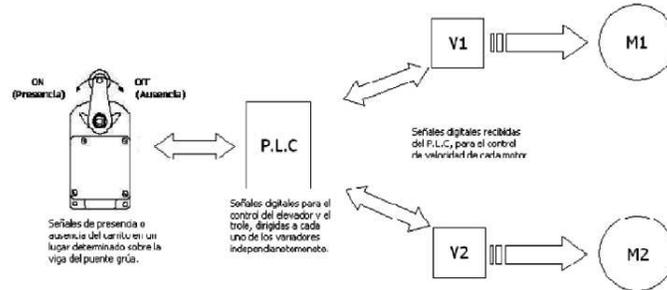


Figura 4. Flujo de señales del sistema para el control del proceso.

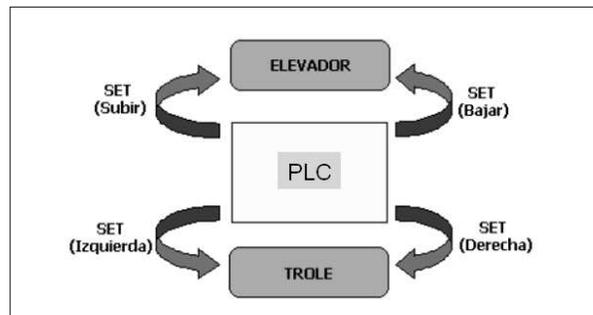


Figura 5. Señales transmitidas por el autómata para el control de los motores.

Decidido el tipo de comunicación y el tipo de señales, son desarrollados los esquemas de conexiones eléctricas de los variadores con las líneas trifásicas y los motores (Figura 6).

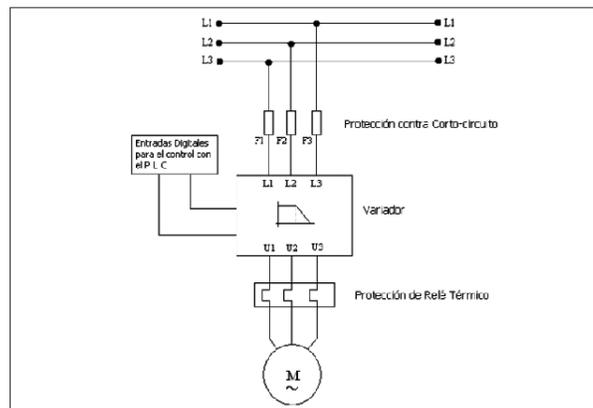


Figura 6. Conexión eléctrica de los variadores de velocidad, con la red trifásica y el motor.

Posterior al cálculo y selección de cada una de las piezas y dispositivos involucrados en el transportador automático bidimensional; una de las últimas etapas dentro del diseño metodológico, es la programación e integración del sistema mecatrónico de una forma lógica, eficiente y segura. La programación es uno de los pasos importantes del diseño del transportador, debido a que en esta etapa se genera la lógica del proceso, introduciendo la seguridad y robustez al sistema por medio de líneas de código. La suposición de posibles errores, es indispensable para garantizar la confiabilidad del equipo y la seguridad del operario y la planta.

Finalmente, son ensambladas e integradas sinérgicamente las partes que comprenden el transportador automático bidimensional: la estructura del puente grúa (trole y elevador), variadores de velocidad, sensores electromecánicos y el autómatá programable, mediante una red de comunicación que permita una transmisión de señales simultánea y coherente entre cada uno de los dispositivos de control (Figura 7).

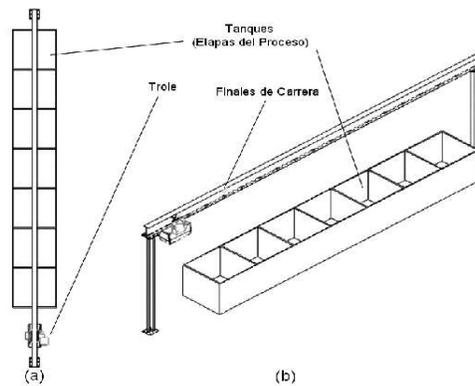


Figura 7. (a) Vista superior, (b) Vista isométrica del transportador automático bidimensional.

### 3 Análisis y Diseño

#### 3.1 Cálculo Estructural de la Viga

DISEÑO A FLEXIÓN POR CARGA MÓVIL. El diseño de la viga o nave principal del puente grúa, se concibe asumiendo que las cargas son distribuidas de forma homogénea en cada una de las ruedas del trole al contacto con la viga [10]. El sistema diseñado se encuentra sometido

principalmente a carga de flexión, por esto es calculado el momento flector máximo iniciando por la presión bajo cada una de las ruedas del trole, así:

$$2P = \frac{Q + G_0}{2} \quad (1)$$

$$M_1 = \frac{P \left( L_1 - \frac{l_1}{2} \right)}{2L_1} \quad (2)$$

Donde,  $P$  es la presión bajo cada una de las cuatro ruedas del trole,  $Q_i$  el peso o carga viva a levantar,  $G_0$  el peso del trole con mecanismo de elevación y cadena,  $M_1$  el momento flector máximo,  $L_1$  la longitud de la viga y  $l_1$  la distancia entre las ruedas del trole. Posteriormente, se aplican los respectivos coeficientes de carga calculados según el trabajo deseado, que dependen de las velocidades de elevación y translación, obteniendo así un cálculo preciso. Finalmente, encontrados los valores de momento flector máximo por carga viva y la presión bajo cada una de las ruedas del polipasto, se procede al cálculo y selección del perfil de la viga a usar [11].

**CÁLCULO Y SELECCIÓN DEL PERFIL.** Teniendo en cuenta una fatiga por flexión admisible según el tipo de acero estructural, se calcula el momento de inercia deseado del perfil ( $J_{erf}$ ), donde la deflexión o flecha ( $f$ ), está dada por:

$$f = \frac{L_1}{750} \quad (3)$$

$$J_{erf} = \frac{P}{48fE} (L_1 - l_1) \left[ 3L^2 - (L_1 - l_1)^2 \right] \quad (4)$$

Obteniendo el momento de inercia del perfil deseado; utilizando catálogos de perfiles de acero, se selecciona la viga según el diseño o perfil necesario para el trabajo requerido. Para el cálculo del momento flector máximo por peso propio  $M_2$ , es utilizado lo siguiente:

$$M_2 = \frac{gL \left( l_1^2 \right)}{8} \quad (5)$$

Donde,  $g$  es el peso de la viga por cada metro. Las restricciones son de apoyo simple simétricas en todas las direcciones. Para el cálculo del

módulo de sección ( $Z_{xx}$  o  $W_x$ ) de la nueva viga es utilizada la siguiente relación:

$$Z_{xx} = W_x = \left( \frac{J_{erf}}{(H/2)} \right) \quad (6)$$

Encontrados los momentos flectores por cargas móviles y por peso propio, se realiza la comprobación de la resistencia de la viga puente, calculando el esfuerzo de trabajo ( $\sigma_{trab}$ ):

$$\sigma_{trab} = \frac{\Phi M_2 + \Psi M_1}{W_x} \quad (7)$$

Donde  $\Phi$  es el coeficiente de impacto según la velocidad de translación y  $\Psi$  es el coeficiente o factor de compensación, según el tipo de grúa. El esfuerzo admisible ( $\sigma_{adm}$ ), es el esfuerzo a la fatiga, correspondiente al acero utilizado. Finalmente, se calcula el factor de seguridad ( $FS$ ), dado por:

$$FS = \frac{\sigma_{adm}}{\sigma_{trab}} \quad (8)$$

**CÁLCULO ESTRUCTURAL DE LAS COLUMNAS.** Para el diseño de las columnas, son calculadas las cargas a las que estará sometida, dada por la suma de la carga a levantar, el peso del dispositivo y el peso de la viga [12] [13]. Al ser una columna de grande dimensión, se puede hacer uso de la ecuación de Euler con el fin de calcular el momento de inercia de la ecuación de carga crítica, de la siguiente forma:

$$\left. \begin{aligned} P_{cr} &= \frac{(\pi^2 EA)}{(KL_e)^2} \\ r &= \sqrt{\frac{I}{A}} \\ P_{cr} &= NP_a \end{aligned} \right\} I = \frac{P_{cr} (KL_e)^2}{\pi^2 E} \quad (9)$$

Donde,  $N$  es el factor de seguridad,  $P_a$  la carga total, para el caso crítico cuando ambos extremos están atornillados tenemos un valor de  $K=1$ ,  $L_e$  es la altura deseada y el módulo de elasticidad del acero usado  $E$ . Con el momento de inercia ( $I$ ), calculado, se localiza en las tablas de perfiles en acero estructural, el perfil en “I” cuyo momento de inercia esté próximo al obtenido y por encima del mismo.

UNIÓN VIGA – COLUMNA. Debido a que el puente grúa no está sometido a cargas externas laterales y todas sus cargas son verticales, a excepción de una carga inercial debida al movimiento del carro a lo largo de la viga; que por ser una magnitud pequeña se considera despreciable. Las uniones se pueden considerar como apoyos simples, lo cual indica que el diseño de las uniones será básicamente constructivo [10] (Figura 8).

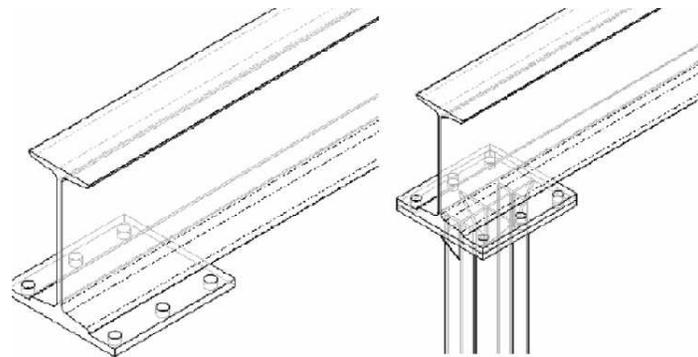
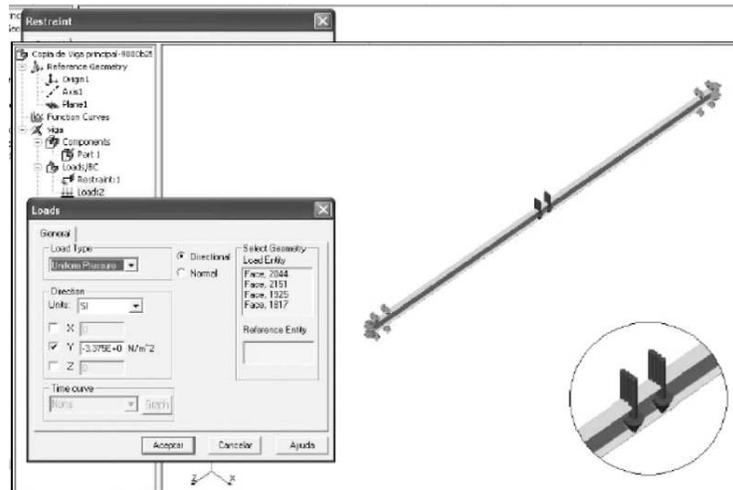


Figura 8. Unión Viga – Columna

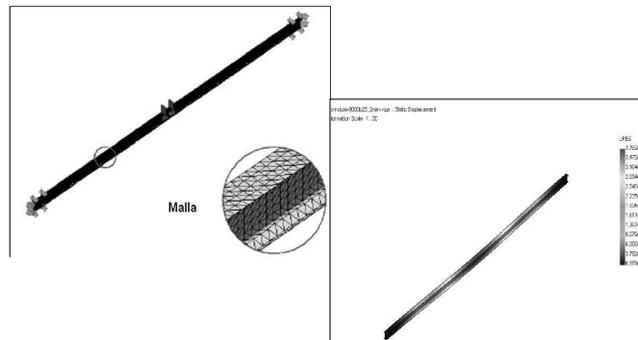
### 3.2 Simulación CAD

La viga del puente grúa es prácticamente el elemento más crítico y delicado de todo el sistema, debido a que es el cuerpo y a la vez la “columna vertebral” del transportador automático. Para brindar confiabilidad al dimensionamiento de esta componente fue implementada una simulación utilizando Cosmos Works, un software computacional de elementos finitos, con el fin de comprobar los esfuerzos y deformaciones a los que estaría expuesta la viga. La simulación se realizó para una viga de 360 Kg, carga total a soportar de 1.8 Ton, constante de pandeo ( $k$ ) de 1, módulo de elasticidad  $207 \times 10^9$  N/m<sup>2</sup> (207 MPa), momento de inercia deseado ( $I$ ) de 23.3 cm<sup>4</sup> y un factor de seguridad de 3 (Figura 9).



**Figura 9.** Simulación de restricciones, para comprobación de esfuerzos y deformaciones

En la Figura 10, se observan los cálculos de la viga seleccionada comprobados con la herramienta computacional, donde es posible detectar que en el caso más crítico, la viga tendrá una deformación alrededor de 3 mm en el centro de la viga de 9 m de longitud, lo cual es despreciable en relación con la longitud total de la viga principal, para esta estructura en particular. En cuanto a los esfuerzos, se puede concluir que están dentro de un margen de seguridad donde el comportamiento del acero tiende a ser estable. El esfuerzo máximo permanece en el caso más crítico por debajo de los 5 MPa.



**Figura 10.** Malla y resultado final de las deformaciones sobre la viga (Unidades en mm).

### 3.3 Analogía y Aproximación de la Función de Transferencia de la Planta

Teniendo en cuenta las características de los bloques funcionales eléctricos y el circuito del motor (Figura 11) [14], se hace una analogía, buscando una aproximación, de la siguiente forma:

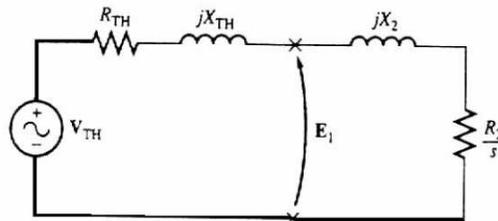


Figura 11. Circuito equivalente resultante simplificado en un motor de inducción [14]

$$v(t) = \left[ i(t)R_{TH} \right] + \left[ L_{TH} \frac{di(t)}{dt} \right] + \left[ L_2 \frac{di(t)}{dt} \right] + \left[ i(t) \frac{R_2}{s'} \right] \quad (10)$$

Aplicando la transformada de Laplace, se tiene:

$$\begin{aligned} v(s) &= \left[ I(s)R_{TH} \right] + \left[ (L_{TH})sI(s) \right] + \left[ L_2sI(s) \right] + \left[ I(s) \frac{R_2}{s'} \right] \\ v(s) &= \left[ I(s) \left( R_{TH} + \frac{R_2}{s'} \right) \right] + \left[ sI(s)(L_{TH} + L_2) \right] \\ v(s) &= I(s) \left[ \left( R_{TH} + \frac{R_2}{s'} \right) + s(L_{TH} + L_2) \right] \end{aligned} \quad (11)$$

Donde  $s'$  es el deslizamiento del motor. Se realiza el cálculo del torque del motor de inducción a carga plena ( $T$ ), de la siguiente forma:

$$T = \frac{P_{out}}{\omega_m} \quad (12)$$

Donde,  $P_{out}$  es la potencia de salida del motor en hp y  $\omega_m$  la velocidad del rotor a carga plena, en rev/min.

Teniendo en cuenta, que el único elemento del circuito equivalente del sistema, donde puede ser consumida la potencia en el entrehierro es la resistencia. La potencia es dada como la potencia de entrada menos la potencia de pérdida en el núcleo y el rotor; por consiguiente la función de transferencia del actuador, está dada por:

$$V(s) = \left[ \frac{2KW(s)}{s} \right] [(R_{TH} + R_2) + s(L_{TH} + L_2)]$$

$$\frac{W(s)}{V(s)} = \frac{s}{2K \left[ \left( R_{TH} + \frac{R_2}{s} \right) + s(L_{TH} + L_2) \right]} \quad (13)$$

### 3.4 Analogía y Aproximación de la Función de Transferencia del Sensor

Los sensores utilizados son finales de carrera electromecánicos, los cuales funcionan internamente con un muelle o resorte que enciende o apaga un contacto, enviando una señal de uno (1) si está accionado y un cero (0) si no lo está. Por esta razón, la función de transferencia de un final de carrera de este tipo es de orden cero. En otras palabras, la función de transferencia del final de carrera ( $W_s$ ) coincide con la constante de restitución del resorte interno, para lo cual es realizada la medición en el laboratorio con un dinamómetro, dando que:

$$W_s = \frac{Y(s)}{X(s)} = K \quad (14)$$

Donde  $K$ , es la constante de restitución del final de carrera.

### 3.5 Analogía y Aproximación de la Función de Transferencia del Controlador

El control de lazo cerrado es generalmente usado cuando se desean respuestas dinámicas rápidas [15] [16]. Cuando los requerimientos del accionamiento necesitan de una respuesta rápida, de alta exactitud en la velocidad o de control del par, el control a lazo abierto no brinda esta posibilidad. Por lo anterior, se hace necesario operar el motor en lazo

cerrado, cuando la operación en régimen dinámico del accionamiento representa un papel fundamente en los indicadores del sistema. Con base en la función de transferencia de un controlador integral, se tiene que [17]:

$$W_c = \frac{K_i}{T_i s} \quad (15)$$

Donde,  $W_c$  es la función de transferencia del controlador (integral),  $K_i$  la ganancia de acción integral y  $T_i$  la constante de tiempo integral. En busca de los valores correspondientes a las constantes del controlador, es utilizado uno de los métodos de ajuste, por medio de criterios de errores de integración mínimos, como es el método de la “integral de valor absoluto del error” (IAE), el cual es un método bastante preciso y usado, que se basa en parámetros de ajuste de tipo experimental [18]. Para el análisis del sistema en tiempo discreto, debido a que las señales son de tipo digital, la función de transferencia del sistema, según los ajustes de integral mínima de error para entrada a perturbación [5], está dada por:

$$G_p = \left[ \frac{600s}{0.00032.62} \right] \quad (16)$$

Multiplicando la ecuación (16) por el retenedor digital de orden cero para el análisis discreto y realizando la transformada Z, se obtiene que la función de transferencia de la planta-actuador, dada por:

$$Z \left\{ \left( \frac{1-e^{-Ts}}{s} \right) \left( \frac{600s}{0.0003s+2.62} \right) \right\} = 600(z - ) \left( \frac{z}{z-0.00067} \right) \quad (17)$$

Con los valores calculados por el método IAE, es obtenida la función del controlador de tipo digital en tiempo discreto con:

$$Ki_d = \frac{K_p}{T_i} \quad (18)$$

Luego,

$$\frac{Ki_d}{1-z^{-1}} = \frac{0.002}{1-z^{-1}} \quad (19)$$

### 3.6 Implementación del Controlador Lógico Programable (PLC)

El transportador automático es diseñado de tal forma que el sistema sea flexible para adaptarse a procesos secuenciales y a su vez, que sea robusto ante los cambios y perturbaciones. En general, cualquier proceso a ser aplicado, debe estar compuesto por  $n$  etapas, la mayoría de las veces las etapas críticas son la primera y la última. La primera, por ser la de reconocimiento y arranque del sistema y la última por ser la de reinicio. La forma de alimentación y la descarga, dependen del tipo de producto a transportar y del tratamiento que se quiera realizar.

En la Figura 12, se observa la secuencia de transporte, que inicia en la etapa (1) y avanza continuamente, deteniéndose un tiempo específico en cada una de las etapas. Finalmente, al llegar a la etapa ( $n$ ), termina el proceso y regresa a la posición inicial, donde se realiza la descarga y permanece disponible para reiniciar. Con el fin de asegurar la posición y el avance del trole a lo largo de la viga, son fijados los finales de carrera electromecánicos, que indican su presencia o ausencia.

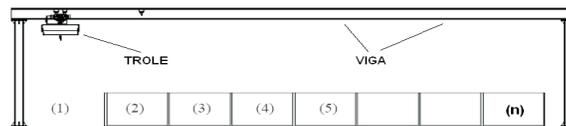


Figura 12. Etapas de procesos secuenciales en general.

El transportador bidimensional, es diseñado con una redundancia, con el fin de tener robustez, seguridad y confiabilidad en el sistema. Son ubicados dos finales de carrera por cada una de las etapas. La etapa inicial por ser una de las más críticas, debido a que funciona en las dos direcciones, contiene cuatro sensores, uno para cada rueda (Figura 10).

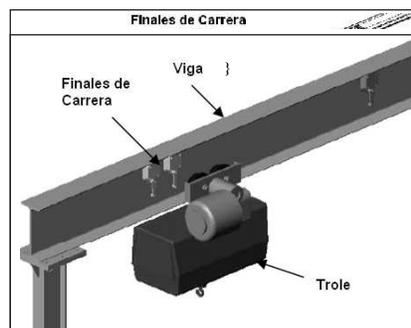


Figura 13. Ubicación de finales de carrera sobre la viga

## 4 Conclusiones

Con la inclusión del puente grúa en procesos secuenciales, se logra eliminar el problema de transporte de carga, puesto que la capacidad de carga se incrementa, aumentando la productividad.

La automatización consigue proteger al operario, puesto que ya no es necesaria la manipulación directa y no estará en contacto directo con los vapores y sustancias nocivas producidas durante el proceso. El operario se convierte en un supervisor en contacto indirecto con el proceso, ya que la lógica del proceso, las tareas tediosas y repetitivas, las realiza el transportador automático, eliminando posibles errores humanos y por ende las impurezas en las superficies de los recubrimientos finales, aumentando así, la calidad del producto terminado y reduciendo defectos en el proceso.

Con la programación del autómatas (PLC), el sistema se hace flexible a cambios del proceso de forma segura, con el fin de mejorar o incrementar el tipo de recubrimiento por medio de los tiempos de permanencia en cada una de las etapas, sin necesidad de reprogramar o cambiar la lógica completa del programa de control del sistema.

Uno de los componentes primordiales del transportador bidimensional es la viga principal, donde se lleva a cabo todo el recorrido del proceso, siendo crítico el cálculo y selección de la misma. Es necesario dar prioridad al uso de ciertos factores para dichos cálculos, como lo son, la carga a levantar, luz o longitud, momento de inercia del perfil y tipo de material.

La selección de los motores, por tener propiedades especiales y ser construidos para trabajos específicos de carga pesada y con repeticiones por unidad de tiempo, es recomendable utilizar motores diseñados específicamente para estos fines. De igual manera, en el diseño de la viga principal, en la columna, se deben utilizar factores como, la longitud efectiva, momento de inercia, áreas de la sección del perfil y radio de giro, principalmente, ya que el uso de ecuaciones como la de Johnson y Euler son críticas, para el correcto diseño de la pieza.

En procesos donde la seguridad es vital, la redundancia tanto de los sensores, como de las variables dentro de la programación de un autómatas programable proporciona confiabilidad en el código y por consiguiente al proceso en general.

La utilización de herramientas computacionales, es un beneficio en este tipo de proyectos ya que brinda seguridad y confiabilidad, en este caso, al diseño del transportador automático bidimensional, por medio de simulaciones y cálculos computacionales. En proyectos que impliquen altos costos de adquisición y montaje, el uso de herramientas computacionales para simulaciones es válido.

La Mecatrónica, dentro de su concepción, se encamina mediante su conocimiento, la eliminación de tareas repetitivas (realizadas por humanos) en procesos industriales y plantea soluciones a problemas que atenten contra la integridad y/o salud de quienes estén involucrados dentro del mismo.

## **Referencias**

- [1] S.J. Derby, Design of Automatic Machinery. Ed. Marcel Dekker, New York, 2005.
- [2] O. Lengerke, M.S. Dutra, Proyectos de Máquinas: en la Industria y la Academia. Revista Clepsidra, v. 4, pp. 21-26, 2007.
- [3] J. McCormac. Diseño de Estructuras de Acero, Método LRFD. México: Alfaomega 1996. p. 159 - 165.
- [4] E. Hellmut, Aparatos de Elevación y Transporte. Tomo 2. Barcelona. Editorial Blume. 1969
- [5] S. Corripio. Control Automático de Procesos – Práctica y Teoría. México: Editorial Limusa. 1999
- [6] K. Ogata. Problemas de Ingeniería de Control Utilizando Matlab. Madrid. Prentice Hall. 1998.
- [7] H. Jack, Automating Manufacturing Systems with PLCs. Version 4.2, Ed. GNU, Boston, 2003.
- [8] J. R. Hackworth, F. D. Jr. Hackworth, Programmable Logic Controllers: Programming Methods and Applications, Prentice Hall, 2003.
- [9] H. Berger, Automating with SIMATIC: Integrated Automation with SIMATIC S7-300/400: Controllers, Software, Programming, Data Communication, Operator Control and Process Monitoring, Ed. Wiley-VCH. 2004.

- [10] W. Beaty, Manual del motor eléctrico. México. Mc Graw Hill. 2000. 1-12 p.
- [11] R. Brockenbrough, Manual de diseño de estructuras de acero. Segunda edición, Bogotá. Mc Graw Hill. 1997. 43 – 63 p.
- [12] S. Chapman, Máquinas eléctricas. Tercera edición. Bogotá. Mc Graw Hill. 2000
- [13] R. Mott, Resistencia de materiales aplicada. Tercera Edición. México. Prentice Hall. 1992.
- [14] R. H. Bishop, The Mechatronics Handbook, CRC Press, New York, 2002.
- [15] R.C. Dorf, R.H. Bishop, Modern Control Systems. 8ª edición, Ed. Addison-Wesley, 1998.
- [16] J.J. D'azzo, C.H. Houpis, Linear Control System Analysis and Design. 4th edition. Ed. McGraw-Hill, 1995.
- [17] H. Berger, Automating with STEP 7 in STL and SCL : Programmable Controllers SIMATIC S7-300/400. Ed. Wiley-VCH. 2005.
- [18] J. Muller, Controlling with SIMATIC : Practice Book for SIMATIC S7 and SIMATIC PCS7 Control Systems, Ed. Wiley-VCH. 2005.