

**REDISEÑO Y AUTOMATIZACIÓN DEL SISTEMA MECÁNICO,
HIDRÁULICO Y ELÉCTRICO DE UNA PRENSA MARCA INMES DE 100
TONELADAS MEDIANTE LA APLICACIÓN DE UN PLC Y UNA
INTERFAZ DE COMUNICACIÓN HMI PARA LA FABRICACIÓN DE
ELEMENTOS DE CONTENEDORES PARA LA EMPRESA INDUSTRIA
METÁLICA COTOPAXI I.M.C.**

**TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE: INGENIERO EN ELECTROMECAÁNICA**

AUTOR: TOAPANTA PÉREZ, LUIS FERNANDO

DIRECTOR: ING. SÁNCHEZ, WILSON

2019



Planteamiento del Problema

El problema radica en que Industrias Metálicas Cotopaxi tiene una gran demanda en la producción de contenedores y a la vez no cuenta al cien por ciento con maquinaria automatizada para la fabricación de piezas o demás elementos constitutivos de producción, provocando que las múltiples prensas que maneja sean accionadas manualmente mediante pulsadores haciendo que cada ciclo de trabajo dure relativamente más en comparación con una prensa automatizada y con una interfaz de comunicación, disminuyendo de esta manera los índices de productividad.



10 de Agosto
1824
Ecuador

ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Objetivo General

Rediseñar y automatizar el sistema mecánico, hidráulico y eléctrico de una prensa marca INMES de 100 toneladas mediante la aplicación de un PLC y una interfaz de comunicación HMI para la fabricación de elementos de contenedores para la empresa Industria Metálica Cotopaxi I.M.C.



Objetivos Específicos

- Valorar el estado de los componentes mecánicos de la prensa hidráulica INMES.
- Readecuar el sistema hidráulico de la prensa para su automatización.
- Diseñar, seleccionar, programar e implementar el sistema eléctrico y de control, para la automatización y puesta en marcha de la prensa INMES.
- Montar y acoplar los elementos hidráulicos mecánicos y eléctricos necesarios para el funcionamiento de la prensa.
- Elaborar los planos mecánicos, hidráulicos y eléctricos de la prensa.



Hipótesis

Con el desarrollo del rediseño y la automatización de la prensa hidráulica se podrá reducir tiempos de producción en la fabricación de elementos de contenedores.

Variables de Investigación

Variable Independiente: Rediseñar y automatizar la Prensa Hidráulica.

Variable dependiente: Reducción de tiempos de producción en la fabricación de elementos de contenedores.



Introducción

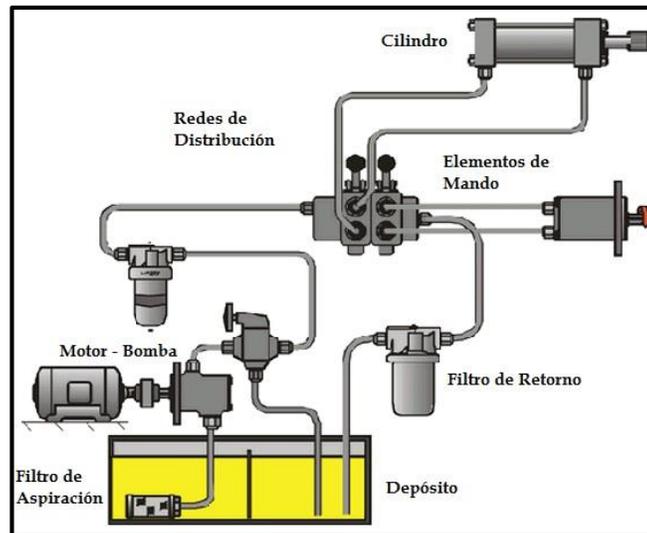
La Automatización Industrial es la aplicación de distintos recursos tecnológicos para controlar y monitorear un proceso, maquina, aparato o dispositivo que por lo regular cumple funciones o tareas repetitivas, haciendo que opere automáticamente, reduciendo al mínimo la intervención humana.

El proyecto en mención tiene como finalidad la reducción de tiempos de producción, mediante la automatización del proceso de prensado usando diversos recursos tecnológicos como son un PLC y su interfaz HMI



Hidráulica

La hidráulica utiliza básicamente los fluidos hidráulicos como medios de presión para mover los pistones de los cilindros. En la figura se representa el movimiento típico de un pistón dentro del cilindro gracias a la energía proporcional por un sistema hidráulico formado por una bomba, un depósito y un conjunto de tuberías que llevan el fluido a presión hasta los puntos de utilización.



Aplicaciones de la hidráulica

Los sistemas hidráulicos se aplican típicamente en dispositivos móviles tales como maquinaria de construcción, excavadoras, plataformas elevadoras, aparatos de elevación y transporte, maquinaria para agricultura y simuladores de vuelo.

Sus aplicaciones en dispositivos fijos abarcan la fabricación y montaje de máquinas de todo tipo, líneas transfer, aparatos de elevación y transporte, prensas, máquinas de inyección y moldeo, máquinas de laminación, ascensores y montacargas



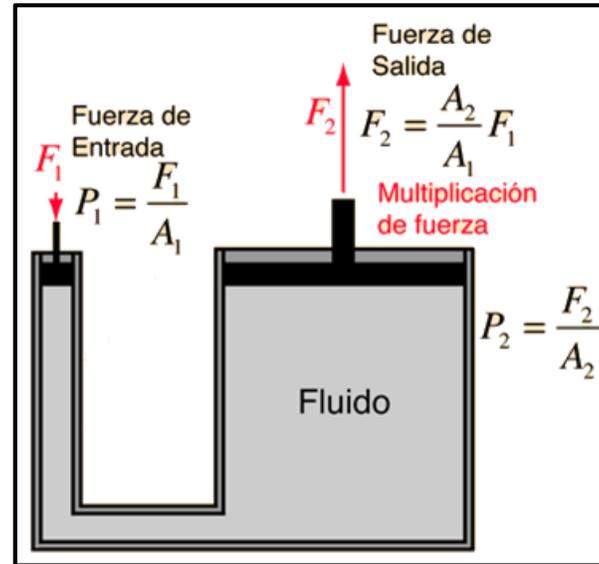
100120
Ecuador

ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Principio fundamental de la hidráulica

Principio de Pascal

Si aplicamos una fuerza F sobre una superficie S de un líquido que este contenido en un recipiente se produce una presión P que se transmite por el líquido y esa presión es la misma en todos los puntos de la superficie del recipiente como se muestra:



Diseño de la Propuesta

Arquitectura del Proyecto

- **Diseño Conceptual**
- **Obtención del modelo 3D de la prensa**
- **Rediseño mecánico**
- **Rediseño hidráulico**
- **Rediseño eléctrico y electrónico**
- **Selección de dispositivos**
- **Implementación del sistema de prensado**



Diseño de la Propuesta

- **Algoritmo de control**
- **Protocolo de comunicación.**
- **Resultados**
- **Validación de la hipótesis**
- **Análisis económico**



Diseño Conceptual

Para el sistema se rediseñará y construirá la parte mecánica, hidráulica y eléctrica, además se implementará un PLC, un interfaz HMI y se realizará el análisis de elementos finitos mediante el software Ansys, con el fin de mejorar la calidad del prensado.

Casa de la calidad

La casa de la calidad o despliegue de la función de la calidad es una representación gráfica, que permite identificar y transmitir los atributos o requisitos del diseño de calidad que el cliente demanda, al mismo tiempo que transforma y asegura que la voz del cliente sea transmitida en requerimientos técnicos de diseño para asegurar que las necesidades del cliente sean satisfechas



Diseño conceptual

Requerimientos de cliente.

La satisfacción del cliente comienza por prestarle la debida atención. Esto se refleja en conocer e identificar sus necesidades y expectativas.

Conclusión de la casa de la calidad

De la casa de la calidad se desprende los puntos críticos que garantizarán la calidad del diseño, misma que se traducirá en la satisfacción del cliente (operario).

Sistema mecánico: Las partes y elementos constitutivos de la prensa hidráulica deberán ser estudiadas y analizadas con programas computacionales con el fin de garantizar su correcto funcionamiento en condiciones normales de operación.

Sistema hidráulico: El rediseño del sistema hidráulico se desarrollará teniendo en cuenta la velocidad en la producción.

Sistema eléctrico: El sistema dispondrá de la correcta selección de elementos teniendo en cuenta la disponibilidad en caso de fallo.

Interfaz hombre máquina: EL HMI es uno de los factores muy importantes en el área de la automatización, es una de las formas de mantener el control del proceso y la fácil operación del mismo.



Diseño conceptual

Nivel de automatización: Se requiere de un nivel de automatización muy alto debido a que se requiere la reducción de personal y tiempos de producción.

Tipo de materiales: El acero para el diseño de elementos de máquinas es el material idóneo para la construcción del sistema mecánico.

Mantenimiento: Tanto el sistema mecánico, hidráulico y eléctrico deberán ser rediseñados tomando en cuenta los diferentes tipos de mantenimiento: predictivo, preventivo y correctivo.

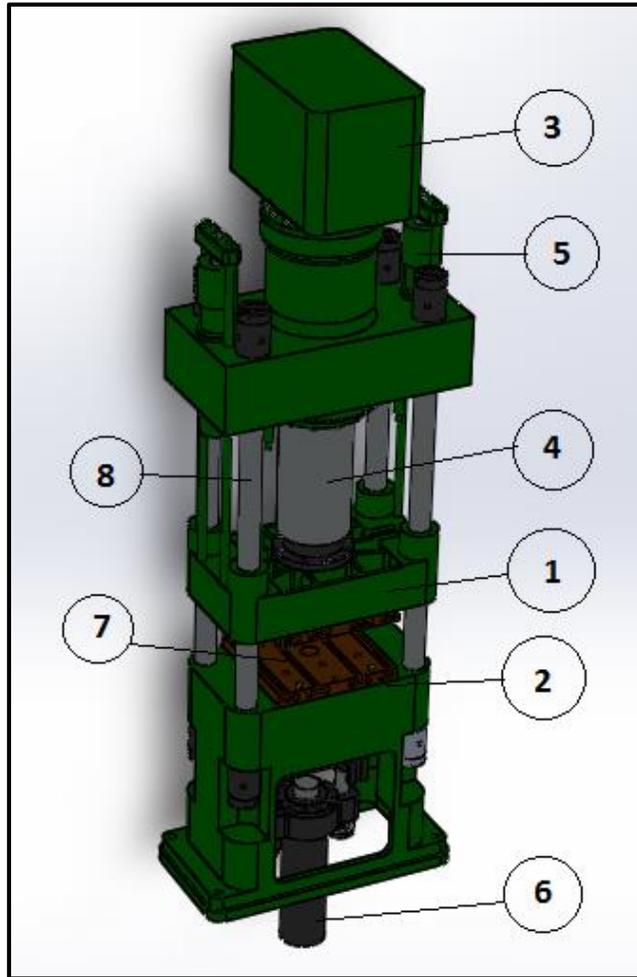
Panel de operación: De fácil acceso, permite al operario controlar en todo momento el estado actual de la máquina y además, poder emitir órdenes a la misma en función de las necesidades de cada momento.

Precisión de prensado: Para satisfacer este requerimiento estos sistemas deben estar muy bien sincronizados y muy bien censados



Diseño de la Propuesta

MODELAMIENTO 3D PRENSA INMES



Partes de la prensa

- 1 Mesa móvil
- 2 Mesa fija
- 3 Tanque superior
- 4 Cilindro principal
- 5 Cilindro de ascenso (mesa móvil)
- 6 Cilindro para Prensa chapas
- 7 Base para colocación de matriz
- 8 Guías

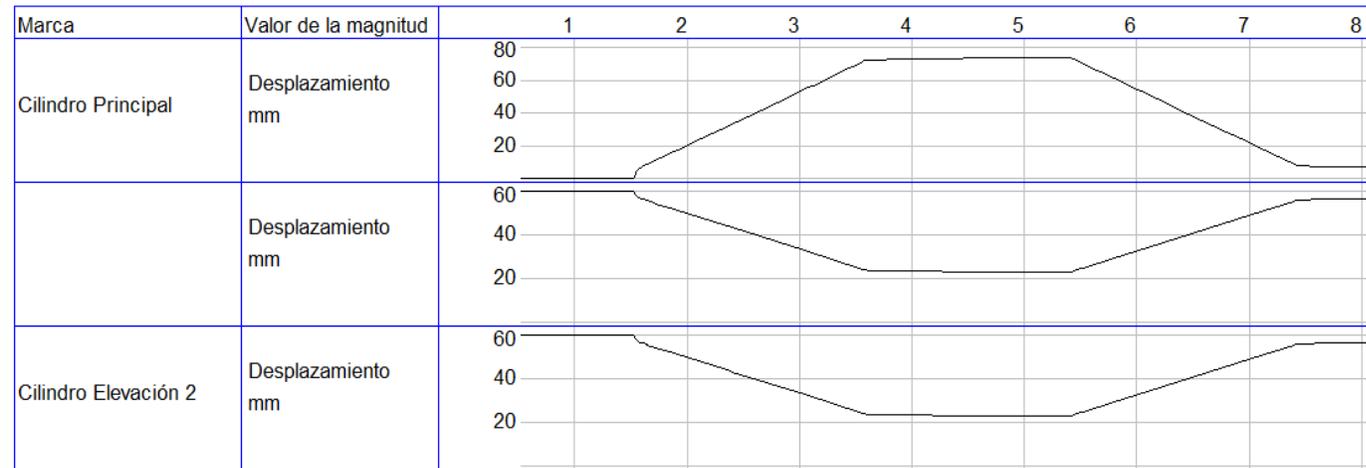


Diseño de la Propuesta

Principio Básico de funcionamiento

Una vez energizada la unidad hidráulica (motor y bomba), y ejecutada la acción de prensado (manual o automático) el cilindro A deberá accionarse hasta una determinada altura, para este caso consideraremos una bajada por gravedad llenado rápido, regido por un final de carrera donde el llenado rápido se detenga y empiece la bajada por presión ejerciendo el prensado; la presión de trabajo no deberá sobrepasar la indicada en el presóstato y será éste quien termine con el prensado y dirija las órdenes hasta los cilindros B llevando a la mesa móvil en ascenso hasta los finales de carrera superiores, esta secuencia se denominará secuencia hidráulica de prensado.

A+ B+ B-



Diseño de la Propuesta

Rediseño Mecánico

Se han tomado en cuenta varios aspectos para la selección de las partes constitutivas de la prensa hidráulica.

- Para el análisis del cilindro hidráulico como elemento principal de la prensa hidráulica se considerará un factor de seguridad de 4.
- Para el análisis de los pistones existen dos métodos para el análisis de columnas, de acuerdo a los fabricantes y la industria de cilindros hidráulicos resulta apropiado utilizar la fórmula de Euler para determinar la carga aplicable a cilindros hidráulicos, la utilización de esta ecuación dependerá de si la columna pueda ser considerada como larga o corta.

$CR > Cc \Rightarrow$ Columna Larga \therefore Fórmula de Euler

$CR < Cc \Rightarrow$ Columna Corta \therefore Esfuerzo de compresión directa

$$CR = \frac{K*L}{r} = \frac{L_e}{r}$$

transición

La relación de esbeltez

$$Cc = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{S_y}}$$
 relación de esbeltez de



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

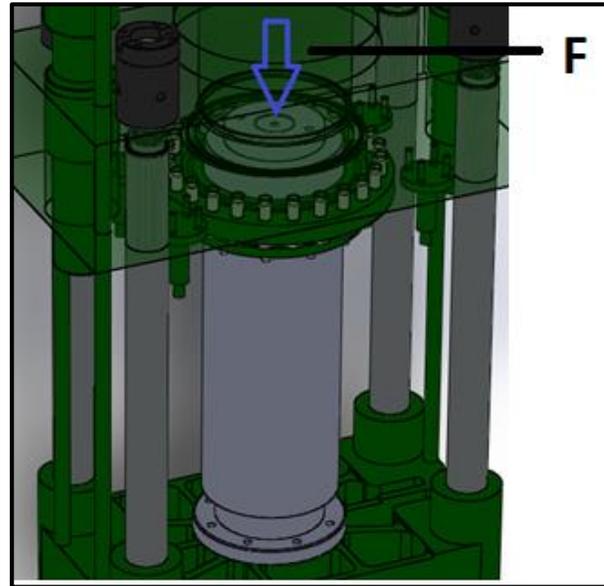
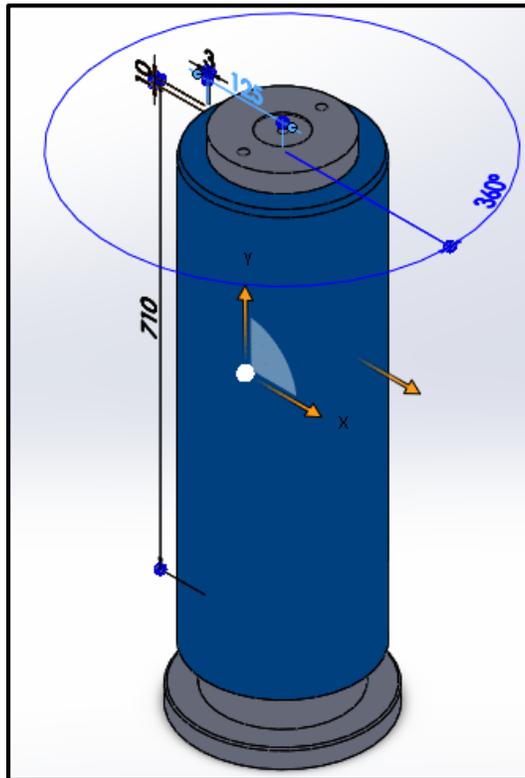
Diseño de la Propuesta

Cilindro Principal

Acero F-1140 cromado; un acero no aleado con un 0.4-0.45% de carbono

Para el caso expuesto se considera que el cilindro tiene fijaciones en ambos extremos

Esfuerzo de compresión directa



$$P_{cr} = AS_y \left[1 - \frac{S_y \left(\frac{KL}{r} \right)^2}{4\pi^2 E} \right]$$

$$P_{cr} = 12.79MN$$

$$F.S. = \frac{\text{esfuerzo de uso}}{\text{esfuerzo de falla}}$$

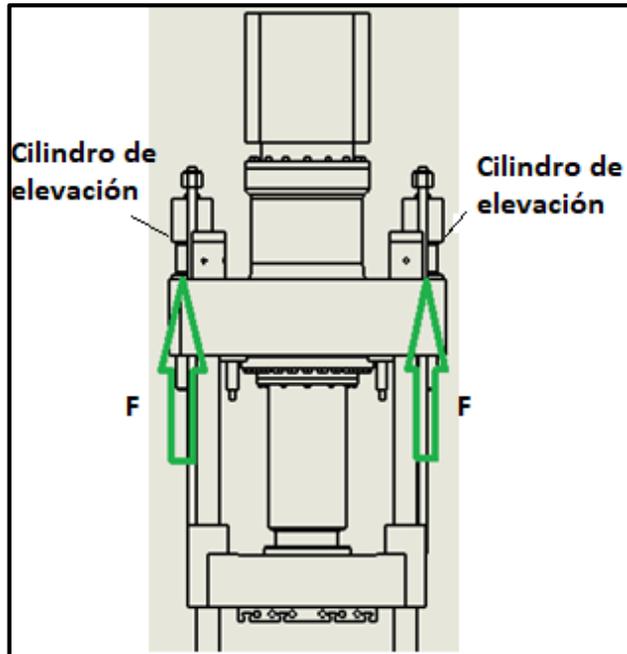
$$F.S. = \frac{12790KN}{981KN} = 13.03$$

$$CR = 4.316 < Cc = 97.78$$



Diseño de la Propuesta

Cilindros de elevación



$$W_{vencer} = W_{mesa} + W_{pistón} + W_{peso\ de\ la\ matriz}$$

$$W_{vencer} > 28.56\ KN$$

Se verifica la carga a la cual estará sometida el cilindro

$$\sigma = \frac{2P}{\pi LD}$$

$$\sigma = 1.683 \frac{MN}{m^2}$$

En la simulación se verifica que la máxima tensión de Von Mises

$$\sigma = 16.21 \frac{MN}{m^2}$$

Factor de seguridad

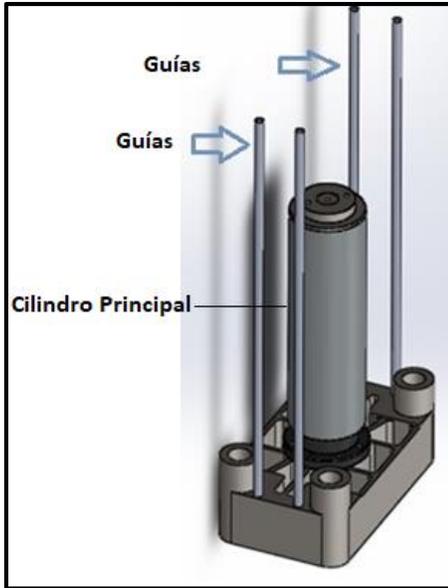
$$FS = \frac{16.21 \frac{N}{m^2}}{1.683 \frac{N}{m^2}} = 9.63$$

$$FS = 9.63$$



Diseño de la Propuesta

Guías de elevación



Se verifica la carga a la cual estará sometida las guías

$$\sigma = \frac{2P}{\pi LD}$$

$$\sigma = 8.027 \frac{MN}{m^2}$$

En la simulación se verifica que la máxima tensión de Von Mises

$$\sigma = 157.4 \frac{MN}{m^2}$$

Factor de seguridad

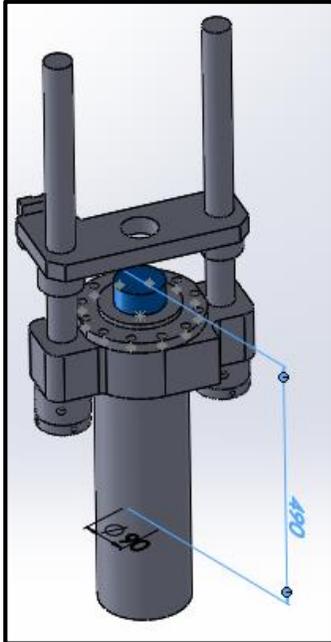
$$FS = \frac{157.4 \frac{MN}{m^2}}{8.027 \frac{MN}{m^2}}$$

$$FS = 19.60$$



Diseño de la Propuesta

Cilindro colchón



Se verifica la carga a la cual estará sometida el cilindro

$$\sigma = \frac{2P}{\pi LD}$$

$$\sigma = 11.58MPa$$

En la simulación se verifica que la máxima tensión de Von Mises

$$\sigma = 588MPa \frac{MN}{m^2}$$

Factor de seguridad

$$FS = \frac{588MPa}{11.58 MPa}$$

$$FS = 19.58$$



Diseño de la Propuesta

Selección de la potencia hidráulica a partir de las alternativas de cálculo

Comparación de alternativas para la potencia hidráulica.

Datos	Alternativa a)	Alternativa b)	Alternativa c)	Promedio
	a)	b)	c)	
Potencia (HP)	7	8	15	10
Caudal (GPM)	5	6	8	6.33

De acuerdo a los resultados obtenidos el promedio entre las alternativas es una potencia de 10HP y un caudal de 6.33 GPM; la alternativa que más se acerca al promedio general es la b) con una potencia de 8HP y un caudal de 6 GPM para el estudio.



Diseño de la Propuesta

Implementación del sistema mecánico

La implementación del sistema mecánico, inicia con la fabricación de todos los componentes que forman parte de la máquina, teniendo en cuenta la selección de materiales, para la construcción de cada elemento. Posteriormente se detalla el proceso de montaje y ensamblaje de todo el sistema, señalando los métodos de sujeción seleccionados para cada caso.



Figura Soporte Dispositivos hidráulicos



Figura Soporte de la bomba hidráulica



Diseño de la Propuesta

Implementación del sistema mecánico

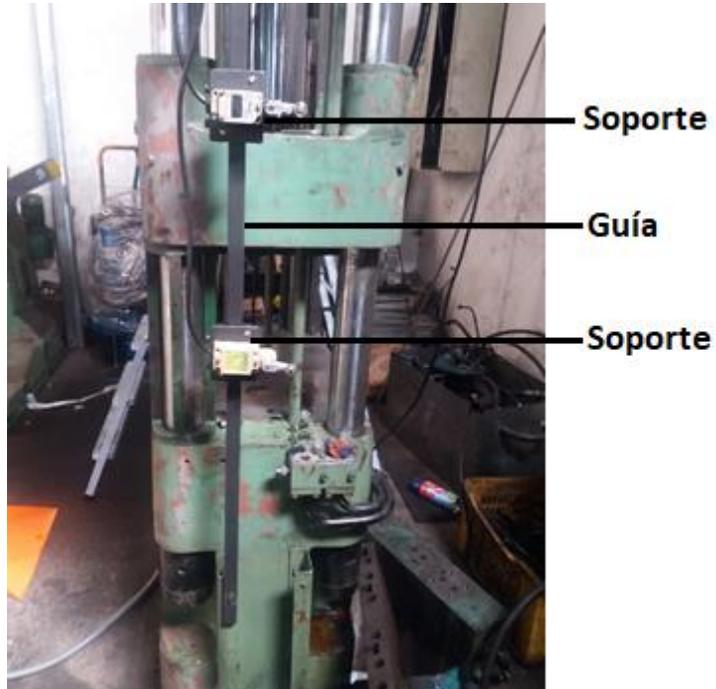


Figura Guía-soporte Finales de Carrera

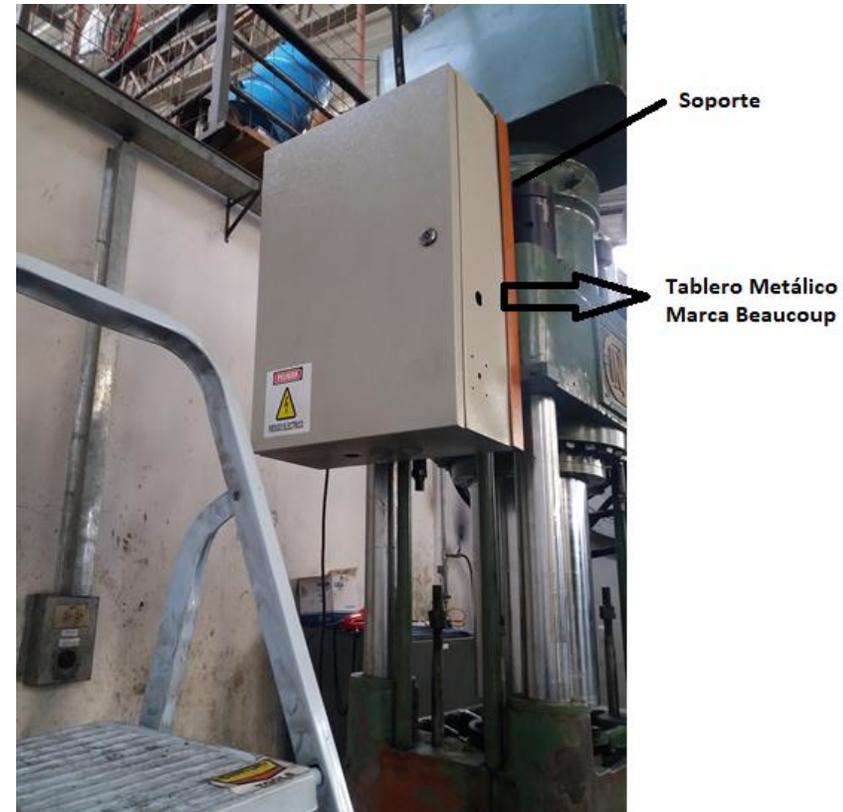


Figura Montaje del soporte y tablero de control



Diseño de la Propuesta

Implementación del sistema hidráulico

Para el montaje de las electroválvulas de control direccional y los adaptadores hidráulicos se aplica el método de sujeción mediante sujetadores roscados como pernos y tuercas, así también dependiendo la función.



Figura Montaje Electroválvulas direccionales



Figura Montaje Manómetro



Figura Conexión circuito hidráulico.



Diseño de la Propuesta

Implementación del sistema eléctrico

Para la implementación del sistema eléctrico, se considera las características técnicas de cada uno de los dispositivos empleados, seleccionando las protecciones y cableado adecuados, con el fin de evitar fallas eléctricas futuras

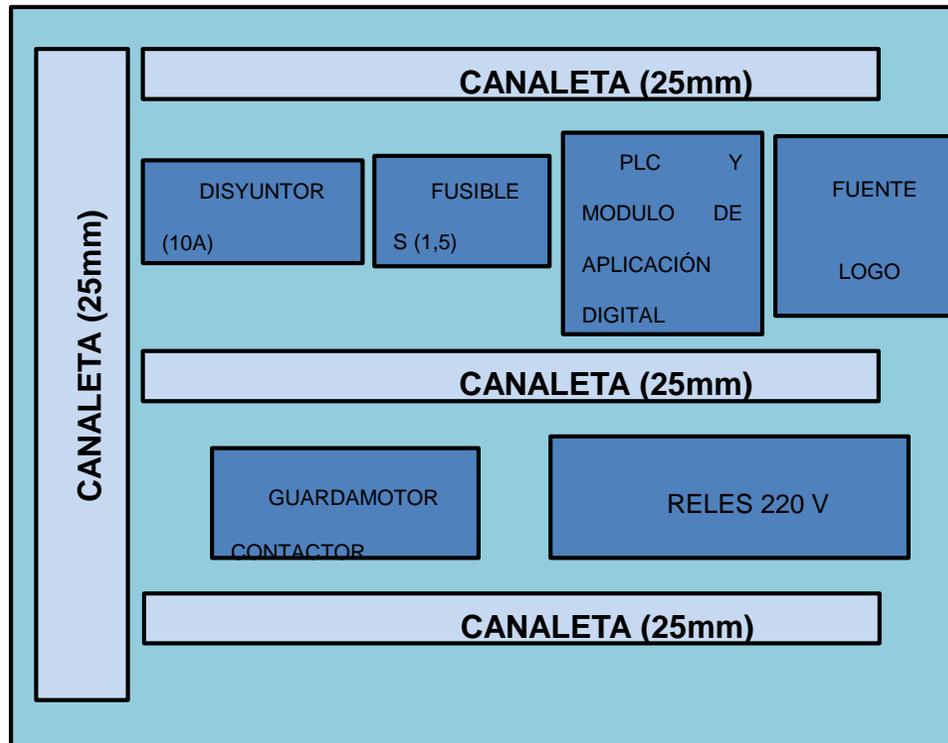


Figura Distribución Tablero Eléctrico



Figura Ensamblaje del tablero de control

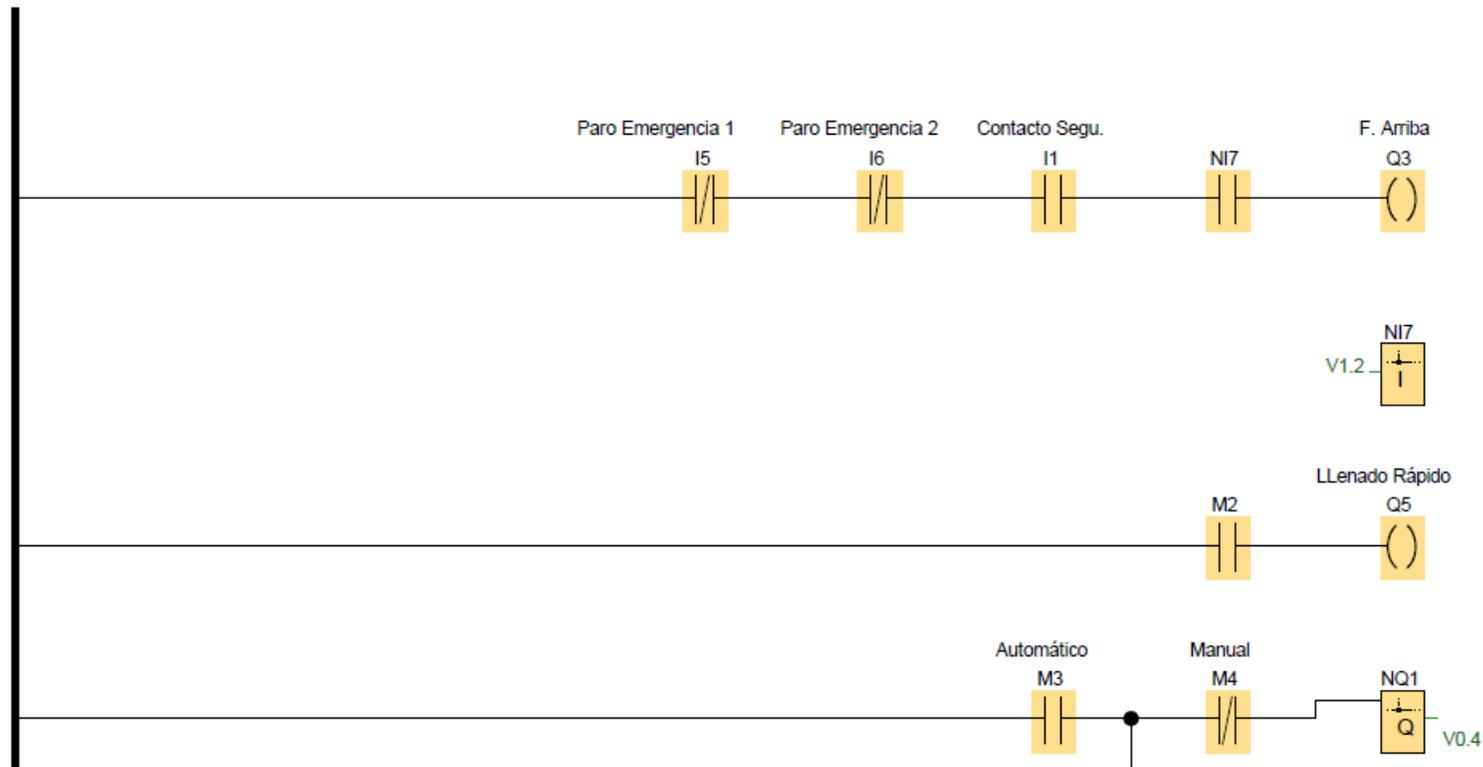


Diseño de la Propuesta

Implementación del algoritmo de control

Al disponer de dispositivos de la marca SIEMENS se opta por el manejo del software TIA Portal y el software Logo Soft

Bloques de programación PLC



Diseño de la Propuesta

Diseño HMI

Para el diseño del HMI es necesaria la configuración del Touch Panel KTP400 Basic, con un protocolo de comunicación Ethernet con el PLC.

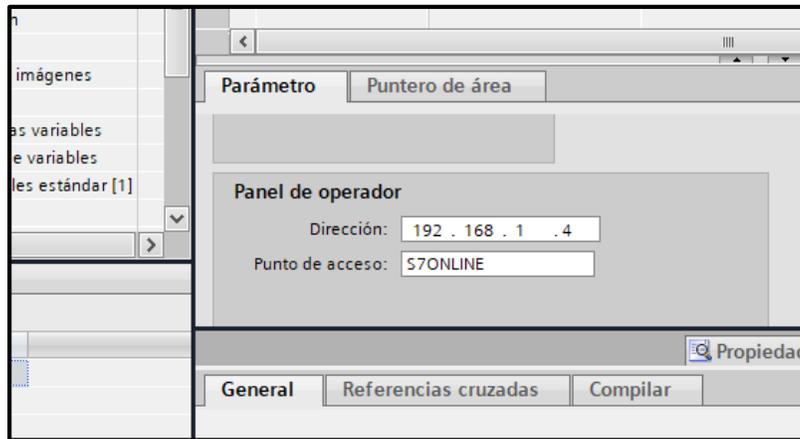


Figura Configuración Touch Panel

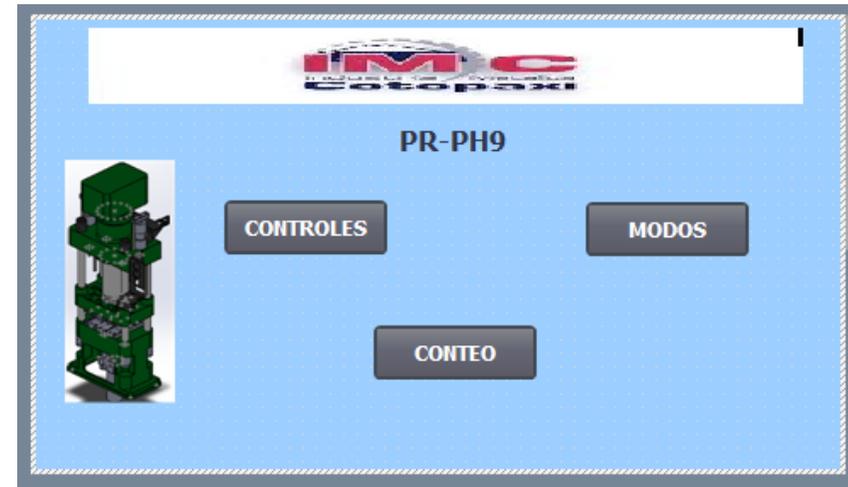


Figura Diseño imagen principal



Diseño de la Propuesta

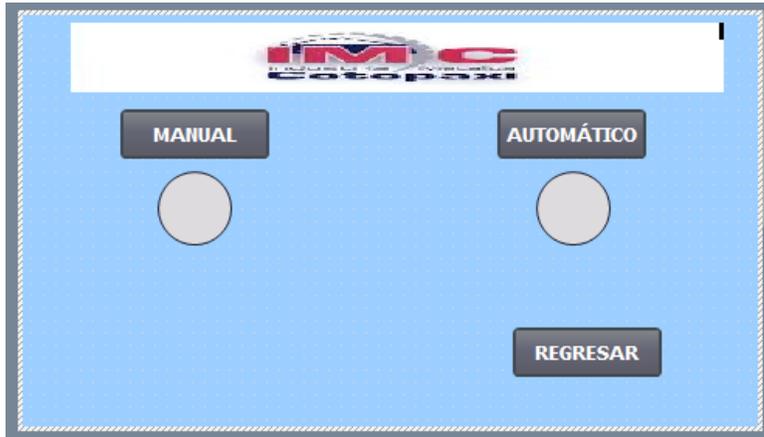


Figura Diseño selección de modo de operación.



Figura Diseño control de conteo de prefabricados

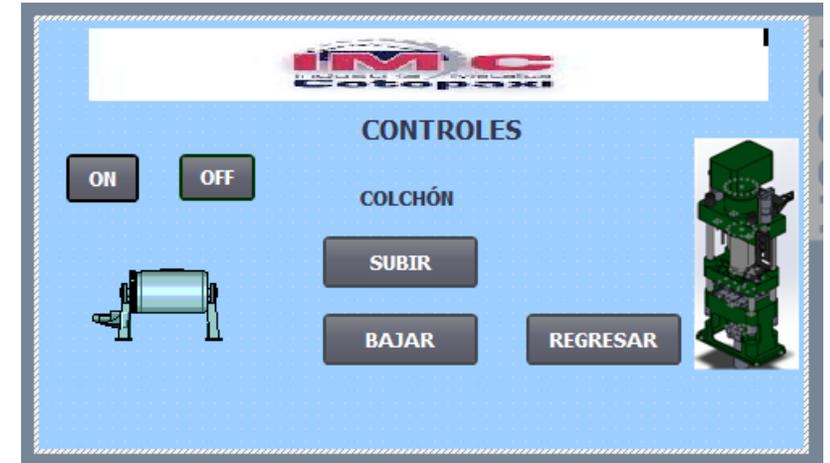


Figura Diseño mando de controles de operación



Pruebas de funcionamiento

Prueba en vacío



Tiempos de operación en vacío

Variable	Tiempo[s]
Bajada	1.5
Prensado	2
Elevación	3

Figura Prueba en vacío del funcionamiento de la prensa.



Pruebas de funcionamiento

Prueba de funcionamiento con matriz prefabricado carretilla.



Figura Elemento a ser prensado



Figura Elemento ya finalizado.



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Validación de la Hipótesis

Maquinas Hidráulicas existentes

No.	Nombre	Referencia
1	PR-PH6	De 200 toneladas
2	PR-PH3	De 150 toneladas
3	PR-PH13 (Prensa INMES)	De 100 toneladas

Tiempos de operación primer ciclo prensas hidráulicas

Variable	PR-PH6	PR-PH3 (Prensa INMES)	PR-PH13 (Prensa INMES)
Tiempo de bajada [segundos]	4	3	1.5
Tiempo de prensado [segundos]	2	2	2
Tiempo de subida [segundos]	5	4	3
Tiempo de ingreso y retiro del material [segundos]	14	12	10
Tiempo total de manufactura [segundos]	25	21	16.5



VALIDACIÓN DE LA HIPÓTESIS

Se puede verificar que el número total de elementos prefabricados por la prensa PR-PH3 es de 1371 y el de la prensa PR-PH13 es de 1745; obteniendo una mayor productividad con el estudio

Número de elementos Prefabricados

Variable	PR-PH3	PR-PH13
Tiempo total de manufactura [s]	21	16.5
Tiempo Jornada diaria [s]	28800	28800
# elementos prefabricados	1371	1745



Análisis económico

Productividad

Es la capacidad que tengo para dar más (más resultados, más producido, más dinero, más beneficios, etc.) sin tener que aumentar los recursos implicados

$$Productividad = \frac{Tiempo Real}{Tiempo Disponible} \times \frac{Unidades Producidas}{Unidades Planificadas}$$

Donde:

Tiempo real [Horas]= Tiempo de manufactura unidades planificadas

Tiempo Disponible [Horas]= Tiempo Jornada Diaria= 8 horas

Unidades producidas (PR-PH13)= 1745

Unidades planificadas (PR-PH3)=1371



Análisis Económico

$$\text{Productividad} = \frac{6.28 \text{ horas}}{8 \text{ horas}} \times \frac{1745}{1371}$$

$$\text{Productividad estudio (\%)} = 99\%$$



Resultados

Ganancia bruta.

Es la diferencia a favor que espera obtener una empresa. Se obtiene al restar los costos totales de los ingresos totales calculados en un cierto período. Este tiempo, denominado “periodo contable”, es anual en la mayoría de las empresas, aunque también puede ser semestral o incluso trimestral.

Ganancia Bruta = Ingresos totales – Costos de la producción

$$\text{Ganancia Bruta}[\$] = (7.25 \times 1745) - (6.25 \times 1745)$$

$$\text{Ganancia Bruta}[\$] = 1745 \text{ dólares}$$



Resultados

Margen de ganancia bruta

Es la diferencia a favor que espera obtener una empresa. Se obtiene al restar los costos totales de los ingresos totales calculados en un cierto período. Este tiempo, denominado “periodo contable”, es anual en la mayoría de las empresas, aunque también puede ser semestral o incluso trimestral.

$$\text{Porcentaje del margen de ganancia bruta } [\%] = \frac{\text{Ganancia bruta}}{\text{Costos de producción}} \times 100$$

$$\text{Porcentaje del margen de ganancia bruta } [\%] = \frac{1745[\$]}{(6.25 \times 1745)[\$]} \times 100$$

$$\text{Porcentaje del margen de ganancia bruta } [\%] = 16\%$$



COMPROBACIÓN HIPÓTESIS

Con el desarrollo del rediseño y la automatización de la prensa hidráulica marca INMES esta máquina se encuentra en funcionamiento con un panel de control amigable y entendible para el operador; se redujeron los tiempos de producción en la fabricación de elementos de contenedores, la productividad es un factor determinante para la sobrevivencia de las empresas tradicionales se obtuvo un porcentaje de productividad del 99 % y un porcentaje de margen de ganancia bruta de 16%.



Conclusiones

- Con el uso de paquetes computacionales CAE se pudo determinar que los elementos principales de la prensa hidráulica se encontraban en buenas condiciones.
- Mediante la casa de la calidad se identificó los principales requerimientos del cliente para una posterior determinación de las especificaciones y la readecuación del sistema hidráulico.
- Utilizando el software SolidWord 2018, se desarrolló y simuló un modelo 2D y 3D mecánico previo a la reconstrucción, se logró la simulación y programación de los sistemas eléctrico, electrónico e hidráulico, por medio de los softwares: LOGO SOFT CONFORT V8.2, FESTO HIDRAULIC y TIA PORTAL V13 certificando así que la prensa cumple en forma segura con los requerimientos necesarios para realizar este tipo de trabajo.



Conclusiones

- Con el rediseño, automatización, construcción e implementación de la prensa hidráulica se logró reducir tiempos de producción de manera satisfactoria cumpliendo con sus necesidades.
- La calidad de malla no siempre será mejor si se la refina más, es importante que las medidas de expansión de mallado, ortogonalidad y simetría se encuentren en los rangos adecuados, ya que si no se cumplen se tendrá resultados erróneos o a su vez la simulación no finalizara y mostrará errores.
- Se dotó a la empresa I.M.C. planos guías de los sistemas mecánicos, hidráulicos, eléctricos y electrónicos, ya sea para poner en funcionamiento la prensa que estaba fuera de servicio durante algún tiempo como para futuras aplicaciones.



Recomendaciones

- El cálculo detallado del diseño mecánico y el uso de herramientas CAE, para optimizar el diseño y garantizar la funcionalidad de la prensa hidráulica.
- Realizar un mantenimiento periódico de la prensa, exclusivamente del tanque que alberga el aceite hidráulico, debido a que el aceite por estar expuesto a un uso frecuente se desgasta generando residuos, por lo que perjudica al sistema esforzando el motor.
- Para mejoras en la precisión del prensado se debe considerar las normas de seguridad y procesos de calidad de manufactura así como también la implementación de un encoder, garantizando una mejor señal en el conteo.



Recomendaciones

- Se debe tomar muy en cuenta los ajustes y tolerancias especificados en los planos, al momento de la construcción para obtener los resultados esperados de cada una de las piezas.
- Utilizar un software de diseño para modelar el sistema con dimensiones reales ayuda a obtener resultados de diferentes tipos de análisis lo más cercanos a lo real.



GRACIAS POR SU ATENCIÓN



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA