



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

ARTÍCULO CIENTÍFICO

TEMA:

**“MÓDULO DIDÁCTICO ELEVADOR ELECTRO-NEUMÁTICO
CONTROLADO POR MEDIO DE DISPOSITIVO MÓVIL Y OPC”**

AUTOR: Miguel Leonardo Rojas Tobar

DIRECTOR: Ing. Diego Ortiz

**IBARRA - ECUADOR
2014**

MÓDULO DIDÁCTICO ELEVADOR ELECTRONEUMÁTICO CONTROLADO POR DISPOSITIVO MOVIL Y COMUNICACIÓN OPC

Rojas Tobar Miguel Leonardo.
mikele.rt@gmail.com
Universidad Técnica del Norte

Resumen— Este trabajo consiste en la construcción de un módulo didáctico, que está orientado a las innovaciones futuras para empresas que busca fortalecer sus procesos industriales aplicado al aprendizaje en los laboratorios de Mecatrónica de la Universidad Técnica del Norte, en las que aprovechamos las fases fundamentales de la ingeniería: a) Diseño Mecánico, b) Neumática, c) Electrónica y Control, mismas que abarcan todo lo esencial de Mecatrónica. El módulo tiene una estructura de tipo tijera, para poder elevar la carga de 90 kg, los cilindros neumáticos de doble efecto ubicados en la parte inferior de la estructura realiza un empuje al mecanismo de forma horizontal generando así que el sistema comience a elevar la carga. El software desarrollada en ordenador y una aplicación creada en J2ME-Netbeans Android son los encargados de hacer la activación del módulo didáctico, cada uno utiliza sus propias comunicaciones la cual son: Comunicación OPC y Bluetooth respectivamente.

Índice de Términos—Elevador Electroneumático, OPC (Ole Process Control)

I. INTRODUCCIÓN

Es necesario conocer las innovaciones tecnológicas que se van desarrollando en la actualidad, el modulo didáctico presenta los recursos de automatización industrial con utilizando los protocolos de comunicación OPC y comunicación inalámbrica que se pueda realizar prácticas de laboratorio en las instalaciones de la Facultad de Ciencias Aplicadas.

Con este proyecto se busca dotar al laboratorio de Mecatrónica de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas con módulo tecnológico didáctico elevador electro neumático controlado por dispositivo móvil y comunicación OPC que facilite el desarrollo de las prácticas de manera adecuada en cuanto se refiere a las asignaturas de Automatización - Redes Industriales, Instrumentación y Neumática para realizar prácticas de automatismos industriales.

El sistema presenta tres partes fundamentales, 1) Mecánica, 2) Electrónica - Control y 3) Neumática. La parte mecánica

presenta una estructura de tipo tijera robusta para soportar cargas livianas máximas de 90 kg, Los actuadores utilizados son cilindros neumáticos de doble efecto que trabaja a una presión máxima de 12 PSI con un regulador de caudal a las entradas de aire de la electroválvula 5/3, esta regulación de caudal es indispensable para disminuir la velocidad de entrada y salida de vástago de los actuadores para poder evitar choques en la estructura. El desarrollo del software en ordenador fue creada en lenguaje BASIC en el compilador VisualBasic.net, el desarrollo de estas aplicaciones hace que las interfaces de usuario sean amigables, utilizando las librerías OPC.dll que permiten la comunicación entre el HMI en ordenador con el PLC.

Así de esta forma visualiza por pantalla y realiza el accionamiento del sistema activando las entradas digitales, verifica el estado de las entradas digitales, adquisición de datos de forma analógica mediante el sensor ultrasónico MAXBOTIX que determina la altura de elevación.

La aplicación para el móvil fue creada en J2ME, programada en JAVA, esta aplicación realiza la conexión inalámbrica por medio de bluetooth, esta aplicación es amigable para el usuario y capaz de activar al modulo elevador a una distancia máxima de 100m. Utilizando los recursos de la aplicación, el módulos elevador también puede ser activada utilizando el sensor acelerómetro integrada en la aplicación siempre y cuando el móvil lo tenga.

II. DESARROLLO DE CONTENIDOS

A. Selección de elementos constitutivos

1) Estructura del elevador tipo tijera:

Una estructura es un grupo de elementos que constituyen el cuerpo de la máquina, tal que, se describe a continuación las partes diseñadas en el elevador, con la ayuda del software INVENTOR se realizo un bosquejo del sistema, la cual, se analizó los esfuerzos y deformaciones del sistema que genera, así poder ajustar a la estructura que sea robusto y seguro al momento de utilizarlo.

Se ha elegido el material del elevador el ACERO ASTM-A500, son perfiles rectangulares de medidas de 25x50 mm con un espesor de 2 mm. con las siguientes características.

- Esfuerzo a la Fluencia de 269 MPa
- Esfuerzo máx. 360 MPa

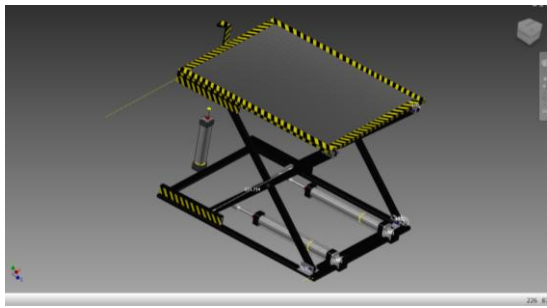


Figura 1. Estructura del elevador

2) Brazos o tijeras:

Los brazos están entrecruzados entre sí formando un mecanismo de tipo tijera. Se desarrolla el calculo de reacciones del sistema teniendo en cuenta la posición de los actuadores que es de forma horizontal. la Figura 2. indica el diagrama de cuerpo libre para los cálculos respectivos.

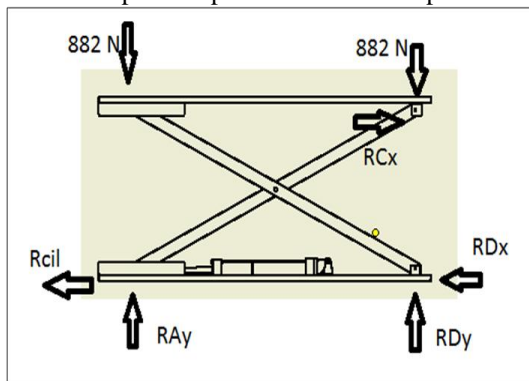


Figura 2. Diagrama general del elevador

Entendiéndose que las existen 2 reacciones móviles que permiten que la base superior del elevador comience a ascender, y dos reacciones fijas para mantener a la estructura en equilibrio. Siendo Rcil la fuerza ejercida por el cilindro; RAy - RDy reacciones con respecto al eje Y; RDx reacciones con respecto al eje X y la carga total a elevar de 90 kg - 882N.

Donde:

- $\sum R_y = 0$ Sumatoria de Reacciones con respecto a Y
- $\sum R_x = 0$ Sumatoria de Reacciones con respecto a X
- $\sum M_d = 0$ Sumatoria de momentos con respecto al Punto D

Ecuación 1. Sumatoria de Reacciones y Momentos

$$RD_y - E_y = 882$$

$$RD_y = 2108.7 \text{ N}$$

$$-882(1000) - E_y(719) = 0$$

$$E_y = -1226.7 \text{ [N]}$$

Para el cálculo de Rcil se desarrolla utilizando el método de trabajo virtual el cual define la traslación de una fuerza ubicada en un punto A, hacia A' considerando las siguiente ecuación:

$$dU = F ds \cos \alpha$$

$$F_{cil} dAP - (W)dAB = 0$$

Donde:

- du = Trabajo virtual del sistema
- Fcil = Fuerza del cilindro
- dAP = Diferencial desplazamiento del vástago del cilindro

W = carga de 882 N

dAB = Diferencial desplazamiento de elevación

Ecuación 2. Trabajo Virtual

Entonces:

$$\sin(\alpha) = AB/l$$

$$AB = l \sin(\alpha)$$

$$dAB = l \cos(\alpha) d\alpha$$

Las ecuaciones antes descritas determinan el trabajo virtual que realiza la carga durante la elevación del mismo, así de este modo encontramos la parte del diferencial del desplazamiento vertical.

El trabajo virtual del sistema es el siguiente

$$F_{cil} d(l \cos(\alpha)) - W(l \cos(\alpha)) d\alpha = 0$$

$$F_{cil} = -883 \cos \alpha / \sin(\alpha)$$

Analizando para diferentes ángulos, se ha llegado determinar que el valor crítico corresponde a $\alpha = 40$ grados obteniendo así el valor de la fuerza del cilindro de 1345.6 [N].

Luego se analiza las reacciones que actúan sobre el sistema y se grafica los diagramas de cortes y momentos.

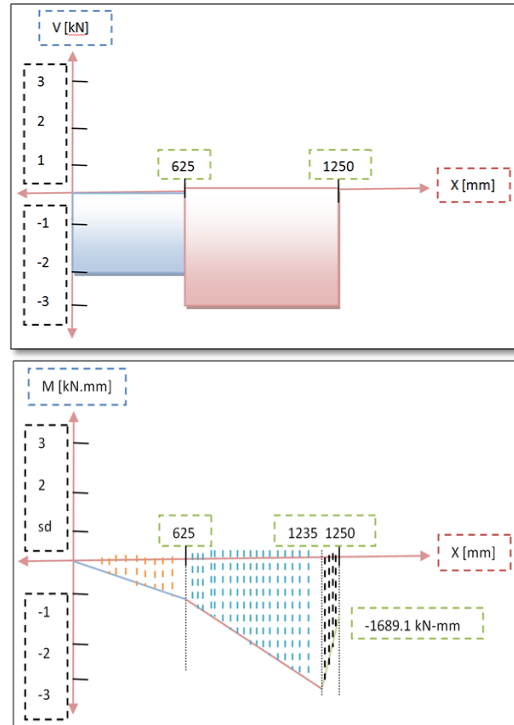


Figura 3. Diagrama de Cortes y Momentos

Para encontrar los esfuerzos del sistema se tiene:

$$\sigma = Mc/I$$

Donde:

- M Momento máximo
 - c radio de superficie externa
 - I Momento polar de inercia
- Ecuación 4. Esfuerzo cortante

Como se tiene las medidas del perfil hueco rectangular, la ecuación queda de la siguiente manera

$$\sigma = 12 Mc / (t h^3 - t_1 h_1^3)$$

Donde:

- t ancho del perfil externo 25 mm
- h altura del perfil externo de 50 mm
- t₁ ancho del perfil interno 21 mm
- h₁ altura del perfil interno 46 mm

$$\hat{\sigma} = 12 (14950)(0.5 \cdot 0.98) / (25 \cdot (50)^3 - 21 \cdot (46)^3)$$

$$\hat{\sigma} = 234.8 \text{ [MPa]}$$

Luego:

Sy Esfuerzo permisible del material ASTM A-500 269 MPa
 n factor de seguridad

Ecuación 5. Factor de seguridad

$$n = [\hat{\sigma} / S_y]^{-1}$$

$$n = 1.15$$

Desde el principio del diseño del sistema se considero un factor de seguridad de dos ya que en la estructura no intervienen choques dinámicos altos, siendo el valor calculado menor al estimado.

3) Deflexión del perfil

La deflexión del sistema se analiza en dos formas: 1) en altura mínima, es decir, cuando los vástagos se encuentran en posición final de su recorrido a una altura de 28 cm con respecto a la base, y 2) cuando el elevador se encuentra en altura máxima, esto quiere decir cuando los vástagos de los cilindros se encuentran en posición inicial de recorrido a una altura de 1m con respecto a la base. En ambos casos la carga soportante será la de diseño 90kg.

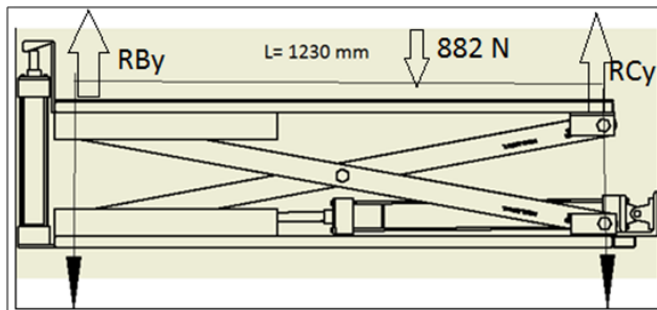


Figura 4. Elevador en mínima altura

Para el análisis de deflexión se considera como una viga apoyada en los dos extremos, de longitud L= 1230 mm, donde se asienta la carga.

Donde:

- F carga máxima a elevar 882 N 198.2 lb
 - L distancia entre soportes 28.7 in
 - E modulo de elasticidad del material 30x10⁶
 - I momento de inercia 0.21 in⁴
- Ecuación 5.

$$y = FL^3 / 48 EI$$

$$y = 0.0743 \text{ in}$$

La deflexión se considera una deformación permisible cuando la relación y/L se encuentre en el intervalo 0.0005 a 0.003 in/in, siendo este valor de 0.0015 encontrándose en el rango deseado, garantizando la confiabilidad por deformación

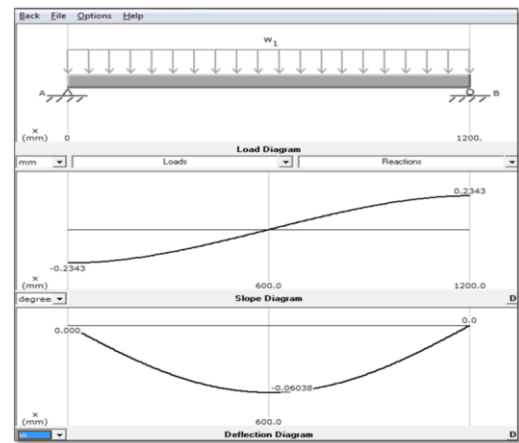


Figura 5. Analisis deformacion

Para el analisis en altura maxima se considera a 1 m con respecto al suelo segun la figura 6

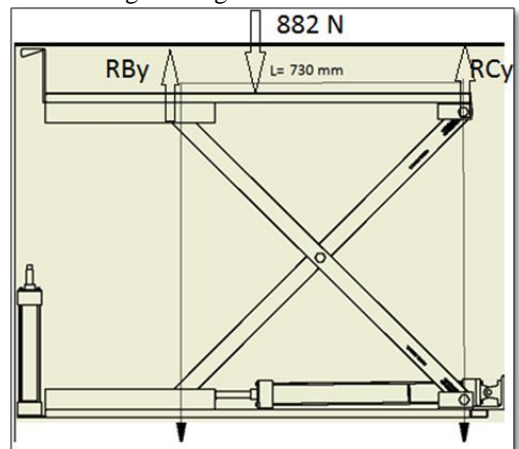


Figura 6. Altura maxima elevador

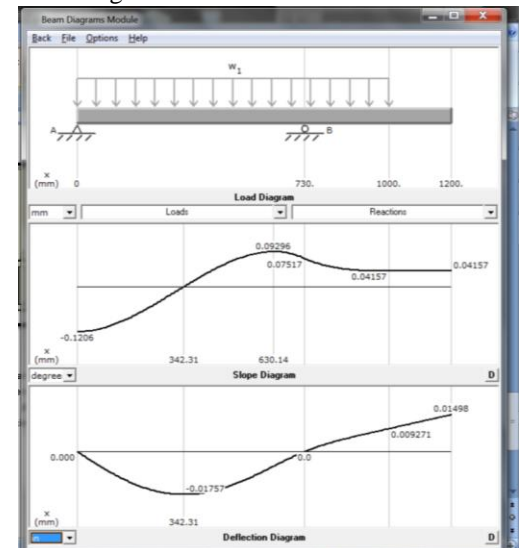


Figura7. Analisis en deflexion

En el diagrama de deflexión da un valor máximo de 0.0175 in garantizando así condiciones de rigidez.

4) Análisis de esfuerzo deformación

Se observa el punto del esfuerzo máximo en la estructura, el mismo que es de 183.5 MPa, este valor aproximado es menor al esfuerzo de fluencia de 269 Mpa del material la cual indica

que el sistema se encuentra en el rango elástico antes mencionado.

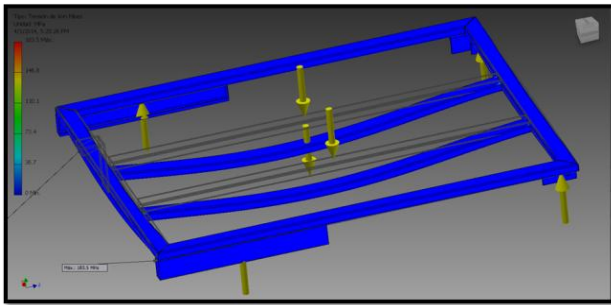


Figura 8. Esfuerzos Base superior

En la mayor deformación dimensional se produce así mismo en la base superior siendo apenas de 0.905 mm, 0.0356 in, (Figura 9) al momento de elevar la carga de 882N.

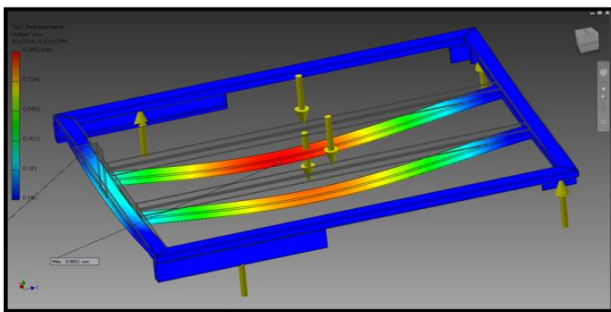


Figura 9. Desplazamiento Base Superior

5) *Análisis del perfil de tipo canal*

El canal de guía es ensamblado tal y como se muestra en la figura 10, representa la movilidad en conjunto del sistema en forma vertical, soldado debajo de la base superior

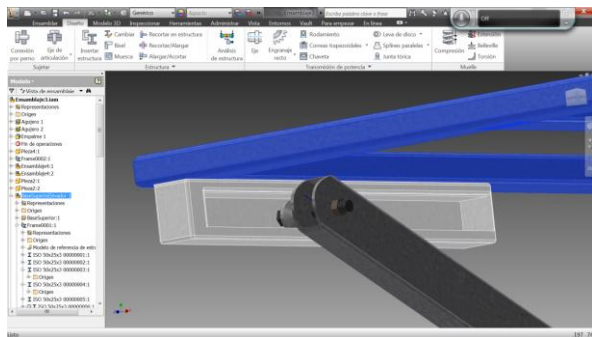


Figura 10. Canal de guía para rodamientos

Colocando el valor $W1=1054 \text{ N/m}$ en el simulador MDSolid se obtiene entonces los diagramas de cortes y momentos, con un momento máximo absoluto de 131.75 N/m que se indica en la figura 11

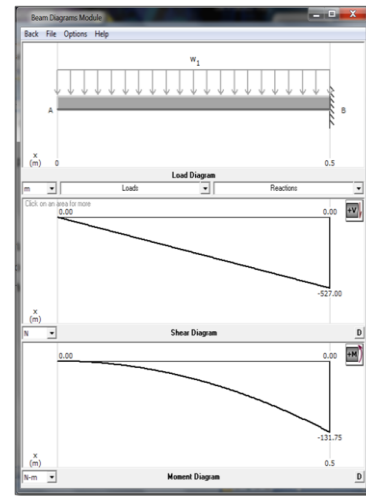


Figura 11. Diagrama de cortes y momentos

En las figuras 12 y 13 muestran el análisis de esfuerzo y deformación tridimensional de las barras en Inventor 2013, en las cuales van los ejes del rodamiento En la figura 12 indica el esfuerzo generado tanto en las barras como en el eje del rodamiento, se nota de un color azul la cual indica que no existe mayores esfuerzos en el sistema y no tiene oportunidad en fallar durante la elevación de la carga. En la figura 13 indica la mayor deformación que existe en el punto E de 0.98mm 0.03858 in, la cual es el punto donde más soporta las cargas analizadas con un factor de seguridad de 2 antes descrito

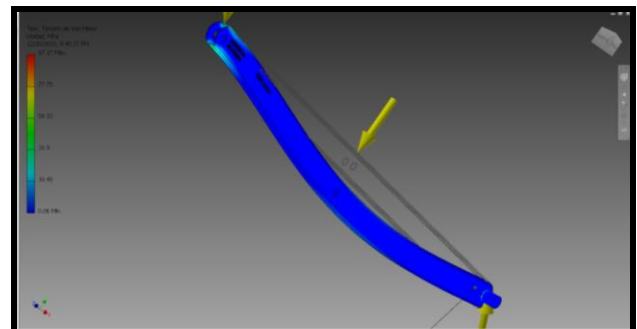


Figura 12. Análisis de esfuerzos

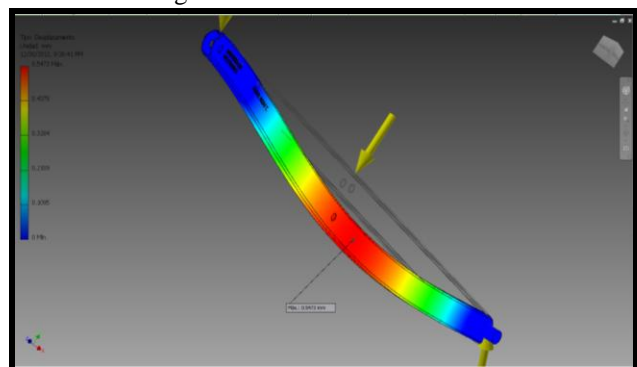


Figura 13. Analisis Desplazamiento

6) Cilindros neumáticos

Tabla 1. Características de cilindros

DATOS TECNICOS TIPO	CIL 136 40 500 CP
Presión de trabajo	Max 10 bares
Temperatura de funcionamiento	-20 +80 °C
Fluido	Aire sin lubricación
Diámetro Embolo	40 mm
Diámetro Vástago	12 mm
Carrera	500 mm
Función	Cilindro doble efecto
Peso	2.65 kg
Montaje	Rígido
Material	Vástago acero C45, cromado en profundidad, culatas en aluminio fundido, Pistón en tecnopolímero, juntas poliuretano.
Número de cilindros	3 cilindros de doble efecto.

Se asume un diámetro Ø de vástago d=20[mm] de la marca METALWORK y una carrera de vástago C=500 [mm], la constante de fijación K=2 y una fuerza requerida adicionalmente un 30% de la fuerza que ejerce el cilindro de $1345.06+0.35*1345=1815.83$ [N]

7) Electroválvula

Tabla 2. Electroválvula 5/3


MODELO	SOV B5 SEB OO
TIPO	VALVULA 5/3 DISTRIBUIDOR BIESTABLE
MONTAJE	VALVULA SERIE 70 ELECTRONEUMATICA SOBRE BASE
CONEXIÓN	G1/4
TEMPERATURA	-10 grados 60 grados centígrados
FLUIDO	Aire comprimido
PRESIÓN DE TRABAJO	Max 10Bar
TENSIÓN SELECCIONADA PARA SOLENOIDE	24VDC 2W

La electroválvula seleccionada es la 5/3, esta es activada con una señal digital proveniente del plc.

8) Compresor

Para un trabajo sin problemas del equipo se recomienda usar un compresor de al menos con las siguientes características: Potencia: 1.2 hp - Caudal:747.6 l/min. En la siguiente tabla 3.13 muestra las características del compresor

Tabla 3. Características Compresor

Modelo : Porten	
Potencia: 2HP 1.5kw	
Cilindro: 2x51 mm	
R.P.M 1200	
Presión Max 8 Bar (115 PSI)	
Caudal 747.6 l/min	
Peso: 79kg	
Dimensiones:106x38x78	

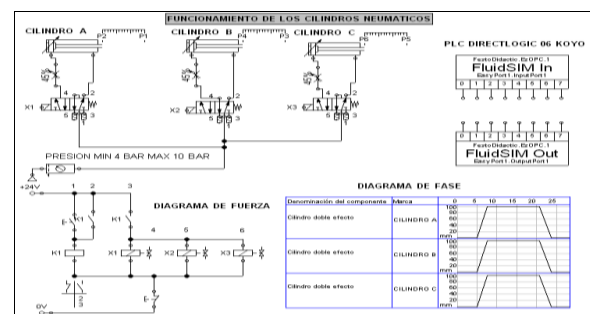


Figura 14 Simulación Electroneumático

9) Configuración OPC

La aplicación desarrollada en Visual Studio .Net constituye el cliente OPC en este sistema HMI según la figura 15.

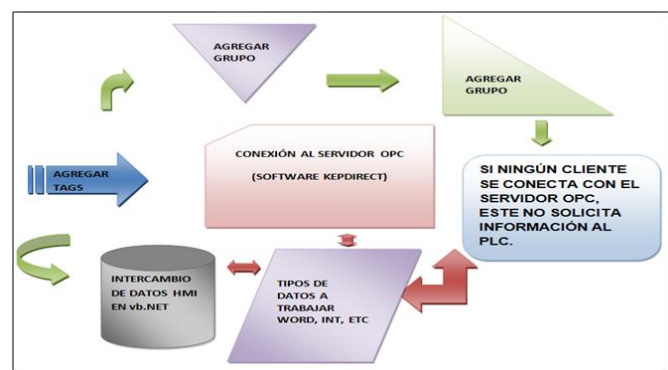


Figura 15 Configuración OPC

10) Programación PLC

Los tres cilindros del sistema esta comandado por una electroválvula 5/3, la cual se considera con una sola salida digital, en la tabla 4 se indica las variables utilizadas.

Tabla 4. Tabla distribución PLC Arduino

I/O DIGITALES	CARACTERITICAS	FUNCION
PLC KOYO DIRECT SOFT		
I00	ENTRADA DIGITAL	Activa en modo manual - dispositivo móvil
I01	ENTRADA DIGITAL	Mediante un pulsador comienza a elevar la estructura. Activa los cilindros neumáticos que ayudan a elevar.
I02	ENTRADA DIGITAL	Se activa la entrada digital que indica el avance total del vástago de los cilindros
I03	ENTRADA DIGITAL	Se activa la entrada digital que indica el retroceso total del vástago
Q01	SALIDA DIGITAL (POSICION 3 ELECTROVALVULA)	Activa la electroválvula 5/3 principal para comenzar a ascender el elevador, desactiva la electroválvula para mantener la posición requerida por el usuario
Q02	SALIDA DIGITAL (POSICION 1 ELECTROVALVULA)	Activa la electroválvula 5/3 principal para comenzar a descender el elevador, desactiva la electroválvula para mantener la posición requerida por el usuario
AN0	ENTRADA ANALOGICA	Se conecta con el sensor (MAXBOTIX)

		ultrasónico para la adquisición de datos de elevación
TX-RX	COMUNICACIONES	Transmisión y recepción de datos mediante el protocolo OPC.
MODULO ARDUINO UNO		
I0	ENTRADAS Y SALIDAS DIGITALES	Elementos necesarios para la activación de la Electroválvula 5/3
I1		
I2		
I3		
An0	ENTRADA ANALOGICA	Conexión con el sensor ultrasónico de distancia
RX-TX	COMUNICACION	Comunicación serial con el modulo bluesmirf gold y el modulo arduino.

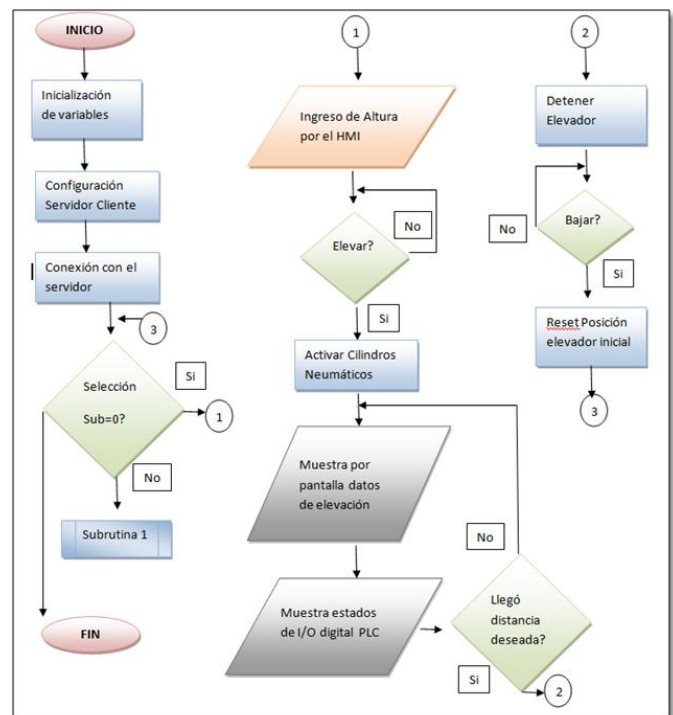


Figura 16 Diagrama de flujo del programa

En la figura 16 muestra el diagrama de flujo del PLC para la activación de la electroválvula en la HMI

11) Programación HMI

La programación del HMI se realizó en el compilador VisualBasic.net, en la figura 17 indica el entorno del HMI, la cual realiza la conexión de la comunicación OPC y el monitoreo del sistema.



Figura 17. HMI del sistema

12) Aplicación J2ME móvil

La programación de la aplicación móvil se realizó en el compilador J2ME, en la figura 18 indica el entorno de la misma, la cual realiza la conexión de la comunicación inalámbrica bluetooth y el monitoreo del sistema.

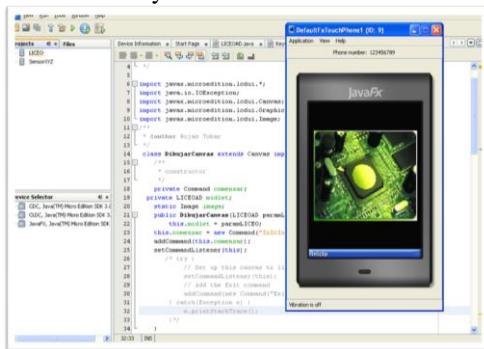


Figura 18. Aplicación móvil

13) Aplicación Android

La programación de la aplicación móvil se realizó en el compilador Netbeans para android, en la figura 19 indica el entorno de la misma, la cual realiza la conexión de la comunicación inalámbrica bluetooth y el monitoreo del sistema.



Figura 18. Entorno Android

14) Partes constitutivas del elevador

Tabla 5. Partes fundamentales Elevador

ELEMENTO	GRAFICO
BASE INFERIOR Y GUIAS Dimensiones Base: 1250 mm de largo y 1000 mm de ancho Dimensión Guías, 6 x 2.5 x 500 mm	
BASE SUPERIOR Dimensiones Base: 1250 mm de largo y 1000 mm de ancho	
TIJERAS Dimensiones: 1250 mm de largo	
CILINDROS NEUMATICOS Y MENSULAS Dimensiones: Embolo $\Phi 68$ mm, vástago $\Phi 20$ mm y carrera 500mm	

15) Conexión eléctrica

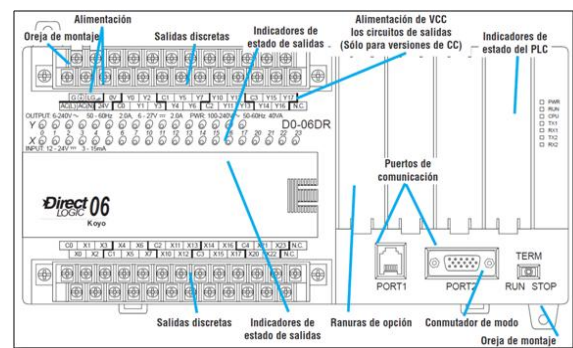


Figura 19.

En la figura 19 muestra la conexión del PLC.

III. IMPLEMENTACIÓN Y PUESTA EN MARCHA

En esta parte se describe el funcionamiento de cada una de las partes del módulo así también la presentación de resultados. las principales funciones son:

- Gabinete de control
- Accionamiento por ordenador HMI
- Accionamiento por aplicación Móvil

Los elementos del sistema son ensamblados como se indica en la figura 19. y en la figura 20. donde se ubica el gabinete de control y accionamiento de los actuadores.



Figura 19. Elevador ensamblado



Figura 20. Gabinete y accionamiento de actuadores

Las pruebas respectivas se realizan con pesos comprendidos entre 40 y 90 kg, colocando en alturas distintas con un rango de 23 - 100 cm.



Figura 21. Pruebas del sistema

Tabla 6. Pruebas del sistema

CARGA (EN Kg)	ELEVACIÓN	DATO ANALÓGICO DEL SENSOR RECIVIDO POR EL PLC	DATO ANALÓGICO DEL SENSOR RECIVIDO POR ARDUINO	PUNTO MUERTO INICIAL DE ELEVACION
Pesos de 40 kg, 50 kg, 60 kg, 80 kg y 90 kg	25 cm - 30cm	55 - 66	45 - 56	si
	30 cm- 45 cm	77 - 99	67 - 89	si
	45 cm - 55 cm	99 - 120	89 - 110	no
	55 cm - 60 cm	120 - 131	110 - 121	no
	60 cm- 75 cm	131 - 164	121 - 154	no
	75 cm - 80 cm	164 - 175	154 - 165	no
	80 cm - 95 cm	175 - 208	165 - 198	no
	95 cm - 100 cm	208 - 219	195 - 209	no
	100 cm - 110 cm	219 - 240	209 - 230	no

Teniendo un margen de error aceptable de +- 3%

Tabla 7. Calibración Sensor ultrasónico MaxBotix

ELEVACIÓN	DIGITAL	ANÁLOGO
MINIMA (27 cm)	42	0.64
MAX (103 cm)	224	1.83

Entonces teniendo en cuenta que:

Ecuación 6. Conversión análogo digital

$$Y_D = D * 103.0 / 224$$

Donde:

Y elevación en cm

D dato digital adquirido por el sensor

Esta ecuación se traslada en el código del programa HMI creado en VB.net, así podemos determinar la altura donde se encuentra el elevador en cualquier posición.

IV. CONCLUSIONES

- Durante el proceso de diseño se determinó que la fuerza máxima que deben soportar los cilindros neumáticos es de 1345.14 N, lo cual permitió seleccionar cilindros neumáticos de doble efecto con una presión de trabajo de 80 kN-m², Garantizando así elevar la carga de 90 Kg a una altura de 1 m.
- En pruebas realizadas al elevador, con carga y sin carga, se llegó a determinar que la altura mínima con respecto al piso era de 32 cm, Cualquier disminución en altura con respecto al nivel de piso, los cilindros neumáticos no soportan la carga, provocándose un descenso brusco, causando daños en las guías y en el embolo del cilindro, así como también, no se podía elevar la carga desde esta posición mínima. Para disminuir la fatiga en el operario, se implementa un cilindro amortiguador con la siguiente finalidad, que disminuya la altura desde el nivel de piso a 23 cm, y poder incrementar la fuerza para la elevación de la carga en el tramo crítico, que es de 23 a 32 cm del altura con respecto al piso.
- El software de diseño Autodesk Inventor permitió crear un prototipo del elevador de forma digital en 3D, gracias al cual se visualizó, simuló y analizó partiendo de los cálculos analíticos basados en las dimensiones estructurales, el comportamiento de los esfuerzos y deformaciones del mecanismo del elevador electro neumático que se aproximan a la realidad antes de su fabricación física, lo cual permitió corregir errores antes de que estos se presenten en el mecanismo ya construido, lo que resultaría costoso e incluso peligroso.

V. RECOMENDACIONES

- Es recomendable para el diseño mecánico utilizar la información de materiales proporcionada directamente por las casas comerciales, debido a que esta información disponible en fuentes como internet y catálogos muchas veces contienen datos e información de materiales que no se comercializan en el mercado local.

- Es necesario revisar especialmente el ajuste de los pernos, el estado de los cilindros (vástagos especialmente), y todas las partes móviles del elevador antes de activarlo.
- El elevador debe estar desconectado cuando no esté siendo utilizado y también se recomienda que el elevador permanezca en posición inicial para evitar accidentes ya que interviene fuerzas que ejercen los cilindros neumáticos.

REFERENCIAS

- [1] **Beer and Jhonston. (1973).** *Mecánica vectorial para ingenieros. McGRAW-HILL*
- [2] **Robert Mott. (2006).** Diseño de elementos de máquinas. **PEARSON.**
- [3] **Beer and Jhonston. (2001).** Mecanica de materiales. **McGRAW-HILL.**
- [4] **Budynas, N., & Shingleys. (2006).** *Diseno de ingenieria mecanica.* EEUU: **MacGrawHill.**
- [5] **Guerrero, V., Yuste, R., & Martinez, L. (2009).** *Comunicaciones industriales.* Mexico: **AlfaOmega.**
- [6] **Logic, D. (2009).** *Catalogo general Direct Logic .* EEUU: **DirectLogic**
- [7] **MetalWork. (2013).** *Catalogo de Neumatica Genaral .* Italia: **MetalWork.**
- [8] **Miravete, A., & Arrode, E. (1996).** Transportadores y Elevadores. Espana: **Reverte S.A.**
- [9] **Reyes, F., Cid, J., & Vargas, E. (2013).** *Mecatronica Control y Automatizacion.* Mexico: **AlfaOmega**
- [10] **Sanchez, V. M. (2008).** *Potencia Hidraulica controlada por PLC.* Mexico: **AlfaOmega.**
- [11] **Shigley, & Mischke. (1996).** *Standard handbook of machine designe.* EEUU: **MacGrawHill.**
- [12] **SMC. (2003).** *Neumatica.* Espana: **Thomson Paraninfo.**
- [13] **Sole, A. C. (2011).** *Neumatica e Hidraulica.* Mexico: **AlfaOmega.**
- [14] **Automation, R. (Mayo de 2013).** *DeviceNet Media.* Obtenido de Allen Bradley: http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/um/dnet-um072_-en-p.pdf.
- [15] **Bartoli. (Mayo de 2013).** *Bartolisrl.* Obtenido de bartolisrl: <http://www.bartolisrl.com/herramientas/elevtjibajaaltura.htm>.
- [16] **Borches, D. P. (Junio de 2013).** <http://es.scribd.com/>. Obtenido de <http://es.scribd.com/doc/37669017/Bluetooth>.
- [17] **Olmedo, M. G. (Mayo de 2013).** <http://decsai.ugr.es/~mgomez>. Obtenido de Decsai: <http://flanagan.ugr.es/J2ME/TOOLS/index.htm>.

Autor

MIGUEL LEONARDO ROJAS TOBAR.

Nació en la ciudad de Quito - Pichincha-Ecuador, el 15 de mayo de 1987.

Estudios Universitarios realizados en la Universidad Técnica del Norte, Carrera de Ingeniería en Mecatrónica.

Sus intereses son Automatización Industrial, Neumática e Hidráulica y desarrollo de Hardware y Software



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

SCIENTIFIC ARTICLE

TOPIC:

**“TRAININ MODULE LIFT ELECTROPNEUMATIC CONTROLLED
BY MOBILE DEVICE & OPC”**

AUTHOR: Miguel Leonardo Rojas Tobar

DIRECTOR: Ing. Diego Ortiz

IBARRA - ECUADOR

2014

MÓDULO DIDÁCTICO ELEVADOR ELECTRONEUMÁTICO CONTROLADO POR DISPOSITIVO MOVIL Y COMUNICACIÓN OPC

Rojas Tobar Miguel Leonardo.
mikele.rt@gmail.com
Universidad Técnica del Norte

Abstract— This work consists of the construction of a training module, which is aimed at future innovations for companies seeking to strengthen their industrial processes applied to learning labs Mechatronics, Technical University North, in which we take fundamental engineering phases: a) Mechanical Design, b) Pneumatic, c) Electronic and Control, same covering all the essentials of mechatronics.

The module has a scissor-type structure, in order to raise the load of 90 kg, The double acting pneumatic cylinders located in the bottom of the structure carries a thrust horizontally mechanism generating the system begins to lift the load. The software developed in computer and created application in J2ME-Netbeans Android are responsible for making the training module activation, each uses its own communications which are: Communication OPC and Bluetooth respectively.

Glossary— *Electro pneumatic Lift, OPC (Ole Process Control)*

I. INTRODUCTION AND BACKGROUND

It is necessary to know technological innovations that are currently developing, teaching module presents resources for industrial automation using OPC communication protocols and wireless communication can be performed in laboratory practice facility of the Faculty of Applied Sciences.

This project seeks to provide the laboratory Mechatronics Engineering Faculty of Applied Science with educational technology module for mobile electric hoist and OPC communication to facilitate the development of practices adequately controlled tire as it relates to the subjects of automation - industrial Networking, Instrumentation and Pneumatics practices for industrial automation.

The system has three main parts 1) Mechanical 2) Electronics - Control and 3) Inflatable. The mechanical part has a structure robust scissor light to carry peak loads of 90 kg. The actuators used are pneumatic double acting cylinders operating at a maximum pressure of 12 PSI with a flow regulator to the air intake solenoid 5/3, this flow control is

essential to reduce the rate of input and output actuator stem to avoid collisions in the structure. The development of computer software was created in the VisualBasic.net BASIC compiler, the development of these applications makes user interfaces are friendly, using OPC.dll libraries that enable communication between the computer HMI with PLC .

So thus displayed on the screen and performs the operation of the system by activating the digital inputs, checks the status of the digital inputs, analog data acquisition formed by the ultrasonic sensor that determines MAXBOTIX lift height.

The mobile application was created in J2ME, programmed in JAVA, this application makes wireless connection via bluetooth, this app is user friendly and capable of activating the module lift at a maximum distance of 100m. Using the resources of the application, the lifting modules can also be activated using the accelerometer sensor built into the application as long as the mobile phone has.

II. DEVELOPMENT ON CONTENTS

A. Selection of constituent elements

1) Structure of scissor lift:

A structure is a group of elements that constitute the body of the machine, such that, as described below parts designed in the elevator, with the help of a sketch INVENTOR software system, which, efforts were performed and analyzed deformations of the generating system and to adjust to the structure that is robust and secure to use when.

Is selected elevator material ASTM-A500 steel are rectangular profiles measures 25x50 mm with a thickness of 2 mm. with the following characteristics.

- Creep resistance 269 MPa.
- Maximum strength 360 MPa.

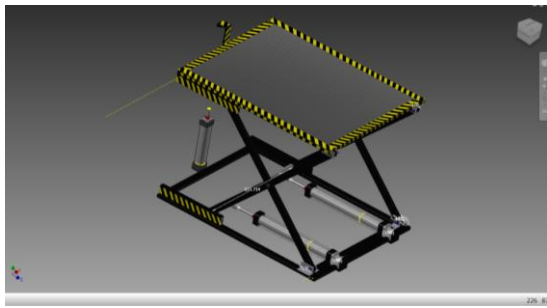


Figure 1. Elevator structure

2) Brazos o tijeras:

The arms are crossed with each other to form a scissor mechanism. Calculating develops system reactions taking into account the position of the actuators which is horizontal. Figure 2. indicates the free-body diagram for the respective calculations.

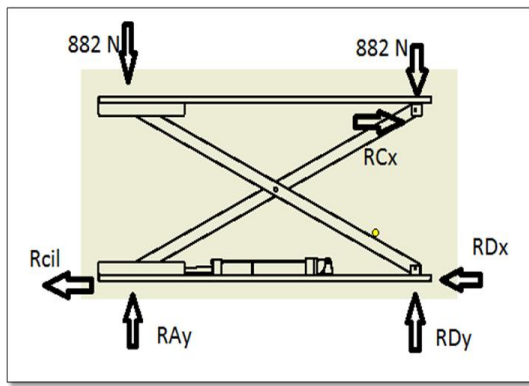


Figure 2. General diagram of the elevator

Understanding that there are two mobile reactions that allow the upper base of the riser begins to rise, and two fixed reactions to keep the structure in equilibrium. Being ILSS the force exerted by the cylinder; Ray - RDY reactions with respect to axis Y; RDx reactions with respect to the axis X and to increase the total load of 90 kg - 882N.

Where:

$$\sum Ry=0 \text{ Sum of reactions with respect to Y}$$

$$\sum Rx=0 \text{ Sum of reactions with respect to X}$$

$$\sum Md=\text{Summation of moments about point D}$$

Equation 1. Sum of reactions and moments

$$RDy - Ey = 882$$

$$RDy = 2108.7 \text{ N}$$

$$-882(1000) - Ey(719) = 0$$

$$Ey = -1226.7 \text{ [N]}$$

For the calculation of Rcil is developed using the method of virtual work which defines the translation of a force located at a point A to A' considering the following equation:

$$dU = F ds \cos \alpha$$

$$F_{cil} dAP - (W) dAB = 0$$

Where:

du= Virtual work of the system

Fcil= Cylinder force

dAP= Differential displacement of the cylinder rod

W= load 882 N

dAB= Lifting differential displacement

Equation 2. Virtual work

Then:

$$\sin(\alpha) = AB/l$$

$$AB = l \sin(\alpha)$$

$$dAB = l \cos(\alpha) d\alpha$$

The above described equations determine the virtual work done by the load during lifting thereof, and thus we find the differential of the vertical displacement.

The virtual work of the system is as follows

$$F_{cil} d(l \cos(\alpha)) - W(l \cos(\alpha)) d\alpha = 0$$

$$F_{cil} = -883 \cos(\alpha) / \sin(\alpha)$$

Analyzing for different angles, it has been determined that the critical value is $\alpha = 40$ degrees and getting the value of the strength of the cylinder 1345.6 [N].

Reactions acting on the system is then tested and the shear and moment diagrams graphed.

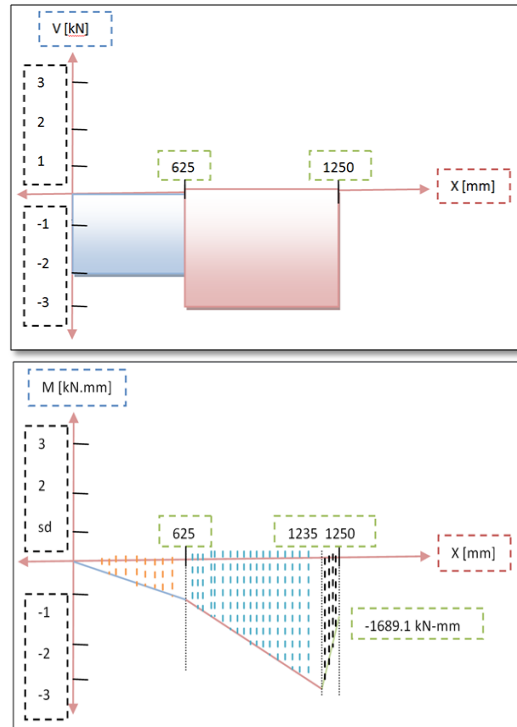


Figure 3. Shear and Moment Diagrams

To find the efforts of the system must:

$$\sigma = Mc/I$$

Where:

M Maximum moment

c Radius of outer surface

I Polar moment of inertia

Equation 4. Shear strength

As measures have rectangular hollow profile, the equation becomes as follows

$$\sigma = 12 Mc / (t h^3 - t_1 h_1^3)$$

Where:

- t width of the outer profile 25 mm
- h height of the outer profile 50 mm
- t₁ width of the inner profile 21 mm
- h₁ height of the inner profile 46 mm

$$\hat{\sigma} = 12 (14950)(0.5 \cdot 0.98) / (25 \cdot (50)^3 - 21 \cdot (46)^3)$$

$$\hat{\sigma} = 234.8 \text{ [MPa]}$$

Then:

- S_y Allowable stress of the material ASTM A-500 269 MPa
 - n Safety factor
- Equation 5. Safety factor

$$n = [\hat{\sigma} / S_y]^{-1}$$

$$n = 1.15$$

From the beginning of the system design is considered a safety factor of two as in the structure involved no high dynamic shocks, the smaller the calculated estimated value.

3) Deflection Profile

The deflection system is analyzed in two ways: 1) at minimum height, that is, when the rods are in the final position of its stroke to a height of 28 cm from the base, and 2) when the lift is at maximum height, that means when the rods of the cylinders are in the initial travel position to a height of 1 m with respect to the base. In both cases the supporting design load is 90 kg.

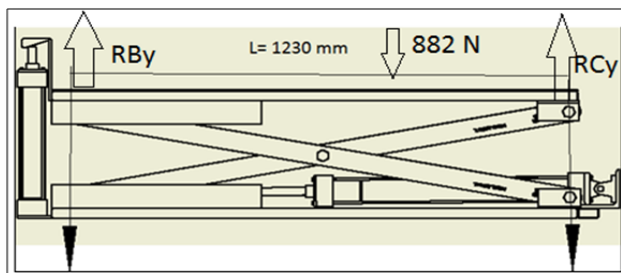


Figure 4. Elevator in minimum height

Deflection for analysis is considered as a beam supported at both ends, of length L = 1230 mm, where the charge is based.

Where:

- F maximum load to be lifted 882 N 198.2 lb
 - L distance between supports 28.7 in
 - E modulus of elasticity 30x10⁶
 - I moment of inertia 0.21 in⁴
- Equation 5.

$$y = FL^3 / 48 EI$$

$$y = 0.0743 \text{ in}$$

The deflection is considered a permissible deformation when the ratio y / L is in the range from 0.0005 to 0.003 in / in, and this value of 0.0015 was found in the desired range, assuring reliability strain

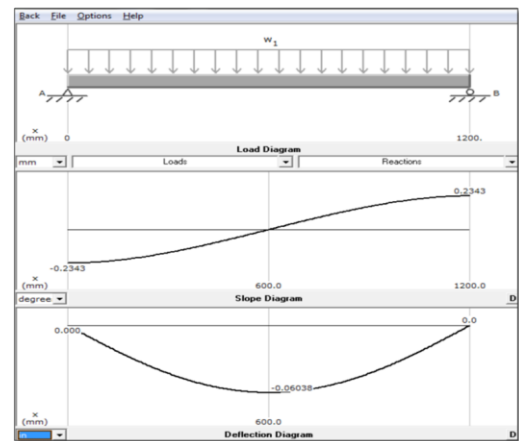


Figure 5. Deformation analysis

For analysis is considered a maximum height 1 m above the floor according to figure 6

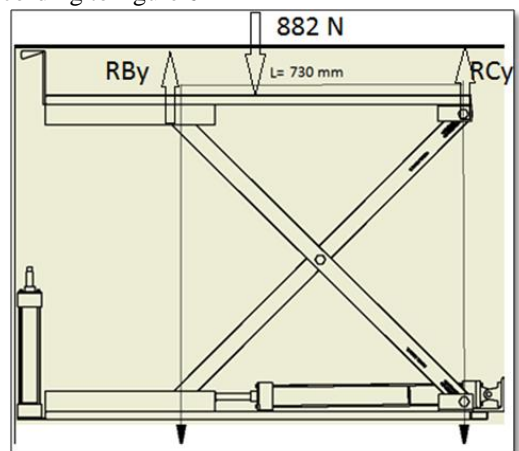


Figure 6. Maximum lift height

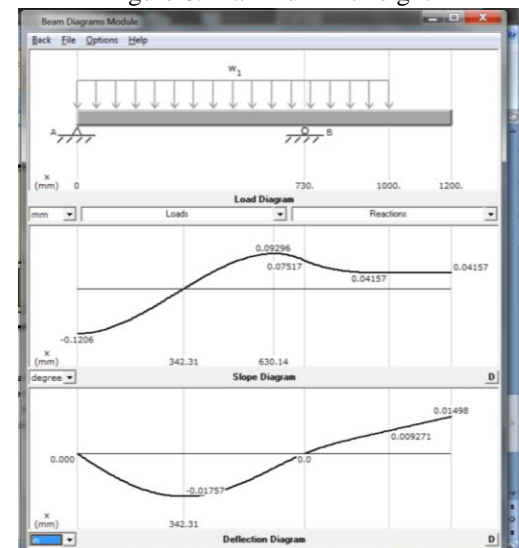


Figure 7. Analysis on deflection

The diagram shows a maximum deflection of 0.0175 in condition thus ensuring rigidity..

4) Analysis of deformation effort

The point of maximum stress in the structure are present, it is 183.5 MPa, this estimated value is less than the yield strength of 269 MPa which material indicates:

the system is found in the elastic range above

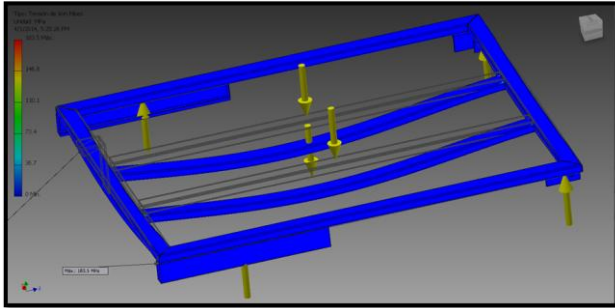


Figure 8. Stress Upper Base

In most dimensional deformation occurs itself in the upper base being just 0.905 mm, 0.0356 in, (Figure 9) when lifting the load of 882N.

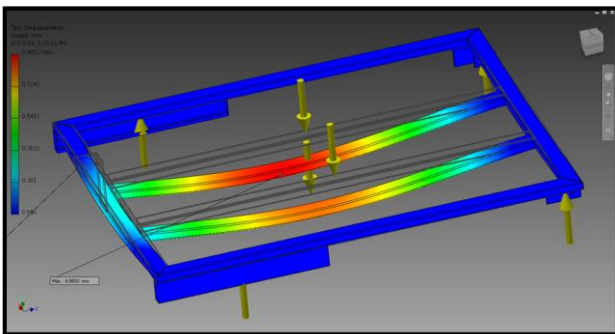


Figure 9. Superior Moving Base

5) *Review of the channel section type*

The guide channel is assembled as shown in Figure 10, represents the mobility in the system set vertically, welded underneath the top base.

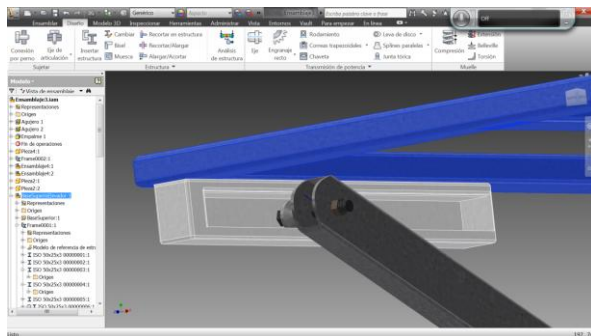


Figure 10. Channel guide bearing

Placing $W1 = 1054 \text{ N / m}$ in the simulator MDSolid value is then obtained by the shear and moment diagrams, with a maximum absolute time of 131.75 N / m as shown in Figure 11.

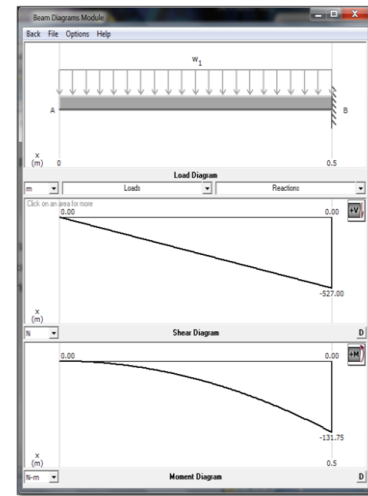


Figure 11. Shear and moment diagrams

In Figures 12 and 13 show the three-dimensional stress analysis and deformation of the bars in Inventor 2013, in which the bearing shafts are in Figure 12 indicates the stress generated in both rods and the bearing shaft, it shows of a blue color which indicates no further efforts in the system and has no opportunity to fail during load lifting. Figure 13 indicates that there is greater deformation at point E in 0.03858 0.98mm, which is where most supports loads analyzed with a safety factor of 2 above.

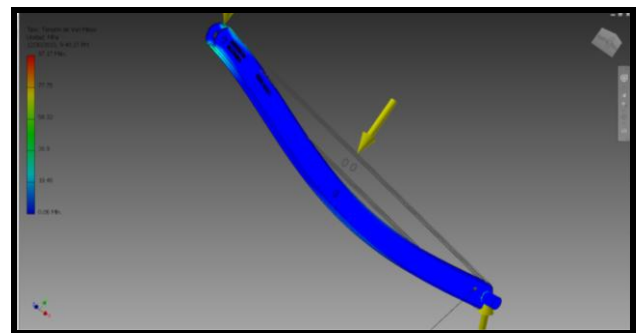


Figure 12. Stress analysis

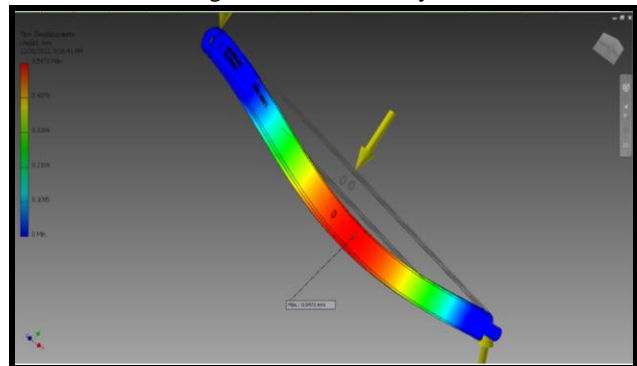


Figure 13. Displacement analysis

6) *Cylinders pneumatics*

Table 1. Features of cylinders

TECHNICAL DATA TYPE	CIL 136 40 500 CP
Working Pressure	Max 10 bares
Operating Temperature	-20 +80 °C
fluid	Air without lubrication
Plunger Diameter	40 mm
Stem Diameter	12 mm
career	500 mm
function	Double acting cylinder
weight	2.65 kg
mounting	Rígido
Material	C45 steel rod, chrome ball, cast aluminum cylinder heads, piston technopolymer, polyurethane boards.
Number of cylinders	3 cylinder double acting.

Ø stem diameter d = 20 [mm] METALWORK mark and a stroke of stem C = 500 [mm], the binding constant K = 2, and a force required additional 30% of the force assumes the cylinder $1345.06 + 0.35 * 1345 = 1815.83$ [N]

7) *Solenoid*

Table 2. Solenoid 5/3


MODEL	SOV B5 SEB OO
TYPE	VALVULA 5/3 DISTRIBUIDOR BIESTABLE
MOUNT	VALVE SERIES 70 ELECTRO PNEUMATIC MATICA ON BASE
LOGIN	G1/4
TEMPERATURE	10 degrees 60 degrees centigrade
FLUID	compressed Air
WORKING PRESSURE	Max 10Bar
SOLENOID VOLTAGE SELECTED	24VDC 2W

The selected solenoid is 5/3, that is activated with a digital signal from the PLC.

8) *Compressor*

For a team work smoothly we recommend using a compressor with at least the following characteristics: Power: 1.2 hp - Flow: 747.6 l / min. 3.13 The following table shows the characteristics of the compressor.

Table 3. Compressor features

Model : Porten	
Power: 2HP 1.5kw	
cylinders: 2x51 mm	
R.P.M 1200	
Pressure Max 8 Bar (115 PSI)	
Caudal 747.6 l/min	
weight: 79kg	
Dimensiones: 106x38x78	

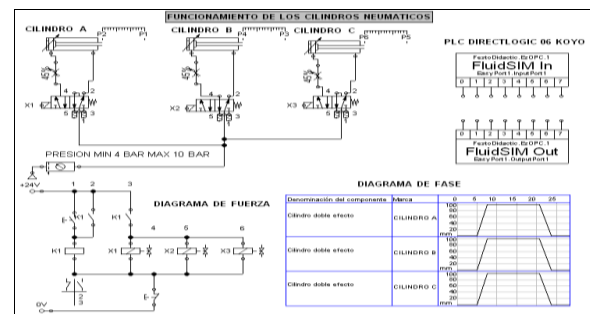


Figure 14. Simulation Electro

9) *OPC Settings*

The application developed in Visual Studio. Net is the HMI OPC client in this system according to Figure 15.

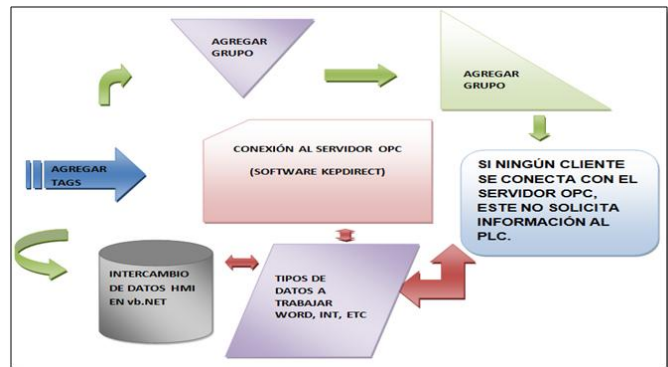


Figure 15. Configuration OPC

10) PLC Programming

The three-cylinder system is commanded by a solenoid 5/3, which is considered a single digital output in Table 4 shows the variables used.

Table 4. Table PLC Arduino distribution

I/O DIGITAL	CHARACTERISTICS	FUNCTION
PLC KOYO DIRECT SOFT		
I00	DIGITAL INPUT	Active in manual mode - mobile
I01	DIGITAL INPUT	With a pushbutton begins to raise the structure. Activate the pneumatic cylinders that help elevate.
I02	DIGITAL INPUT	Digital input that indicates the total advance rod cylinders are active.
I03	DIGITAL INPUT	Digital input is activated indicating the total recoil rod
Q01	DIGITAL OUTPUT (Position 3 SOLENOID)	Activate the solenoid 5/3 principal to start up the elevator, turn off the solenoid to maintain the position required by the user.
Q02	DIGITAL OUTPUT (POSITION 1 SOLENOID)	Activate the solenoid 5/3 principal to start down the elevator, turn off the solenoid to maintain the position required by the user
AN0	ANALOG INPUT	It connects to the sensor

		(MAXBOTIX) Ultrasonic for acquiring elevation data
TX-RX	COMMUNICATIONS	Transmission and reception of data using OPC protocol
MODULO ARDUINO UNO		
I0	DIGITAL INPUTS AND OUTPUTS	Items required for the activation of the solenoid 5/3
I1		
I2		
I3		
An0	ANALOG INPUT	Connection with the ultrasonic distance sensor
RX-TX	COMMUNICATION	Serial communication module and arduino gold BlueSMiRF module.

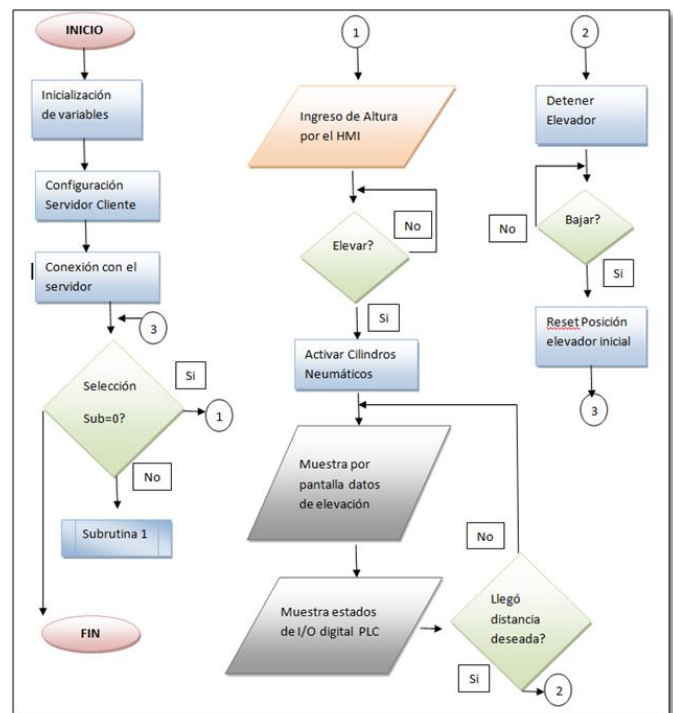


Figura 16. Flowchart Program

Figure 16 shows the flowchart of the PLC for activation of the solenoid on the HMI.

11) HMI Programming

HMI programming was done in the compiler VisualBasic.net in Figure 17 indicates the HMI environment, which makes the connection of the OPC communication and monitoring system.



Figure 17. HMI System

12) J2ME Mobile Application

The programming of the mobile application was made in the J2ME compiler, Figure 18 shows the setting of the same, which makes the connection Bluetooth wireless communication and monitoring system.

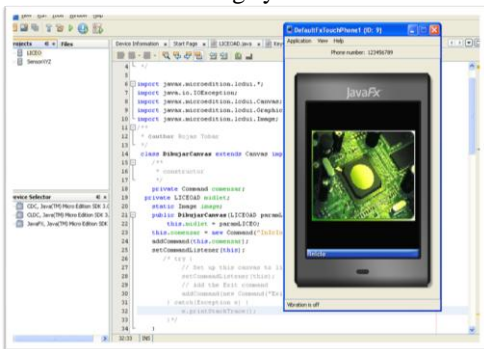


Figure 18. Mobile Application

13) Application Android

The programming of the mobile application was done in Netbeans compiler for android, Figure 19 shows the setting of the same, which makes the connection bluetooth wireless communication and monitoring system.



Figura 18. Android environment

14) Component parts of the elevator

Table 5. Component parts

ELEMENT	GRAPHIC
BOTTOM BASE AND GUIDES Base dimensions: 1250 mm long and 1000 mm wide Dimension Guide, 6 x 2.5 x 500 mm	
BASE TOP Base dimensions: 1250 mm long and 1000 mm wide	
SCISSORS Dimensions: 1250 mm long	
TIRES AND CYLINDER BRACKETS Dimensions: Plunger $\Phi 68\text{mm}$, $\Phi 20\text{mm}$ and stroke 500mm rod	

15) Electrical Connection

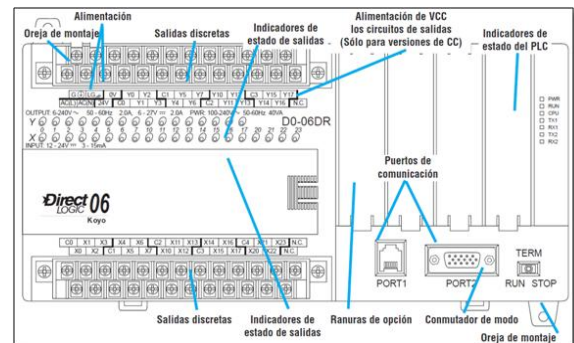


Figure 19. connection of the PLC

In Figure 19 shows the connection of the PLC.

III. IMPLEMENTATION AND COMMISSIONING

In this part of the operation of each of the parts of the module so the presentation of results is described. The main functions are:

- Control Cabinet
- Driven by HMI computer
- Driven by Mobile Application

The system elements are assembled as shown in Figure 19. And Figure 20. Wherein the control cabinet and drive actuators are located.



Figure 19. Lift assembly



Figure 20. Cabinet and drive actuators

The respective tests are performed with weights between 40 and 90 kg, placed at different heights with a range of 23-100 cm.



Figure 21. System Tests

Table 6. System Tests

LOAD (EN Kg)	ELEVATION	ANALOG SENSOR DATA RECEIVED BY PLC	ANALOG SENSOR DATA RECEIVED ARDUINO	INITIAL POINT DEAD LIFT
Pesos de 40 kg, 50 kg, 60 kg, 80 kg y 90 kg	25 cm - 30cm	55 - 66	45 - 56	si
	30 cm- 45 cm	77 - 99	67 - 89	si
	45 cm - 55 cm	99 - 120	89 - 110	no
	55 cm - 60 cm	120 - 131	110 - 121	no
	60 cm- 75 cm	131 - 164	121 - 154	no
	75 cm - 80 cm	164 - 175	154 - 165	no
	80 cm - 95 cm	175 - 208	165 - 198	no
	95 cm - 100 cm	208 - 219	195 - 209	no
100 cm - 110 cm	219 - 240	209 - 230	no	

Given a margin of error of + - 3%

Table 7. Ultrasonic Sensor Calibration MaxBotix

LIFT	DIGITAL	ANALOG
MIN (27 cm)	42	0.64
MAX (103 cm)	224	1.83

Then taking into account that:

Equation 6. Conversion analog digital

$$Y_D = D * 103.0 / 224$$

Where:

Y elevation en cm

D data digital acquired by the sensor

This equation is translated into the code of HMI program created in VB.net, so we can determine the height where the lift in any position.

IV. CONCLUSIONS

- During the design process it was determined that the maximum force that must withstand pneumatic cylinders is 1345.14 N, allowing select pneumatic double acting cylinders with a pressure of 80 kN-m² and Ensuring lift the load 90 kg to a height of 1 m.
- In tests the elevator, loaded and unloaded, it was determine that the minimum height from the floor was 32 cm, Any decrease in height from the floor level, not the pneumatic cylinders burdened, provoking a sharp decline, causing damage to the guides and the piston of the cylinder, as well, could not lift the load from this minimum. To reduce operator fatigue, a damping cylinder for the following purposes, to decrease the height from the floor level to 23 cm, and to increase strength for lifting the load in the critical section, which is implemented 23 to 32 cm of height relative to the floor.
- Design software Autodesk Inventor allowed to prototype the elevator 3D digital form, through which was visualized, simulated and analyzed based on analytical calculations based on the structural, the behavior of stress and strain of the lift mechanism electro pneumatic approaching reality before their physical manufacturing, allowing correct errors before they occur in the already built mechanism, which would be costly and even dangerous.

V. SUGGESTIONS

- It is recommended for mechanical design using information material provided directly by manufacturers, because this information is available from sources such as internet and catalogs often contain data and information materials that are not sold in the local market.
- It is especially necessary to revise the adjustment bolts, the condition of the cylinders (especially stems), and all moving parts of the hoist before activating.
- Lift must be switched off when not being used and is also recommended that the lift remains in initial position and to prevent accidents involving forces exerted by pneumatic cylinders.

REFERENCES

- [18] **Beer and Jhonston. (1973).** *Mecánica vectorial para ingenieros. McGRAW-HILL*
- [19] **Robert Mott. (2006).** Diseño de elementos de máquinas. **PEARSON.**
- [20] **Beer and Jhonston. (2001).** Mecanica de materiales. **McGRAW-HILL.**
- [21] **Budynas, N., & Shingleys. (2006).** *Diseno de ingenieria mecanica.* EEUU: **MacGrawHill.**
- [22] **Guerrero, V., Yuste, R., & Martinez, L. (2009).** *Comunicaciones industriales.* Mexico: **AlfaOmega.**
- [23] **Logic, D. (2009).** *Catalogo general Direct Logic .* EEUU: **DirectLogic**
- [24] **MetalWork. (2013).** *Catalogo de Neumatica Genaral .* Italia: **MetalWork.**
- [25] **Miravete, A., & Arrode, E. (1996).** Transportadores y Elevadores. Espana: **Reverte S.A.**
- [26] **Reyes, F., Cid, J., & Vargas, E. (2013).** *Mecatronica Control y Automatizacion.* Mexico: **AlfaOmega**
- [27] **Sanchez, V. M. (2008).** *Potencia Hidraulica controlada por PLC.* Mexico: **AlfaOmega.**
- [28] **Shigley, & Mischke. (1996).** *Standard handbook of machine designe.* EEUU: **MacGrawHill.**
- [29] **SMC. (2003).** *Neumatica.* Espana: **Thomson Paraninfo.**
- [30] **Sole, A. C. (2011).** *Neumatica e Hidraulica.* Mexico: **AlfaOmega.**
- [31] **Automation, R. (Mayo de 2013).** *DeviceNet Media.* Obtenido de Allen Bradley: http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/um/dnet-um072_-en-p.pdf.
- [32] **Bartoli. (Mayo de 2013).** *Bartolisrl.* Obtenido de bartolisrl: <http://www.bartolisrl.com/herramientas/elevtjibajaaltura.htm>.
- [33] **Borches, D. P. (Junio de 2013).** <http://es.scribd.com/>. Obtenido de <http://es.scribd.com/doc/37669017/Bluetooth>.
- [34] **Olmedo, M. G. (Mayo de 2013).** <http://decsai.ugr.es/~mgomez>. Obtenido de Decsai: <http://flanagan.ugr.es/J2ME/TOOLS/index.htm>.

Author

MIGUEL LEONARDO ROJAS TOBAR.

He was born in the town of Quito - Pichincha-Ecuador, on 15 May 1987.

University Studies at the Universidad Técnica del Norte, Career Mechatronics Engineering.

His interests are Industrial Automation, Pneumatic & Hydraulics and development of Hardware and Software