



**UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA
SEDE CUENCA**

CARRERA DE INGENIERIA ELECTRÓNICA

**PROPUESTA DE ADAPTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL, POTENCIA E
INSTALACIÓN EXPROOF EN UNA ENDEREZADORA DE BASES PARA
CILINDROS DE 15 KG DESTINADOS A ENVASAR GLP**

Trabajo de titulación previo a la obtención del
título de Ingeniero Electrónico

AUTOR: JONATHAN HUMBERTO LUZON CARRION

TUTOR: ING. EDUARDO GUILLERMO PINOS VELEZ, PHD.

Cuenca – Ecuador

2024

**CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN**

Yo, Jonathan Humberto Luzón Carrión con documento de identificación N° 0706422300; manifiesto que:

Soy el autor y responsable del presente trabajo; y, autorizo a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Cuenca, 25 de agosto del 2024

Atentamente,

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'JHL', is written over a faint, light blue circular stamp or watermark.

Jonathan Humberto Luzón Carrión

0706422300

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Yo, Jonathan Humberto Luzón Carrión con documento de identificación N° 0706422300, expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del Artículo Académico: “Propuesta de adaptación de un sistema de control, potencia e instalación EXPROOF en una enderezadora de bases para cilindros de 15 KG destinados a envasar GLP”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Electrónico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribo este documento en el momento que hago la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 25 de agosto del 2024

Atentamente,

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'J. H. Luzón Carrión', written over a faint rectangular stamp.

Jonathan Humberto Luzón Carrión

0706422300

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Eduardo Guillermo Pinos Velez con documento de identificación N° 0102942190, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: PROPUESTA DE ADAPTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL, POTENCIA E INSTALACIÓN EXPROOF EN UNA ENDEREZADORA DE BASES PARA CILINDROS DE 15 KG DESTINADOS A ENVASAR GLP, realizado por Jonathan Humberto Luzón Carrión con documento de identificación N° 0706422300, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Artículo académico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 25 de agosto del 2024

Atentamente,



Ing. Eduardo Guillermo Pinos Velez, PhD.

0102942190

AGRADECIMIENTOS

Primeramente a Dios, por permitirme seguir adelante con mis estudios a pesar de las dificultades que un estudiante atraviesa.

A mis padres María Carrión y Matías Luzón, por ser el motor que ha impulsado mi crecimiento durante estos años de estudios, por creer en mi capacidad de lograr la meta de ser un profesional con valores y principios, aspectos que me inculcaron desde pequeño y que hoy se convierten en herramientas invaluableles para desarrollarme en el ámbito profesional. Todo este fruto es gracias a ustedes.

A mi esposa Daniela Lozano, por su paciencia y motivación que supo brindarme para ser un profesional de calidad, por su sensatez y delicadeza para acompañarme en esta etapa final de mi carrera, sin duda, mi compañera de vida en este nuevo camino que hemos forjado juntos.

A mis tutores Eduardo Pinos y Carlos Farías, por ser esa guía que encaminó el desarrollo de este trabajo.

A mis queridos docentes, por dedicar su esfuerzo a impartir sus conocimientos de manera eficaz y precisa, buscando siempre minimizar el error y forjando así la disciplina para continuar en esta carrera. A la Dra. Mónica Huerta, por ser ese mentor que despertó el interés en aplicar la ingeniería en el voluntariado, buscando a través de eso, desarrollar tecnología en favor de la humanidad.

A mis grandes amigos de carrera y voluntariado, Daniel Proaño, Victor Uguña y Pedro Cordero, por todas las experiencias que compartimos en este largo pero enriquecedor camino.

DEDICATORIA

Dedicado a mi hija Juliana Rafaela, por ser ese motor que impulsa mi vida, por ser la razón en la que me inspiro para ser un mejor profesional, por llenar mi alma con su ternura y por enseñarme el amor infinito que un padre puede sentir hacia su hija. Por ser mi fuente de inspiración, estas palabras quedan inmortalizadas en tu nombre, esperando te sientas orgullosa de tu padre.

Resumen

En el presente trabajo se propone un sistema de potencia y automatización para adaptarlo a una máquina enderezadora de bases a ubicarse en una zona clasificada como área peligrosa, que permita al operario realizar correcciones de forma a las bases de cilindros de 15 kg para envasar GLP. Para este fin se realizó un estado del arte de máquinas destinadas a operaciones de enderezado de bases de cilindros para entender su funcionamiento mediante la definición del conformado de piezas metálicas, aplicación de la normativa para fabricación y reparación de cilindros en el Ecuador, así como los cálculos de fuerza de enderezado para dimensionar un motor que comande un sistema hidráulico.

Para la etapa de potencia se consideran todas las restricciones de seguridad intrínseca que permitan ubicar elementos eléctricos a una distancia considerable de la zona clasificada, a fin de mitigar los riesgos de cortocircuitos que puedan desencadenar una explosión.

En la etapa de control, se establecen parámetros de automatización para cumplir con los ciclos necesarios para enderezar una base, así como la extracción de datos de producción y mantenimiento de la máquina. Así mismo se plantea el uso de elementos a prueba de explosión para comandar la máquina in situ.

Finalmente se realiza un análisis del proceso de enderezado mediante conteo de bases enderezadas en una máquina enderezadora de bases ubicada en la planta envasadora CEM LOJAGAS a fin de determinar un estándar de producción.

Palabras clave: GLP; Máquina enderezadora; Zona clasificada; Sistema hidráulico; A prueba de explosión; Cortocircuito; Producción; Mantenimiento.

Abstract

In this work, a power and automation system is proposed to be adapted to a base straightening machine located in a zone classified as hazardous area, which allows the operator to make shape corrections to the bases of 15 kilograms LPG cylinders. For this purpose, a state of the art of machines for cylinder base straightening operations was carried out in order to understand its operation by defining the forming of metal parts, application of the regulations for the manufacture and repair of cylinders in Ecuador, as well as the calculations of straightening force to size a motor that commands a hydraulic system.

For the power stage, all intrinsic safety restrictions are considered to allow locating electrical elements at a considerable distance from the classified area, in order to mitigate the risk of short circuits that could trigger an explosion.

In the control stage, automation parameters are established to comply with the necessary cycles to straighten a base, as well as the extraction of production and maintenance data from the machine. The use of explosion-proof elements to control the machine on site is also proposed.

Finally, an analysis of the straightening process is carried out by counting the number of straightened bases in a base straightening machine located in the CEM LOJAGAS packaging plant in order to determine a production standard.

Keywords: LPG; Straightening machine; Classified area; Hydraulic system; Explosion proof; Short circuit; Production; Maintenance.

Antecedentes

El comercio del GLP (Gas licuado de petróleo) en el Ecuador tiene como punto de partida la provincia del Guayas, donde el estado maneja la distribución de este insumo por medio de comercializadoras de carácter público, privado y de economía mixta. Las comercializadoras a su vez tienen la responsabilidad de distribuir el GLP hasta el cliente final con ciertos parámetros que rigen en el reglamento definido por el Ministerio de Energía y Recursos Naturales No Renovables. Dentro de los reglamentos que permiten la comercialización del GLP, se encuentran artículos donde se exige que no exista un riesgo asociado con el estado del cilindro para envasado del GLP, definido por los organismos de control que rigen la calidad del producto a nivel nacional [1].

El cliente final es quien determina a qué comercializadora comprar el producto con base al factor de riesgo que representa el estado de sus cilindros, ya que por cada zona del país están autorizadas hasta 3 comercializadoras. Al ser un producto subsidiado por el estado, los cilindros son maltratados muchas veces en su trayecto de distribución, lo que determina una necesidad de poseer una estación de mantenimiento rápido a las bases de los cilindros, que son las partes más afectadas por todo este proceso de comercialización.

Las estaciones de mantenimiento muchas veces se encuentran en talleres especializados en enderezado de asas y bases y éstas a su vez no se encuentran necesariamente dentro de la misma jurisdicción de la planta envasadora de GLP. *“Este tipo de planta debe cumplir con ciertas condiciones de seguridad para la operación de su maquinaria, por lo que es necesario determinar una clasificación de áreas peligrosas para la instalación de una estación especializada en el enderezado de bases de cilindros con equipo eléctrico a pruebas de explosiones (, del inglés Explosion Proof) que cumpla con normativas (, del francés ATmosphères EXplosibles) e (, del inglés International*

Electrotechnical Commission System for Certification to Standards Relating to Equipment for Use in Explosive Atmospheres” [2].

Al tener a disposición este tipo de estación se garantizan condiciones seguras de operación, objetivos de seguridad intrínseca y la anulación del transporte interprovincial de cilindros de GLP destinados al mantenimiento. Las enderezadoras de bases son máquinas que usan un sistema de fuerza hidráulica para enderezar los anillos base en un ciclo programado por tiempos, donde el operario es quien determina la necesidad de ciclos para asegurar un enderezado óptimo que cumpla con los requisitos para la posterior comercialización del producto.

Este tipo de máquinas se comercializan en base a requerimientos del cliente y de algunos estándares ya planteados por la forma constructiva del cilindro de gas. En el Ecuador, las bases de los cilindros deben cumplir el reglamento establecido por el en cuanto a forma, material y construcción [3].

Justificación

La propuesta se desarrolla en el marco de necesidades que establece la empresa CEM LOJAGAS para con la empresa de desarrollo e ingeniería ZADA S.A en la cual se solicita una propuesta de implementación de una máquina enderezadora de bases para cilindros de 15 kg destinados al envasado de GLP.

Esta máquina debería solventar la necesidad de un mantenimiento rápido y eficaz de los cilindros dentro de un ambiente controlado y clasificado, evitando así el transporte hasta talleres especializados, ya que muchas veces por la avería de una base, el cilindro tiene que abandonar el centro de envasado incurriendo así en la cantidad de cilindros llenos de GLP destinados a la distribución por día.

La propuesta contempla las condiciones para la instalación in situ para zonas clasificadas como peligrosas, específicamente en un entorno con presencia total o parcial de GLP en condiciones normales de operación. Es por esto por lo que se propone el uso de métodos de protección para mitigar y evitar explosiones producidas por arcos eléctricos que se puedan generar durante la operación normal de la máquina.

Con base a estas condiciones se plantea usar métodos de seguridad intrínseca para instalaciones eléctricas mediante el uso de elementos antiexplosivos que garanticen protección aumentada frente a imprevistos de la máquina.

Objetivos

Objetivo General

- Proponer la implementación de un sistema de control y potencia para automatizar una enderezadora de bases de cilindros de GLP en áreas clasificadas mediante el dimensionamiento del sistema eléctrico y el análisis de métodos a prueba de explosión.

Objetivos específicos:

- Establecer el estado del arte de máquinas destinadas a operaciones de enderezado de bases para entender su funcionamiento.
- Proponer una implementación del sistema eléctrico de control y potencia para automatizar el proceso de enderezado en áreas clasificadas.
- Analizar los resultados de las pruebas aplicadas a enderezadoras de bases con base a estándares de producción nacionales.

Introducción

En un mundo donde la automatización de procesos significa el crecimiento de la industria, resulta necesario dar autonomía a una máquina para que desarrolle un trabajo, que de hacerse de manera convencional incurriría en costos que muchas veces la empresa no identifica como factor determinante en sus procesos y ralentiza su crecimiento hacia la nueva era de industrialización.

La propuesta de implementar un sistema de potencia y control para una máquina enderezadora de bases nace de la necesidad de ejecutar un proceso de mantenimiento correctivo a un elemento importante del cilindro. Esta propuesta busca dar solvencia al mantenimiento de las bases de manera inmediata, a fin de evitar costos de transporte de cilindros averiados hacia centros especializados de enderezado y así optimizar los tiempos de envasado del GLP en cilindros que cumplan con la normativa de manipulación correspondiente.

En agosto del 2021 se realizó un estudio en la empresa CEM LOJAGAS para determinar los costos que representa el mantenimiento de las bases de los cilindros que se comercializan en las ciudades de Loja y Yantzaza, donde se tomó un muestreo que arrojó un total de 665 bases enderezadas. Este proceso presentó un costo por unidad de \$7,22, mismo que contempla el mantenimiento en taller, transporte y estibaje, resultando un total de alrededor de \$4.800, razón por la cual se establece como necesidad inherente la implementación de una máquina enderezadora de bases dentro de la plataforma de envasado, a fin de optimizar esta operación y así aumentar la capacidad productiva de envasado mensual de GLP doméstico [4].

Al tratarse de una propuesta de carácter técnico con enfoque industrial, el grupo objetivo se centra en empresas que se dedican al mantenimiento y/o comercialización de cilindros envasados de GLP que requieran optimizar el proceso de

enderezado de bases tanto en instalaciones con atmósferas explosivas como en zonas desclasificadas.

La propuesta abarcará el dimensionamiento de la etapa de potencia, así como la automatización del sistema y los métodos de protección para asegurar una instalación eléctrica intrínsecamente segura.

Propuesta de adaptación de un sistema de control, potencia e instalación Ex Proof en una enderezadora de bases para cilindros de 15 kg destinados a envasar GLP

Luzón Carrión Jonathan Humberto
Carrera de Ingeniería Electrónica
Universidad Politécnica Salesiana Cuenca, Ecuador
jluzonc@est.ups.edu.ec

Pinos Vélez Eduardo Guillermo
Carrera de Ingeniería Electrónica
Universidad Politécnica Salesiana Cuenca, Ecuador
epinos@ups.edu.ec

Resumen—En el presente artículo se propone el diseño de un sistema de automatización acoplado a una máquina enderezadora de bases de cilindros de gas licuado de petróleo (GLP) que se ubicará en una zona clasificada como área peligrosa. Este sistema permitirá al operario realizar correcciones en las bases de cilindros de 15 kg destinadas al envasado de GLP. Para llevar a cabo este proyecto, se realizó un análisis de las máquinas utilizadas comúnmente en las operaciones de enderezado de bases de cilindros lo que permitió comprender su funcionamiento mediante la definición del proceso de conformado de piezas metálicas. Además, se aplicaron las normativas pertinentes para la fabricación y reparación de cilindros en Ecuador. También se llevaron a cabo cálculos de fuerza de enderezado para dimensionar un motor que comandará un sistema hidráulico eficiente. En la fase de diseño del sistema de potencia, se consideraron todas las restricciones inmersas en sistemas de seguridad intrínseca y seguridad antiexplosiva, lo que permitirá la ubicación de elementos eléctricos a una distancia segura de la zona clasificada, así como elementos a prueba de explosiones, reduciendo tanto los riesgos de cortocircuitos que podrían desencadenar explosiones, como explosiones controladas por medio de aislamientos en cajas de revisión. En cuanto a la etapa de control, se establecieron parámetros de automatización que garantizarán la ejecución de los ciclos necesarios para enderezar una base de cilindro. Además, se diseñó un sistema de extracción de datos de producción y mantenimiento de la máquina, lo que permitirá un monitoreo eficiente de manera remota. El análisis del proceso automático de enderezado, mediante el conteo de bases, permitirá determinar un estándar de producción que servirá como un dato referencial para evaluar el rendimiento de la máquina.

Palabras clave— *GLP, Máquina enderezadora, Zona clasificada, Sistema hidráulico, A prueba de explosión, Cortocircuito, Producción, Mantenimiento.*

I. ESTUDIO DEL ESTADO DEL ARTE

El propósito principal de este estudio es abordar el proceso de enderezado de las bases de cilindros utilizadas en el envasado de Gas Licuado de Petróleo (GLP) mediante máquinas automatizadas. Sin embargo, es esencial comprender el origen de este componente, ya que actúa como el soporte del cilindro y, por lo tanto, está sujeto a posibles alteraciones en su estructura [1].

La forma de la base se obtiene a través de un proceso de conformación por deformación que garantiza su forma circular. Esto proporciona una mayor estabilidad al cilindro cuando se asienta en el suelo. Este proceso se caracteriza por su alta productividad, bajos costos de producción, un consumo reducido de material y cualidades específicas diseñadas para un funcionamiento óptimo [2].

En la actualidad, las empresas manufactureras están prestando una atención creciente a la utilización de metodologías para el conformado de piezas metálicas, con el objetivo de garantizar una mejor selección del material con el que trabajan. Uno de los indicadores de eficiencia más relevantes en la evaluación de la calidad de la distribución de las piezas, la cantidad producida y los costos de producción sigue siendo la eficiencia en el uso del material. Esto es particularmente importante dado el avance notable de las tecnologías en este ámbito.

Un ejemplo de esta evolución se encuentra en las metodologías que hacen uso de herramientas de inteligencia artificial para optimizar los procesos de doblado. Estas metodologías permiten el cálculo de parámetros cruciales, como la recuperación elástica, la determinación de la fibra neutra, la longitud, la dilatación lateral, el radio y la fuerza de doblado [3].

I-A. Bases para cilindros de GLP

La norma NTE INEN 111:1998 establece que los cilindros para envasar GLP de 5, 10 y 15 kg deben estar formados por dos casquetes con extremos semielipsoidales o toroesferoidales con un mismo diámetro exterior. Estos casquetes deben estar unidos por soldadura en trayectoria circunferencial, donde uno de los casquetes deberá tener un borde repujado que permita un traslapeo no menor de 5 mm (ver figura 1 y 2).

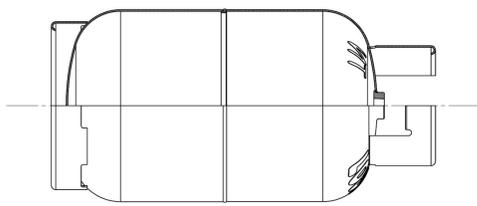


Figura 1. Cilindros formados de dos partes [4].

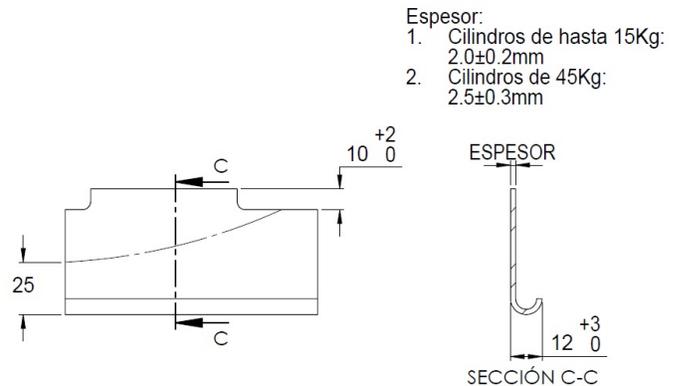


Figura 4. Aberturas [4].

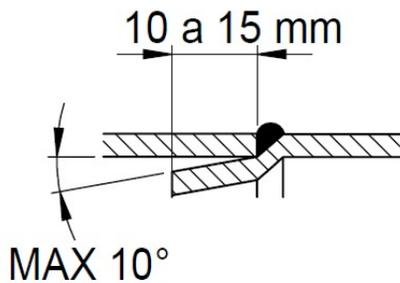


Figura 2. Soldadura a tope con traslapo [4].

De acuerdo con la NTE INEN 327:2011, la base es el elemento soldado al casquete inferior del cilindro que permite su estabilidad y evita el contacto del cuerpo con el piso. Cuenta con una inclinación máxima de 10 cm desde la curvatura del casquete superior respecto a una perpendicular al piso [5]. Dentro de los parámetros de la forma de la base, esta debe tener la forma de anillo cilíndrico (ver figura 3) y contar con aberturas en la parte superior que permitan la ventilación del asiento del cilindro, así mismo el borde inferior debe tener una pestaña interior conformada en forma semicircular como se indica en la sección C-C de la figura 4.

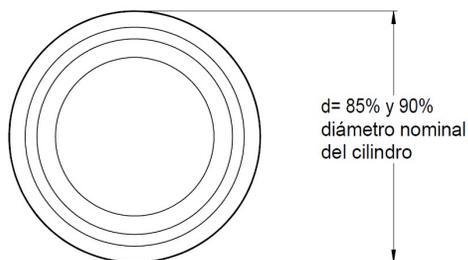


Figura 3. Anillo del cilindro [4].

Entre las dimensiones a considerar en las bases, estas deben tener un diámetro exterior comprendido entre el 85 % y 90 % del diámetro nominal del cilindro y deben ser construidas a partir de plancha de acero no aleado con un contenido máximo de 0,17 % de carbono. La altura debe ser tal, que la distancia entre el fondo del casquete inferior y el plano horizontal inferior de la base no sea menor de 25 mm. Así mismo, el espesor debe ser de $2,0 \pm 0,2$ mm para los cilindros de hasta 15 kg y, de $2,5 \pm 0,3$ mm para los de 45 kg.

La soldadura de la base debe realizarse por arco eléctrico e ir unida al casquete inferior concéntricamente al eje longitudinal, con un mínimo de 4 cordones de una longitud no inferior a 20 mm cada uno. La altura de los cordones de soldadura debe ser igual o superior al espesor de la base. Se permiten mordeduras en el casquete inferior menores o iguales a 0,5 mm de profundidad [4].

I-B. Manejo de los cilindros de GLP en el Ecuador

Los cilindros para GLP según la norma INEN NTE 1534:2015 se almacenarán en lugares que cuenten con las seguridades y protecciones para una capacidad mínima de 30.000 kg de GLP en el caso de centros de acopio y 15.000 kg de GLP en depósitos de distribución. Los cilindros deben ser diseñados y construidos de acuerdo con las normas técnicas ecuatorianas INEN 2143, 113 y 111 para su uso exclusivo con GLP. Como requisitos de almacenaje para cilindros de GLP se establece que los locales destinados a comercialización deben ser exclusivamente para ese fin y contar con instalaciones eléctricas estrictamente necesarias y a prueba de explosión.

El almacenaje de cilindros debe contemplar restricciones como evitar la exposición a fuentes de calor, minimizar el riesgo de daños físicos y posibilidad de golpes, no localizarse cerca de salidas de emergencia o áreas usadas para el ingreso o circulación de público ni a la intemperie, no realizar ningún tipo de reparación o mantenimiento y las áreas de almacenaje no deben tener comunicación directa con locales ubicados en el subsuelo [6].

I-C. Deformaciones generadas en la base de los cilindros y su efecto en la funcionalidad del cilindro.

Las deformaciones que se producen en la base de los cilindros pueden tener diversos efectos en la funcionalidad del cilindro y en su desempeño al momento de pasar al proceso de envasado. Estos efectos pueden comprometer la estabilidad y nivelación del cilindro, lo que a su vez puede tener consecuencias significativas:

Compromiso de la Estabilidad: Una base deformada puede afectar la estabilidad del cilindro. Si el cilindro no se asienta correctamente en una superficie plana y nivelada, puede dar lugar a movimientos incontrolados o incluso caídas durante el proceso de envasado. Esto podría ocasionar daños tanto al cilindro como a la maquinaria circundante, así como representar un riesgo para la seguridad de los operadores.

Alineación Deficiente: La deformación de la base puede provocar una mala alineación del cilindro en relación con otros componentes o equipos, como válvulas, conexiones o sistemas de medición. Esta falta de alineación puede dar lugar a fugas de gases o líquidos, lo que resultaría en la pérdida de materiales, aumentaría los costos y podría causar problemas en el proceso de envasado.

Problemas en el Funcionamiento: Dependiendo de la gravedad de la deformación, podría haber dificultades en el funcionamiento general del cilindro. Por ejemplo, una base deformada podría interferir con la apertura o cierre adecuado de las válvulas, afectar el rendimiento del pistón o causar problemas en el llenado y vaciado del cilindro. Esto podría reducir la eficiencia del proceso de envasado y aumentar los costos operativos.



Figura 5. Base deformada por maltrato del cilindro en la envasadora CEM Lojagas [Fuente autor].

I-D. Atmósferas Explosivas

La clasificación por zonas se ha utilizado para determinar el nivel de seguridad necesario para el material y los componentes eléctricos instalados en ambientes explosivos con presencia

de gas y vapores [7][8] y posterior a esto se aplicó también al polvo. Las normas EN 1127-1 y CEI 61241-3 definen una clasificación en tres zonas [9][10].

I-E. Definición de zonas con riesgo de explosión

El objetivo principal de la clasificación por zonas de una instalación se centra en dos puntos:

- Precisar las categorías de material utilizado en las zonas indicadas, a condición de que éstas estén adaptadas a los gases, vapores o niebla y/o polvo.
- Clasificar por zonas los emplazamientos peligrosos para evitar las fuentes de inflamación y para realizar una selección correcta de los materiales eléctricos y no-eléctricos. Estas zonas serán establecidas en función de la presencia de un ambiente explosivo con gases polvoriento.

I-E1. Grupos de Gases:

- Grupo II: Material destinado a lugares expuestos a atmósferas explosivas diferentes de las minas de grisú.
- Grupo I: Material destinado a las minas de grisú.

I-E2. Grupos de Polvos:

- Grupo III: Material destinado para una utilización en emplazamiento en los que existe una atmósfera de polvos explosivos, diferentes a los de las minas de grisú.

Se debe tratar individualmente cada instalación en vista de las diferencias existentes entre cada una de ellas. Para la propuesta de adaptación del sistema de potencia y automatización se debe clasificar el área donde se instalaría la máquina a fin de dimensionar correctamente las protecciones a prueba de explosiones. En la figura 7 se puede tomar como referencia las instancias de la clasificación por zonas a tomar en cuenta para la selección de los componentes Exproof tanto en la etapa de potencia como de automatización.

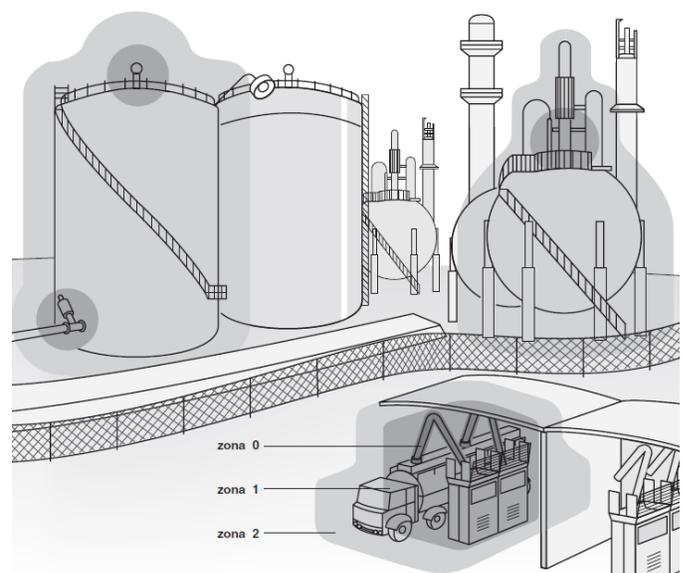


Figura 6. Croquis para una atmósfera explosiva con gases [11].

II. DISEÑO DE LA PROPUESTA DE ADAPTACIÓN

Para realizar la adaptación de la etapa de potencia y de control a la máquina en cuestión, se ha establecido un esquema de procesos que indican las etapas a desarrollar para lograr el resultado deseado.

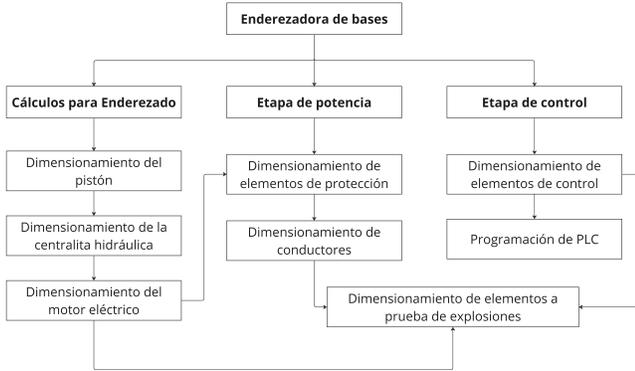


Figura 7. Esquema del proceso de adaptación del sistema de potencia y control a la máquina enderezadora de bases [Fuente autor].

II-A. Estudio analítico para el cálculo de enderezado de bases

Para iniciar los cálculos que determinen la fuerza requerida para el enderezado de las bases se analiza la deformación plástica de una sección de arco circular sometido a una carga distribuida sobre la sección de la base del cilindro. De esta obtenemos los datos del centroide de la sección transversal $X = 64391,0952$ y $Y = 2220,5954$. Así mismo obtenemos datos de inercia en $X = 2151,945$ y $Y = 51676,3199$.

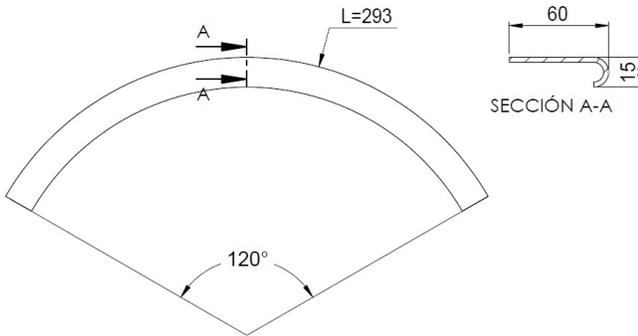


Figura 8. Sección de arco circular de la base de diámetro de 280 mm. [Fuente autor].

Para este estudio se usó como referencia los datos de plancha en laminado caliente con un tipo de acero ASTM36, donde el espesor de la lámina es de 2mm. A continuación de definen los esfuerzos a flexión:

$$\sigma_y = 250MPa \quad (1)$$

$$\sigma_{max} = 400MPa \quad (2)$$

Donde definiremos el esfuerzo máximo a flexión:

$$\sigma_{max} = \frac{W \cdot L^2}{8} \cdot \frac{C}{I} \quad (3)$$

Mediante despeje de W en (3) obtenemos la ecuación que nos determinará la fuerza requerida para el enderezado (4):

$$W = \frac{\sigma_{max} \cdot I \cdot 8}{C \cdot L^2} \cdot l \quad (4)$$

Donde C es la longitud máxima a la superficie neutra $0,01217m$, I es la inercia con respecto al eje x , L es la longitud del segmento de arco $0,242m$ y l es la distancia mayor al eje x con respecto al centroide $l = 0,01217m$. Teniendo así:

$$W = \frac{(250 \cdot 10^6) \cdot (2152 \cdot 10^{-12}) \cdot 8}{0,01217m \cdot (0,242m)^2} \cdot 0,242m \quad (5)$$

Obteniendo de (5) la fuerza que se necesita para realizar el enderezado de base:

$$W = 1,461KN \quad (6)$$

Transformando (6), se tiene la fuerza en toneladas fuerza:

$$W = 1,461KN \cdot 0,102 \frac{Tnf}{KN} \quad (7)$$

$$W = 0,15Tnf \quad (8)$$

Habiendo obtenido la fuerza necesaria para realizar el enderezado, se procede a dimensionar las características del pistón que será el encargado de aplicar esta fuerza sobre la matriz de enderezado sobre las bases.

II-A1. Dimensionamiento del pistón: Como premisa a este cálculo se plantea desarrollar el enderezado de las bases por avance del vástago de un pistón obteniendo así una fuerza de bajada. Para esto es necesario conocer el área del pistón hidráulico A_p que se obtendrá del cálculo de la fuerza requerida para enderezar la base que se obtuvo en el inciso anterior en conjunto con una presión de trabajo de $0,21N/mm^2$. Para esto se transforma la fuerza de Toneladas Fuerza a Kilogramos Fuerza:

$$A_p = \frac{W}{P} \quad (9)$$

$$A_p = \frac{0,15Tnf \cdot 10000}{0,21} \quad (10)$$

$$A_p = 7251,88mm^2 \quad (11)$$

Una vez obtenida el área del pistón se procede a obtener el diámetro del pistón para posterior dimensionar el área de bajada del mismo. Teniendo así:

$$\varnothing_p = \sqrt{\frac{4 \cdot A_p}{\pi}} \quad (12)$$

$$\varnothing_p = \sqrt{\frac{4 \cdot 7251,88}{\pi}} \quad (13)$$

$$\varnothing_p = 96,09 \cong 100mm \quad (14)$$

Para encontrar el área de bajada del pistón tenemos:

$$A_b = \pi \cdot \left(\frac{\varnothing_p}{2}\right)^2 \quad (15)$$

$$A_b = 7853,98mm^2 \quad (16)$$

II-A2. Dimensionamiento de la centralita hidráulica: Para dimensionar la capacidad de la centralita hidráulica y su caudal de trabajo, es necesario conocer como dato principal la cantidad de cilindros hora que se desean procesar. Para esto, la empresa ha solicitado estandarizar a 100 los ciclos por hora. Teniendo como datos iniciales:

$$Ciclos\ hora = 100[Cil/h] \quad (17)$$

$$Ciclos\ minuto = 1,66[Cil/min] \quad (18)$$

$$Ciclos\ segundo = 0,027[Cil/s] \quad (19)$$

Para luego determinar el tiempo en función a los movimientos que se desean realizar por ciclo, que en este caso serían 4. Por lo tanto:

$$T = \frac{1}{\frac{0,027}{4}} \quad (20)$$

$$T = 9s \quad (21)$$

De esto podemos determinar una velocidad de enderezado de cilindros con una carrera estándar del pistón de 300 mm. Por lo tanto:

$$V = \frac{300mm}{9s} \quad (22)$$

$$V = 33,33mm/s \quad (23)$$

II-A3. Dimensionamiento de la centralita hidráulica: Para determinar la centralita hidráulica que entregue el caudal necesario para ejercer la fuerza de enderezado sobre las bases, realizamos el siguiente cálculo:

$$Q = \frac{V}{t} \quad (24)$$

$$Q = \left(\frac{\pi \cdot (\varnothing_p)^2}{4}\right) \cdot V \cdot (6 \cdot 10^{-5}) \quad (25)$$

$$Q = \left(\frac{\pi \cdot (100)^2}{4}\right) \cdot (33,33) \cdot (0,00006) \quad (26)$$

$$Q = 15,707L/min \quad (27)$$

Convirtiendo el caudal de L/min a Gal/min tenemos:

$$Q = 15,707 \cdot 3,7854 \quad (28)$$

$$Q = 4,15[GPM] \quad (29)$$

De acuerdo a los estándares de centralitas hidráulicas que existen en el mercado, se puede aproximar a una de 5 GPM.

II-B. Dimensionamiento del motor eléctrico

Para determinar la potencia necesaria que el motor eléctrico debe entregar a la centralita hidráulica, se toma como dato el caudal calculado en (29) con una presión estándar de trabajo de 1750 PSI y una velocidad de rotación estándar de 1725 RPM. Teniendo así:

$$P = \frac{Q \cdot P}{1725} \quad (30)$$

$$P = \frac{5GPM \cdot 1750PSI}{1725RPM} \quad (31)$$

$$P = 5,072HP \cong 5HP \quad (32)$$

Al requerir una potencia aproximada de 5 HP, el motor se somete a caídas de tensión en sus conductores desde el punto de alimentación trifásica ubicado en el cajetín principal, hasta la estación hidráulica. Es necesario tomar en cuenta la disposición del motor para que encaje con las bridas de la bomba hidráulica de manera que evite desgastes en sus rodamientos anexos al eje de rotación.

En el caso de los motores eléctricos instalados a determinada distancia, la máxima caída de tensión depende de la norma de fabricación, a saber:

- Motores NEMA: 10 %
- Motores IEC: 5 %

En condiciones de arranque, se recomienda que la caída de tensión no supere el 15 %, determinándose así esta condición como transitoria [12].

II-C. Diseño de sistema de potencia para adaptación al sistema mecánico de enderezado de bases

Al tratarse de comandar una centralita hidráulica que convertirá la energía mecánica rotativa del motor en energía hidráulica para surtir de caudal de aceite en el actuador hidráulico, se generan picos de corriente durante el arranque del motor, por lo cual se ha incluido un disyuntor termomagnético como método de protección que permita manejar un factor de seguridad de un 10% sobre la corriente nominal del motor. De ocurrir algún sobrecalentamiento en las barras termomagnéticas, el disyuntor entra en un estado de "trip" que corta la circulación de energía hacia el motor y a través de sus contacto normalmente cerrado, emite una señal de alerta que activará una luz piloto indicando la falla y protegiéndolo así de sobrecargas en sus devanados. Además cuenta con un contactor que permitirá arrancar el motor desde la etapa de control a través del accionamiento de una bobina interna a 24VDC.

Cuenta además con una fuente de voltaje a 24 VDC con corriente de salida de hasta 5A, que por concepto de seguridad intrínseca en instalaciones industriales de alto riesgo a explosiones siempre es recomendable implementar.

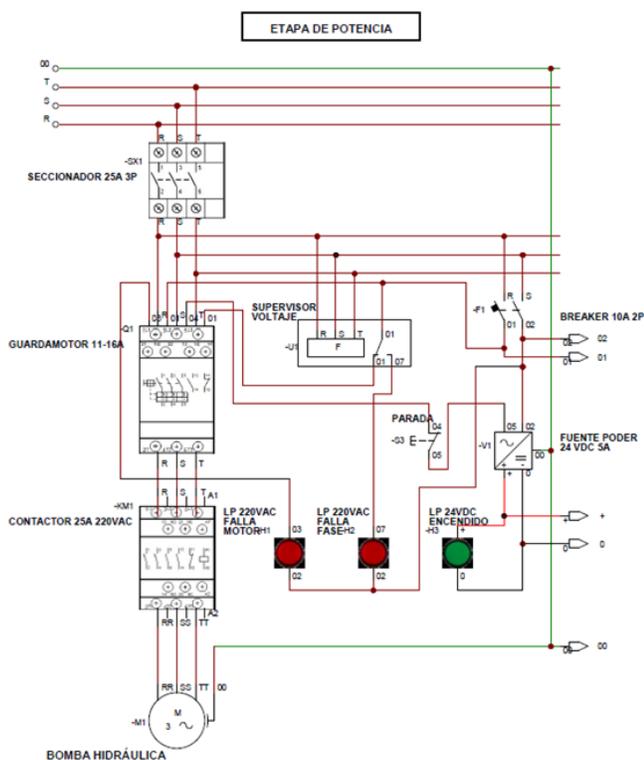


Figura 9. Diagrama esquemático de conexiones para la etapa de potencia usando software CADeSimu [Fuente autor].

II-C1. Diseño de sistema de control para adaptación al sistema mecánico de enderezado de bases: Para cumplir con los tiempos de enderezado, se implementó un PLC (Controlador Lógico Programable) que permite crear una rutina automática de enderezado. Esta rutina se basa en el uso de

temporizadores con retardo en la conexión y desconexión, así como el conteo de pulsos. Además, se programó un horómetro para registrar el tiempo de funcionamiento del motor, lo que facilita la planificación de mantenimientos preventivos, incluyendo cambios de aceite y filtros.

Dentro de la programación del PLC, se incorporó un mecanismo de emergencia que permite al operador presionar un pulsador de parada de emergencia para que, en caso de que alguna extremidad quede atrapada en la matriz de enderezado, el sistema retorne el pistón a su posición inicial. Esto se hace con el fin de prevenir o minimizar posibles accidentes durante la operación.

En cuanto a las simulaciones previas a la implementación del sistema de control, se utiliza el entorno de simulación del software LOGO Soft Confort. Este software permite visualizar el funcionamiento del sistema mediante la activación de contactos, marcas y salidas de relé, lo que facilita la verificación y ajuste de la programación antes de la puesta en marcha (ver figura 10).

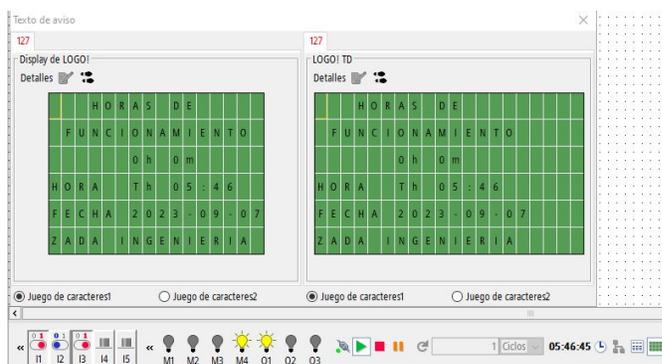


Figura 10. Simulación de funcionamiento de la programación en LOGO Soft Confort 8.3V [Fuente autor].

Es importante destacar que la máquina debe cumplir con especificaciones relacionadas con la seguridad intrínseca y la implementación de elementos a prueba de explosiones para mitigar la propagación de fuego en caso de explosiones en áreas clasificadas. Se ha determinado un diagrama de instalación en la máquina teniendo en cuenta su clasificación según la directiva ATEX 94/9/CE, en la que se clasifica como Zona 1 2G. Esto significa que la máquina estará ubicada en una zona donde existe una presencia intermitente de atmósfera explosiva durante el servicio normal, debido a la naturaleza del proceso de envasado de GLP, que implica la presencia ocasional de GLP durante el proceso.

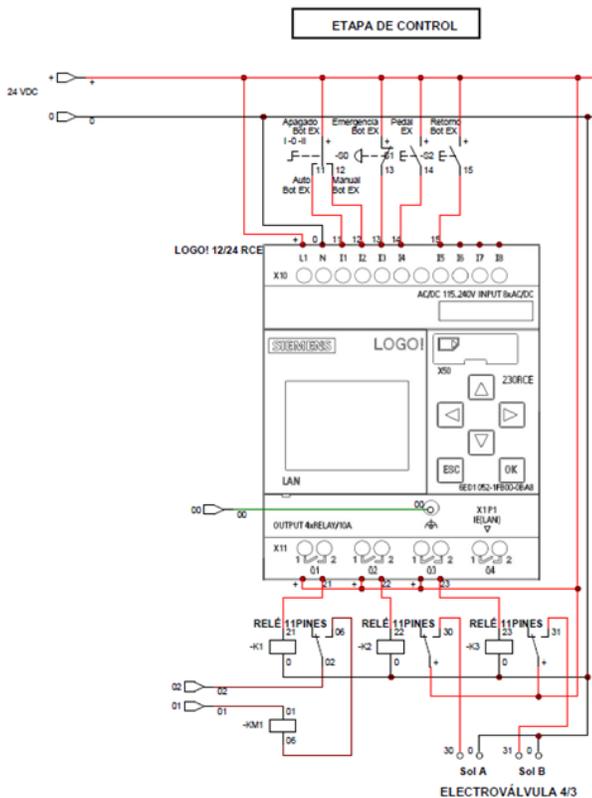


Figura 11. Diagrama esquemático de conexiones para la etapa de control usando software CADeSimu [Fuente autor].

II-D. Adaptación del sistema de potencia, control y elementos exproof a la máquina

Todos los sistemas que intervienen en el funcionamiento de la máquina se deben ensamblar de acuerdo a la normativa ATEX que indica que deben existir mecanismos de protección para la mitigación y extinción del fuego en caso de una posible falla eléctrica que desencadene una explosión debido a la presencia del GLP.

Para este diseño, se ha planteado el uso de:

- Sellos cortafuegos
- Cajetines de distribución eléctrica Exproof
- Motor trifásico Exproof
- Switch de pedal simple Exproof

Estos dispositivos están diseñados para garantizar que, en caso de que ocurra una explosión debido a un cortocircuito en su interior, se produzca un efecto de extinción del fuego y disipación mediante la liberación de vapor a través del roscado del perno de anclaje, característica presente en todos los dispositivos de este tipo.

Una vez realizado este dimensionamiento de protecciones a prueba de explosiones, se anexa esta adaptación por medio de un tablero eléctrico a la máquina enderezadora de bases, como se muestra en la figura 12.

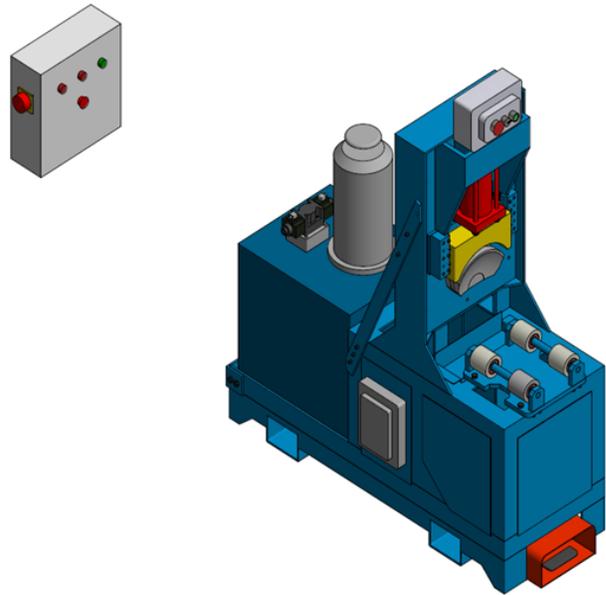


Figura 12. Ensamblaje final de la máquina enderezadora de bases con su tablero eléctrico de potencia y control [Fuente autor].

Para concluir el diseño de la adaptación, se propone un plan de ubicación de la máquina a una distancia de 100 metros de su tablero eléctrico de potencia, como se muestra en la figura 13. Esta medida se adopta con el objetivo de reducir el riesgo de posibles contratiempos relacionados con los elementos presentes en el tablero eléctrico. Además, se contempla la instalación de cables de potencia adecuados para alimentar el motor, evitando así pérdidas de tensión debidas a la distancia entre ambos componentes.

III. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Por medio de la documentación interna de la empresa TECNERO S.A se pudieron obtener resultados de pruebas aplicadas a su enderezadora de bases con la propuesta de adaptación, en los cuales se pudieron medir los datos temperatura y presión de trabajo (Ver Cuadro 1). Estos datos permiten ver el comportamiento de la temperatura de trabajo del sistema hidráulico en función a la presión requerida para realizar el enderezado de manera correcta.

| Temperatura (°C) y Presión de Trabajo (Psi) de la Máquina | | | | | |
|---|----------------|------------|-------|--------|---------|
| Hora | Electroválvula | Centralita | Motor | Aceite | Presión |
| 14:55 | 22.8 | 22.5 | 24.2 | 22.1 | 800 |
| 15:10 | 26.7 | 26.8 | 31.2 | 25.1 | 800 |
| 15:25 | 29.4 | 30.4 | 34.5 | 27.5 | 800 |
| 15:40 | 31.6 | 32.6 | 36.9 | 28.7 | 800 |
| 15:55 | 33.4 | 34.7 | 36.8 | 29.9 | 800 |
| 16:10 | 34.5 | 36.3 | 39.1 | 32.8 | 800 |
| 16:25 | 36 | 36.7 | 39.8 | 32 | 800 |
| 16:40 | 37.4 | 35.4 | 39.7 | 32.4 | 800 |
| 16:55 | 38.5 | 37.8 | 39 | 33 | 800 |

Cuadro 1

TOMA DE TEMPERATURA Y MEDICIÓN DE PRESIÓN DE TRABAJO

Así mismo se determinó en tiempo real el comportamiento de las salidas programadas en cuanto al avance y retroceso del pistón de fuerza (Ver Cuadro 2). De esta tabla se pueden apreciar el número de ciclos por minuto en función de los tiempos de actuación del pistón hidráulico que actúa sobre la matriz semicircular que realiza el enderezado.

| Referencias de ciclo de Trabajo | |
|---------------------------------|------|
| Tiempo de bajada del pistón(s) | 2.65 |
| Tiempo de subida del pistón(s) | 1.55 |
| Número de ciclos Matriz | 4 |
| Número de ciclos / Minuto | 15 |

Cuadro II

REFERENCIAS DE CICLO DE TRABAJO PARA ENDEREZADO DE BASES

Con los resultados anteriores, se pudieron establecer pruebas de enderezado para determinar un estándar de producción en dos intervalos de tiempo para cierto número de cilindros bajo condiciones normales de trabajo (Ver Cuadro 3). De estos resultados podemos observar que en aproximadamente 1 hora de trabajo continuo se pueden enderezar alrededor de 100 cilindros con un solo operador.

Este estándar nos permite tener una referencia del número de cilindros enderezados que se puede lograr con la automatización y el correcto dimensionamiento del sistema hidráulico.

| Estándar de Producción | |
|------------------------|---------------------|
| Intervalo de Tiempo | Número de cilindros |
| 14:55 - 15:55 | 105 |
| 15:55 - 16:50 | 95 |

Cuadro III

REGISTRO DE ESTÁNDAR DE PRODUCCIÓN PARA ENDEREZADOR DE BASES

IV. CONCLUSIONES

A través del estudio de dimensionamiento de los componentes de la etapa de potencia para sistemas hidráulicos, se logró la selección de una bomba hidráulica adecuada para controlar una centralita de fuerza.

Con base en los cálculos y la elección de la centralita, fue posible determinar las dimensiones del pistón que aplicará la fuerza necesaria para enderezar las bases de cilindros sin sufrir deformaciones en la matriz o en la carrera del pistón, así como asegurar una temperatura óptima promedio de 30°C del aceite circundante en el sistema.

Con el fin de mitigar posibles explosiones durante el proceso de enderezado o durante el periodo de reposo de la máquina, se realizó un dimensionamiento de los componentes a prueba de explosión en función a la división del área donde tentativamente se instalaría la máquina y de la presencia de GLP en condiciones normales y extremas de trabajo.

De los resultados obtenidos se pudo establecer un estándar de producción aproximado en función al dimensionamiento de la centralita hidráulica y de los ciclos automáticos. Estos datos permitirán establecer rutinas de trabajo menos forzadas y optimizar el proceso productivo en el mantenimiento de los cilindros.

REFERENCIAS

- [1] K. Lange, "Modern metal forming technology for industrial production," *Journal of materials processing technology*, vol. 71, no. 1, pp. 2–13, 1997.
- [2] Y. C. Cala, O. L. Breffe, and M. V. R. Fernández, "Metodología de conformación de piezas por doblado y troquelado en chapas metálicas," *HOLOS*, vol. 8, pp. 1–15, 2020.
- [3] M. S. D. Rodríguez, "Optimización de los procesos de doblado de chapas mediante herramientas de inteligencia artificial," tesis de pregrado.
- [4] "Inen, norma técnica ecuatoriana. nte inen 111:1998, cilindros de acero soldados para gas licuado de petróleo "glp". requisitos e inspección, quinta revisión." [Online]. Available: <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/111-5.pdf>
- [5] "Inen, norma técnica ecuatoriana. nte inen 327:2011, revisión y reparación de cilindros de acero para gas licuado de petróleo, cuarta revisión." [Online]. Available: https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte_inen_327.pdf
- [6] "Inen, norma técnica ecuatoriana. nte inen 1534:2015, prevención de incendios. almacenaje de cilindros para gas licuado de petróleo (glp). requisitos, segunda revisión." [Online]. Available: <https://www.trabajo.gob.ec/wp-content/uploads/2012/10/NTE-INEN-1534-PREVENIC393N-DE-INCENDIOS.-ALMACENAJE-DE-CILINDROS-PARA-GAS-LICUADO-DE-PETROLEO-GLP.-REQUISITOS.pdf?x42051>
- [7] I. E. S. DI ESERCIZIO, "Guida di applicazione della norma cei en 60079-10 (cei 31-30) seconda edizione," *Norma*, vol. 2, p. 1.
- [8] A. Bozek, "Application of iec 60079-10-2.0 for hazardous area classification," in *2017 Petroleum and Chemical Industry Technical Conference (PCIC)*. IEEE, 2017, pp. 451–460.
- [9] E. Standard, "1127-1 explosive atmospheres—explosion prevention and protection, part 1: Basic concepts and methodology," 1997.
- [10] J. García Torrent, E. Querol Aragon, and L. Medic Pejic, "Zonas clasificadas atex por la presencia de polvo inflamable," *Ingeniería química*, no. 457, pp. 88–101, 2008.
- [11] A. Numatics. (2018) Las zonas - atmósferas explosivas. [Online]. Available: <https://repositorio.uisek.edu.ec/bitstream/123456789/2801/2/00129es.pdf>
- [12] Motortico. (2013) Cuidados con caída de tensión en cables. [Online]. Available: <http://www.motortico.com/biblioteca/MotorTico/2013>