



**UNIVERSIDAD DE CARABOBO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**



**DISEÑO DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO PARA LA ESTACIÓN DE  
FOSFATIZADO DE ENGRANAJES EN UNA EMPRESA FABRICANTE DE  
PARTES PARA AUTOMÓVILES**

**CARLOS IGNACIO RINCONES PONS**

|                                                                 |           |
|-----------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>CAPITULO I: SITUACIÓN PROBLEMÁTICA.....</b>                  | <b>3</b>  |
| I.1.- INTRODUCCIÓN .....                                        | 3         |
| I.2.- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....                          | 4         |
| I.3.- FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....                            | 6         |
| I.4.- OBJETIVOS .....                                           | 6         |
| I.4.1.- OBJETIVO GENERAL .....                                  | 6         |
| I.4.2.- OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....                             | 6         |
| I.5.- DELIMITACIÓN .....                                        | 7         |
| I.6.- LIMITACIONES.....                                         | 7         |
| <b>CAPITULO II: ANTECEDENTES Y MARCO TEÓRICO.....</b>           | <b>7</b>  |
| II.1.- ANTECEDENTES .....                                       | 8         |
| II.2.- MARCO TEÓRICO .....                                      | 8         |
| II.2.1.- DESENGRASE.....                                        | 8         |
| II.2.1.1.- DESENGRASE ALCALINO .....                            | 8         |
| II.2.1.2.- DESENGRASE CON SOLVENTES .....                       | 9         |
| <b>CAPITULO III: MARCO METODOLÓGICO.....</b>                    | <b>12</b> |
| <b>CAPITULO IV: DESARROLLO DE LA SOLUCIÓN SELECCIONADA.....</b> | <b>15</b> |
| IV.1.- DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE FOSFATIZADO ACTUAL .....      | 15        |
| IV.2.- OPINIONES Y SUGERENCIAS DE LA PARTE INTERESADA.....      | 25        |
| IV.3.- CRITERIOS Y RESTRICCIONES .....                          | 26        |
| IV.3.1.- CRITERIOS .....                                        | 26        |
| IV.3.2.- RESTRICCIONES .....                                    | 26        |
| IV.4.- ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN .....                           | 26        |
| IV.4.1.- PIÑONES Y CADENAS.....                                 | 27        |
| IV.4.2.- POLIPASTO .....                                        | 28        |
| IV.4.3.- TORNILLO DE POTENCIA .....                             | 29        |
| IV.4.4.- CILINDRO NEUMÁTICO .....                               | 30        |
| IV.5.- DISCUSIÓN Y SELECCIÓN DE LA MEJOR ALTERNATIVA .....      | 31        |
| IV.6. RESEÑA DE LA ALTERNATIVA DE SOLUCIÓN SELECCIONADA .....   | 35        |

## **CAPITULO I: SITUACIÓN PROBLEMÁTICA**

### **I.1.- INTRODUCCIÓN**

En la industria de la fabricación de partes para la transmisión de potencia mecánica, existe una gran variedad de procesos que están ideados con la finalidad de generar piezas útiles, duraderas y confiables. En el caso específico de los engranajes, el material utilizado por excelencia para su fabricación es el acero. En la mayoría de los casos, luego de haber concluido la etapa de manufactura, el producto terminado debe ser transportado a su lugar de destino, lo cual en ocasiones implica retrasos y exposición del producto a condiciones indeseables que pueden originar oxidación en su superficie.

Sobre la base de esta situación, se han desarrollado distintos métodos para conferir una protección adicional a las piezas durante su transporte, uno de ellos se conoce como “lubrizado” o “fosfatizado”, a *grosso modo*, es un proceso que consiste en limpiar la superficie de la pieza y sumergirla en un tanque que contiene una solución diluida de ácido fosfórico y otros aditivos, donde la superficie del material adquiere una ligera rugosidad superficial. En esta etapa, la solución fosfatizante se encuentra a temperaturas cercanas a 100°C. Luego, se elimina el exceso de solución y se aplica una capa de aceite soluble en agua, que se adhiere inmediatamente a la superficie texturizada de la pieza, creando una película protectora de aspecto gris oscuro.

Aunque el proceso de fosfatizado a primera vista parece sencillo, es importante cumplir con los requerimientos de cada etapa, pues una aplicación indebida conlleva a una protección deficiente, lo cual inevitablemente tendrá repercusiones negativas en la calidad del producto. Una empresa como DANA

Traction Technologies, debe mantener un alto estándar de calidad para respetar sus políticas y generar confianza entre sus clientes.

## **I.2.- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

La empresa DANA Traction Technologies de Venezuela se encuentra ubicada en la avenida Iribarren Borges de la Zona Industrial Sur II, en Valencia, estado Carabobo. Fue fundada en mayo de 1.969 y comenzó sus operaciones en Enero de 1.970, iniciándose con el proceso de ensamblaje automotor, específicamente ejes y diferentes propulsores. En la actualidad esta empresa forma parte de la organización DANA CORPORATION de los Estados Unidos.

En DANA Traction Technologies de Venezuela los productos que se elaboran están estandarizados y su proceso de fabricación se lleva a cabo por lotes de producción. Estos productos se dividen en cuatro grandes áreas, las cuales son: Ejes, Cardanes, Engranajes y Misceláneos.

En la línea de fabricación de engranajes, se someten los mismos a distintos procesos de fabricación por arranque de viruta. Al salir de dichos procesos, se llevan a una fase de acabado donde sus bordes son limados y luego son introducidos en una lavadora de engranajes. En medio de este procedimiento, se toman algunas muestras de engranajes, para someterlas a un estudio estadístico de calidad, que consiste en una prueba de contacto entre engranajes para garantizar el cumplimiento de los estándares de calidad con los que se rige la empresa. Al finalizar dicha prueba, los engranajes son introducidos nuevamente en la lavadora y pasan a la estación final donde se les aplica un tratamiento químico conocido como fosfatizado.

En la etapa de fosfatizado, los engranajes son colgados en un arreglo de ganchos, los cuales permiten sostener varios en forma simultánea y son sumergidos en tres tanques dispuestos en una fila. El movimiento vertical de dichos ganchos se realiza mediante una grúa eléctrica (polipasto), controlada por un operario. El movimiento horizontal se hace de manera motorizada mediante el mando de la grúa.

El primer tanque contiene el baño de fosfatizado, el cual se mantiene a una temperatura controlada de 98 °C, y es movido constantemente por un agitador para homogenizar su temperatura, además posee un sistema de ventilación que tiene como finalidad extraer los vapores generados en esta etapa del proceso. El segundo tanque es de agua a temperatura ambiente, tiene como función remover el exceso de solución de fosfato. El tercer tanque contiene un aceite soluble en agua, cuya misión es lubricar y prevenir la corrosión en la superficie de las piezas.

El sistema de extracción de vapores del tanque de fosfatizado, está compuesto por un ventilador centrífugo acoplado a un ducto de ventilación, cuyo extremo se ubica en forma lateral, cerca de la superficie del líquido en la cara posterior del tanque. A simple vista se observa una extracción incompleta de los vapores, ya que parte de los mismos entran en el ducto y el resto se disipa en el ambiente laboral.

Cabe destacar los siguientes puntos:

1. El operario queda expuesto a los vapores despididos por el baño químico de fosfato, debido a que el sistema de extracción lateral deja escapar parte de los mismos.
2. Durante el proceso, el operario debe limitarse a realizar actividades en los alrededores de la estación de fosfatizado ya que debe supervisar los tiempos

de inmersión de los engranajes. Esto limita la utilidad de la mano de obra del trabajador.

3. El proceso se realiza de forma inadecuada, ya que el proceso de fosfatizado debería incluir seis baños, según los parámetros iniciales de diseño, de los cuales sólo funcionan tres.

### **I.3.- FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

Diseñar un sistema para la estación de fosfatizado de engranajes que permita la automatización de los procesos de desplazamiento e inmersión de esos elementos en los distintos baños de la estación de fosfatizado y requiere también del rediseño del sistema de extracción de vapores para evitar el escape de los mismos.

### **I.4.- OBJETIVOS**

#### **I.4.1.- OBJETIVO GENERAL**

Diseñar un sistema automatizado para la estación de fosfatizado de engranajes.

#### **I.4.2.- OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Determinar las características técnicas para realizar el proceso de fosfatizado adecuadamente.
- Diseñar el sistema de manipulación de engranajes para el proceso de fosfatizado.
- Diseñar el sistema de control que garantice la manipulación adecuada de los engranajes durante el proceso de fosfatizado.

- Rediseñar el sistema de extracción de vapores.

Realizar el estudio de factibilidad económica del sistema a diseñar.

### **I.5.- DELIMITACIÓN**

A través del presente trabajo de investigación se busca cumplir los objetivos planteados, en respuesta a los requerimientos presentados en la situación problemática descrita. Al finalizar este proyecto, se espera que el diseño del nuevo dispositivo cumpla las funciones ya desempeñadas por el dispositivo actual, y además, permita la liberación de mano de obra en la planta, evitando así molestias y posibles riesgos de inhalación de los gases del proceso. El nuevo dispositivo deberá ser capaz de admitir los modelos de engranajes que maneja el dispositivo actual y deberá construirse con los recursos tecnológicos disponibles en el país. El presente trabajo se orientará al diseño del nuevo dispositivo con las características descritas anteriormente.

### **I.6.- LIMITACIONES**

- Acceso a la información e instalaciones de la empresa DANA Traction Technologies de Venezuela.
- Tiempo para el desarrollo del proyecto (8 meses).
- Tecnología existente en el país.

## **CAPITULO II: ANTECEDENTES Y MARCO TEÓRICO**

A continuación se presentarán una serie de conceptos básicos que permitirán definir las bases teóricas de la presente investigación.

## **II.1.- ANTECEDENTES**

## **II.2.- MARCO TEÓRICO**

### **II.2.1.- DESENGRASE**

Es un procedimiento que se aplica a piezas de cualquier material, para eliminar rastros de material graso, que puede presentarse en forma de aceites o grasas. El proceso de desengrase es muy importante para un buen acabado en las piezas metálicas, por ejemplo: la calidad de una aplicación de pintura disminuye al hacerse sobre una superficie con rastros de aceite, ya que separarían la superficie metálica de la pintura, haciendo que tienda a caerse con facilidad. De igual forma ocurre al aplicar el proceso de fosfatizado: la pieza debe estar limpia para una correcta aplicación de dicho procedimiento.

Existen dos tipos principales de desengrase, el alcalino y el que utiliza solventes.

#### **II.2.1.1.- DESENGRASE ALCALINO**

En este tipo de desengrase, se utilizan detergentes son mezclas alcalinas, tales como la soda cáustica, el metasilicato, carbonato sódico, fosfato sódico. Este tipo de desengrase tiene la particularidad que debe ser aplicado en caliente, es un método bien difundido debido a los buenos resultados que produce. Por lo general, el desengrase se lleva a cabo en tinas de inmersión dotadas de un dispositivo de calefacción, y uno de desagüe adecuado a las características de la tina.

Los riesgos higiénicos más importantes vienen determinados por la inhalación de gases que producen irritaciones en las vías respiratorias. La soda cáustica produce quemaduras severas en la piel y ojos cuando ocurren exposiciones de dichas partes del cuerpo a esa sustancia. Sin embargo, a bajas concentraciones el efecto nocivo disminuye considerablemente. En el caso de exposición a vapores, con una ventilación adecuada se puede reducir el efecto perjudicial producido.

#### **II.2.1.2.- DESENGRASE CON SOLVENTES**

En el desengrase con solventes, se emplean dichas sustancias como agentes de descomposición de lubricantes en forma de grasas o aceites, existen solventes como el tolueno, tricloroetileno y percloroetileno, que tienen una excelente capacidad para disolver las grasas. La técnica puede aplicarse mediante la inmersión en el solvente del material a desengrasar, y también con la exposición de la pieza a vapores del solvente, ésta última opción puede resultar peligrosa, ya que a altas temperaturas, algunos solventes pueden despedir fosgeno y producir un riesgo latente de incendio. Este tipo de sustancias requieren seguimiento en cuanto a su nivel de pureza, ya que puede contaminarse a tal punto que dejaría rastros de grasas en las piezas sometidas a tratamiento de limpieza.

Los solventes pueden ser agentes de contaminación en espacios cerrados, ya que sus vapores cuando son inhalados o entran en contacto con la piel, pueden producir efectos desfavorables como: pérdida de orientación, náuseas, vértigo y en el caso de contacto con la piel producen enrojecimientos, sequedad y quemaduras. Para evitar tales efectos se recomienda la implementación de un sistema de ventilación adecuado. No es recomendable su utilización con piezas de aluminio o aleaciones que lo contengan, ya que la mayoría de los solventes reacciona con este material formando ácido clorhídrico.

## II.2.2.- EXTRACTORES DE AIRE

La clasificación de los extractores en extractores exteriores y cerramientos ocasionalmente podría dificultar la selección del extractor. Esta clasificación es solo un intento por describir los extractores. Los cerramientos pueden separarse a su vez en cerramientos parciales y cerramientos totales. Los parciales tienen una abertura en los alrededores, suficientemente grande para usarlo para alguna tarea, y los cerramientos totales no la tienen. Ambos contienen la fuente contaminante dentro de un volumen físico y para algunos de estos extractores, este volumen es lo suficientemente grande para permitir que los trabajadores laboren en su interior. Los cerramientos parciales sustituyen el control de la contaminación por la accesibilidad del trabajador.

Aunque la mayoría de las personas no entiende la función de los cerramientos parciales, la separación completa es solamente posible con cerramientos totales, la función de un cerramiento parcial depende del caudal, el campo del flujo (flow field), la necesidad de acceso para realizar alguna tarea, el tipo de proceso generador de contaminantes, etc. La ventaja de un cerramiento parcial, con respecto a una campana abierta por ejemplo, es que las paredes disminuyen la posibilidad de que escapen contaminantes del extractor a los alrededores.

No es posible separar completamente el interior de los alrededores utilizando cerramientos parciales, esto se logra únicamente con los cerramientos totales. Estos últimos representan una opción normal cuando hay contaminantes de alta peligrosidad, como puede ser el caso de las cajas con guantes utilizadas en la manipulación de sustancias radioactivas. Sin embargo los extractores que se denominan totalmente cerrados no son realmente herméticos, ya que cierta cantidad de aire ha de entrar al cerramiento a través de alguna abertura, para que ocurra la

extracción. Las conexiones con los alrededores son por lo general pequeños agujeros en las paredes, o una abertura especialmente diseñada, la cual puede incluir un filtro para asegurar la limpieza del aire dentro del cerramiento, o una válvula especial que permita solo la entrada de aire y no la salida.

La principal diferencia entre los cerramientos parciales y totales es que la caída de presión para los cerramientos totales es mucho más alta que para los cerramientos parciales lo cual influye en el alcance de un caudal aceptable, y el caudal necesario para un control adecuado del contaminante es usualmente más pequeño para el cerramiento total que para el cerramiento parcial.

El acceso a un cerramiento total es mucho más restringido que para un cerramiento parcial. Los llamados extractores completamente cerrados, cumplen su función mediante cierres herméticos, robots, o control remoto, y no sólo son costosos de construir y de operar, sino que necesitan de equipos especializados de ventilación para que funcionen adecuadamente.

Si el caudal contaminado a ser extraído, o la presión interna, varían demasiado, es conveniente usar una conexión con una pequeña distancia de abertura entre tubo y ducto, que actuaría como una entrada adicional de aire cuando el caudal del contaminante sea bajo

Existen diferentes tipos de estos cerramientos, entre ellos, los extractores alrededor de puntos de transferencia para cintas transportadoras, los extractores conectados a estufas eléctricas y las campanas para grandes toneles de almacenamiento. Estas campanas están usualmente diseñadas para usar las paredes del equipo actual, y aberturas existentes como conexiones de extracción. La tasa de generación de contaminantes varía usualmente en estos volúmenes, lo que hace necesario tener algún tipo de regulador de flujo o de volumen para prevenir escapes.

En principio, un caudal de extracción que varía con la tasa de generación de contaminantes, debería ser lo suficientemente grande como para completar la extracción de forma exitosa.

Hay otras dos soluciones para este problema:

- a) Una es hacer alguna parte de la campana, la pared o la conexión de extracción de un material flexible, de esta manera, el volumen podría variar con la presión interna, el caudal podría mantenerse constante, y el escape podría prevenirse.
- b) La segunda es tener un volumen lo suficientemente grande para que funja como reservorio. Se almacenaría parte del contaminante en el interior de este volumen mientras se extrae a la misma razón, pero al disminuir la tasa de generación este aire contaminado sería extraído. Sin embargo, este tipo de construcción podría tener peligrosos niveles de contaminación o puntos de flujo muerto en algunas secciones del cerramiento, lo que podría traer como consecuencia la diseminación del contaminante en los alrededores.

La localización de la abertura de extracción debería estar en la dirección principal de la dirección esperada de emisión. Por lo general esta abertura se sitúa en la pared posterior, aunque puede ir en cualquier sitio, desde el techo pasando por las paredes, hasta el piso, o alguna combinación entre ellas.

### **CAPITULO III: MARCO METODOLÓGICO**

En función de presentar una solución seleccionada entre varias alternativas para resolver el problema planteado cumpliendo con cada uno de los objetivos, es

necesario establecer una serie de pasos que conducirán a la conclusión exitosa del trabajo de investigación.

1. Se obtendrá información acerca del material al cual se le aplicará el proceso, en este caso, se recogerán los datos técnicos de los distintos modelos de engranajes (coronas) a ser sometidos al baño de fosfatizado. Los datos principales en este caso, son el peso y las dimensiones geométricas.
2. Se hará una descripción detallada del sistema utilizado en la actualidad para llevar a cabo el proceso y determinar cuales son sus fallas y deficiencias.
3. Se reunirá información atendiendo las opiniones de la parte interesada referente a posibles modificaciones que amerite el sistema en cuanto a su capacidad y distribución física.
4. Se establecerá una lista de criterios y restricciones destinada a definir un entorno que proporcionará las características deseables para una alternativa de solución.
5. Se presentarán en forma preliminar las distintas soluciones, las cuales se evaluarán tomando en cuenta los criterios y restricciones mencionados anteriormente, para proceder a la elección de la solución definitiva mediante una discusión general.
6. Se procederá a desarrollar la alternativa seleccionada. El diseño mecánico de la estructura se evaluará utilizando el método de los elementos finitos para la determinación de los esfuerzos estáticos. El diseño del sistema automatizado se realizará empleando el diagrama funcional GRAFCET para luego proceder a su programación.

7. Se evaluará la factibilidad económica del diseño.

8. Se analizarán los resultados para determinar las conclusiones y recomendaciones.

Para la determinación de las características fundamentales del sistema, para realizar el proceso en forma adecuada, se utilizarán diversos recursos de investigación, los cuales incluirán entrevistas a ingenieros dedicados a labores gerenciales, ingenieros de producción, técnicos relacionados con el tratamiento químico y operarios que laboran en la estación. Además, se tomará en cuenta la información acerca de la producción actual y otros datos facilitados por la empresa, con la finalidad de relacionar y comparar la situación actual con la situación deseada para el proceso en cuestión.

Luego de la fase de investigación, se procederá a resumir la información reunida acerca del proceso, tanto las características actuales, como aquellas fallas u omisiones que deban ser corregidas.

En lo referente al diseño del sistema de control, debe realizarse una descripción específica del sistema, en la cual se puedan establecer una serie de pasos a través de los cuales se llevará a cabo el proceso, y donde se puedan establecer claramente, aspectos básicos como la cantidad de entradas y salidas que necesitará el sistema, así como consideraciones de conveniencia entre las distintas opciones de actuadores disponibles, y seleccionar los más idóneos para este caso en particular.

Debido a los avances tecnológicos de los últimos años en el área de la automatización industrial, ha habido reducciones de precios en los autómatas programables (PLC), y su accesibilidad ha aumentado considerablemente.

Es necesario aclarar de antemano, que se utilizará este tipo de sistema de control, en lugar de la lógica cableada (Relés). De esta manera se reducirá considerablemente la complejidad del sistema, lo que facilitará su mantenimiento y posibles reparaciones. La selección del autómata (PLC), se hará con la información de la descripción específica de control del dispositivo a diseñar. **SOPORTE BIBLIOGRAFICO**

Debe establecerse con detenimiento, una estrategia de seguridad en casos de emergencia, como paradas imprevistas o fallas en la alimentación del sistema de control, bien sea eléctrica o neumática, dependiendo del caso. Por último se procederá a desarrollar el programa que se encargará de gobernar el autómata (PLC).

Para la programación del dispositivo PLC, se procederá a utilizar el diagrama funcional GRAFCET para el modelado del proceso. Luego de alcanzar los objetivos requeridos con el modelado, se desarrollará el programa en un lenguaje apto para el PLC seleccionado.

En lo referido al sistema de extracción de vapores, será necesario investigar acerca de los parámetros necesarios para diseñar este tipo de elementos. A través de la obtención de manuales y guías, se presentarán las pautas necesarias para desarrollar los cálculos. El diseño final del sistema deberá ser capaz de funcionar con la grúa de tal manera que se reduzca el escape de vapores al ambiente en comparación con el sistema actual.

## **CAPITULO IV: DESARROLLO DE LA SOLUCIÓN SELECCIONADA**

### **IV.1.- DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE FOSFATIZADO ACTUAL**

El sistema de fosfatizado que se encuentra instalado actualmente es de accionamiento manual y debe ser supervisado por el operario. El mismo, debe montar los engranajes en un arreglo de ganchos sujetos a una plancha metálica horizontal que se encuentra sujeta por un polipasto apoyado en una viga tipo “I”. Luego de terminar el proceso de carga, el operario procede a accionar los botones del control del polipasto para elevar la carga y trasladarla horizontalmente, para luego sumergirla en cada uno de los tanques que se encuentran dispuestos en línea recta. Posteriormente, al asegurarse de que se sumergió correctamente el arreglo de engranajes en un tanque determinado, el operario puede ausentarse por un lapso menor o igual al tiempo de inmersión pre-establecido para dicho tanque, y de esta forma puede realizar otras actividades. No obstante, debe estar alerta para extraer los engranajes de cada baño cuando sea necesario. Para el tanque más crítico, éste es, el que contiene la solución fosfatizante caliente (tanque de fosfatizado), el operario cuenta con la ayuda de una alarma temporizada para no exceder el tiempo de inmersión.

El proceso se realiza de manera inadecuada, ya que inicialmente el proceso estaba concebido para utilizar seis (6) tanques en total, y son precisamente los tres (3) últimos, los que están siendo utilizados actualmente. A continuación se da una descripción de estos últimos tres tanques.

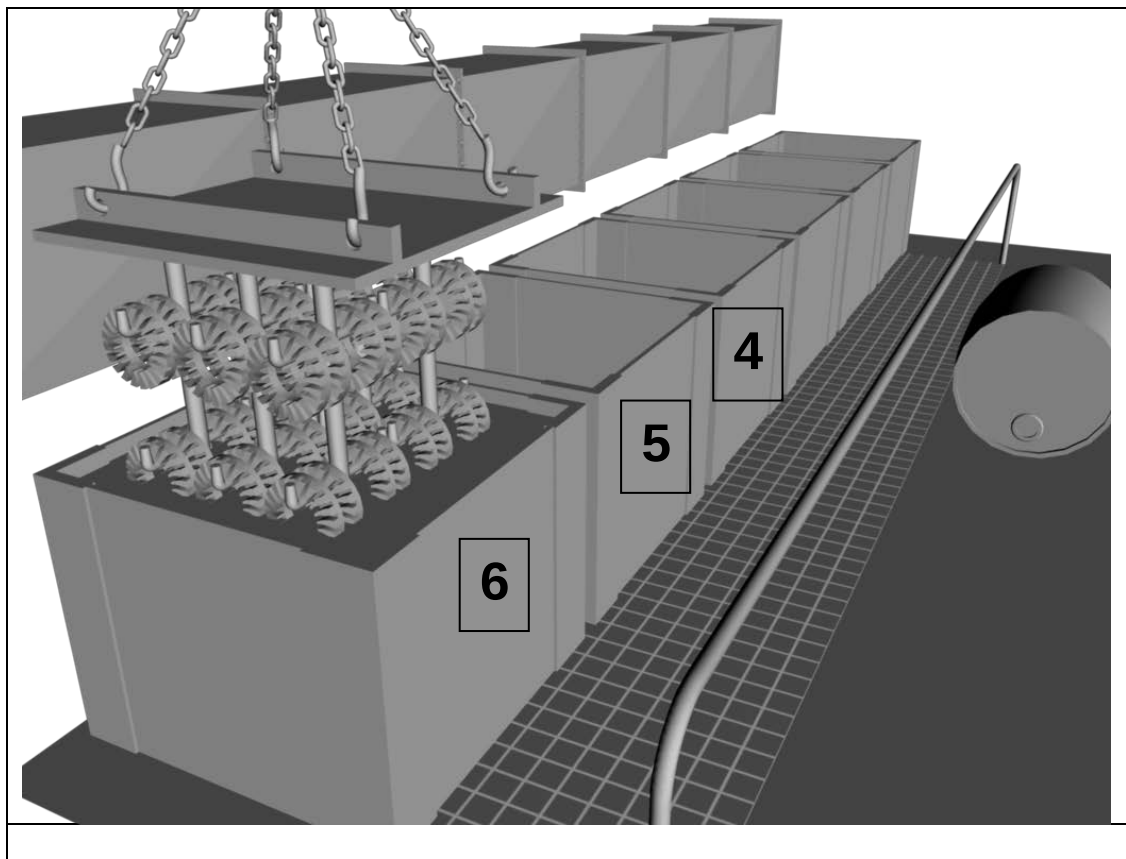
|          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Tanque 4 | Contiene la solución de ácido fosfórico líquido, fosfato de manganeso y agua (diluidos al 11-12%). Dicho tanque debe mantenerse en una temperatura de 91°C a 97°C para que el tratamiento se lleve a cabo de forma correcta. Su función principal es aportar una ligera rugosidad a la superficie del engranaje para que pueda retener una capa fina de lubricante que se interponga entre las condiciones atmosféricas y la superficie del metal y de esta forma evitar su oxidación. El tiempo de inmersión en este tanque es de 15 a 20 minutos. |
| Tanque 5 | Contiene agua a temperatura ambiente. Su función principal es retirar el exceso de solución fosfatizante del tanque anterior. Ésta etapa es necesaria ya                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |

|          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|          | que los residuos de los ácidos contenidos en el tanque 4 pueden degradar, con una rapidez indeseada, los componentes contenidos en el tanque 5. El tiempo de inmersión es de 5 minutos.                                                                                                                      |
| Tanque 6 | Contiene una solución de agua y aceite soluble en agua, se encuentra a temperatura ambiente. La función de este último baño es proporcionar la capa de solución que se adherirá a la superficie rugosa del engranaje para protegerlo de la oxidación. El tiempo de inmersión en este tanque es de 5 minutos. |

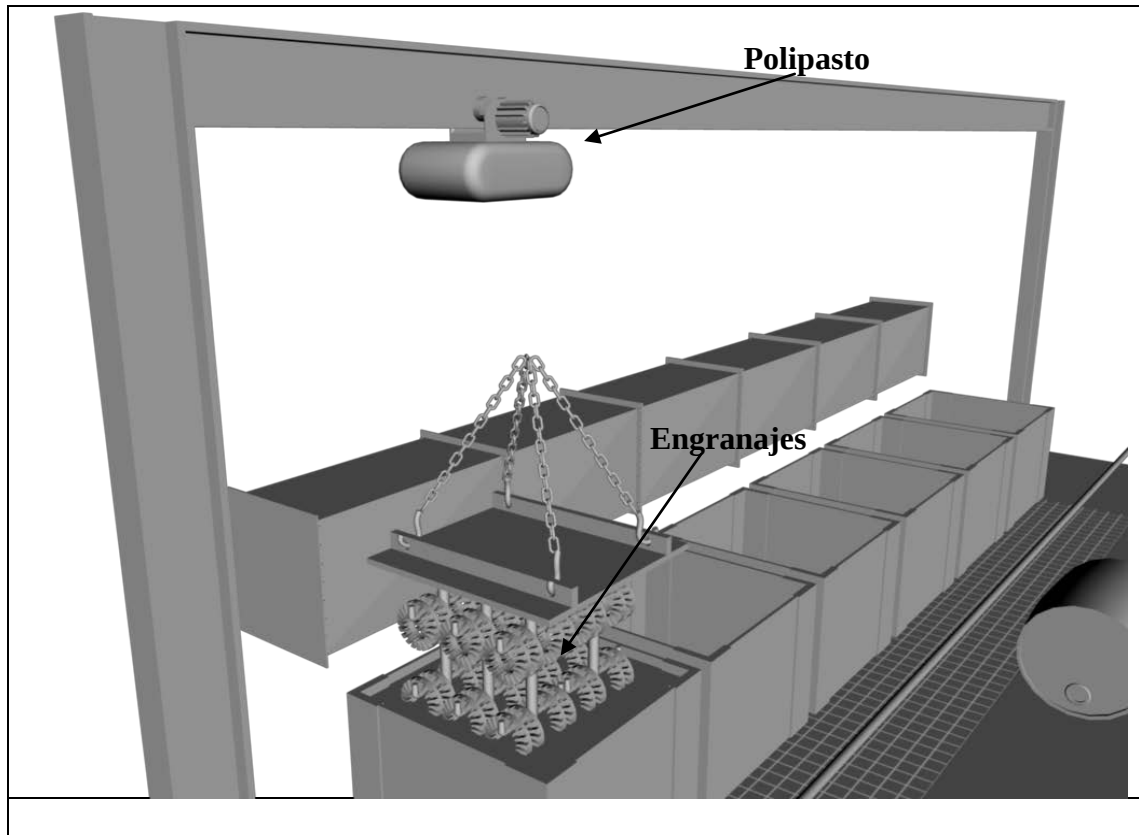
A continuación se dará una descripción de los tres tanques ausentes en el proceso de fosfatizado actual.

|          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Tanque 1 | Contiene una solución de desengrasante alcalino (Soda cáustica, Metasilicato, Carbonato) y se encuentra a una temperatura de 80°C. Su función es retirar los restos de lubricantes utilizados en los distintos procesos de manufactura del engranaje, el tiempo de inmersión en este tanque es de 5 minutos. |
| Tanque 2 | Este tanque contiene agua a temperatura ambiente. Su función es remover el exceso de solución desengrasante del tanque anterior, el tiempo de inmersión es de 5 minutos.                                                                                                                                     |
| Tanque 3 | Este tanque contiene agua caliente a una temperatura de 80°C. Su función es precalentar los engranajes para evitar las fluctuaciones de temperatura en la solución del tanque de fosfatizado que le sigue, el tiempo de inmersión es de 5 minutos.                                                           |

ESQUEMA DE LA ESCENA ACTUAL:



En la figura anterior, se puede observar el arreglo de tanques, los tanques que se encuentran activos en la actualidad están numerados.



FOTOS DE LA ESCENA REAL:



En la figura anterior puede observarse el arreglo de ganchos sujetos a la plancha que se mueve verticalmente gracias al polipasto. Este tanque en específico es el Número 6, contiene una solución de aceite y agua, en esta etapa se le otorga la película protectora a la superficie del producto.

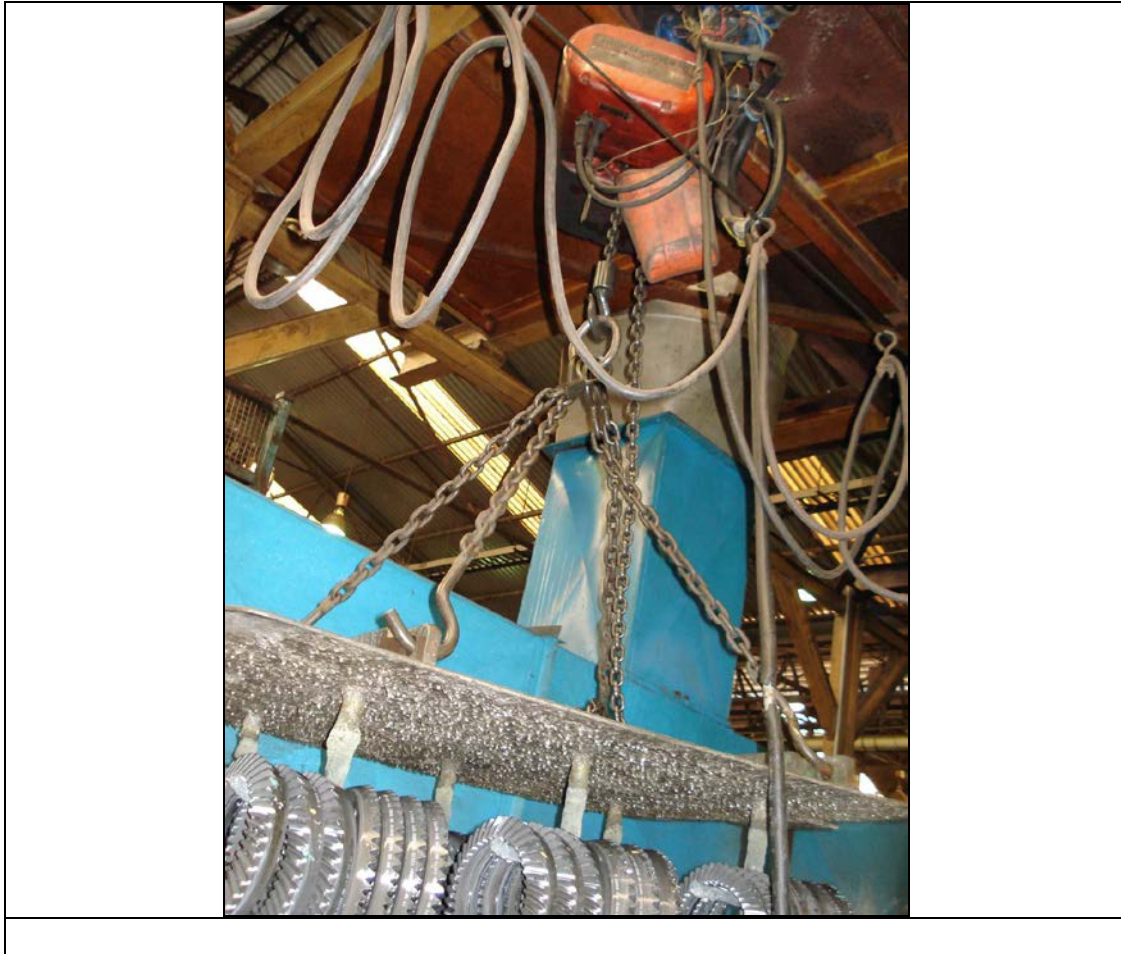


En esta figura se divisa la línea de tanques, se observa el control del polipasto y la cercanía a la que debe estar el operario para controlar y supervisar el proceso. Al extraer las piezas del tanque de fosfatizado se genera una cantidad mayor de vapores, y por ello es imprescindible para el personal utilizar lentes protectores, así como una máscara para evitar inhalar los gases despididos.



El sistema de extracción consta de ducto de succión que comienza en las aberturas que se observaron en figuras anteriores, encima de la pared de fondo de los tanques, de ahí, un ventilador accionado por un motor eléctrico, impulsado mediante una correa, dirige los gases al exterior a través de una chimenea que atraviesa techo del galpón. Este arreglo se encuentra en una plataforma encima del arreglo de tanques, aproximadamente a 3 metros de altura. Esto hace que quede suficiente espacio para operar el dispositivo de forma cómoda.





Mediante observaciones y encuestas realizadas, se pudo determinar que durante la ejecución del proceso en cuestión, el operario está expuesto a emanaciones de la solución fosfatizante, debido al pobre desempeño del sistema actual de extracción de vapores. Dicho sistema posee un difusor común de aire (similar a los utilizados en salidas de aire acondicionado) para canalizar la extracción, y son de tiro lateral. Además, posee aberturas de extracción planas en los alrededores del borde del tanque. Es apreciable el escape de los vapores al ambiente de trabajo, y es notorio y desagradable el efecto que produce el respirar tales emanaciones, esto sin contar con las implicaciones documentadas de estar expuesto a las emanaciones de los componentes de la solución fosfatizante (PONER CITA, NOTA AL PIE).

Por último, es importante destacar que buena parte de la calidad del proceso esta en manos del operario, ya que éste debe estar atento de recordar cuando debe sacar los engranajes de cada baño (con excepción del tanque de fosfatizado), esto le resta repetibilidad y trazabilidad al proceso en cuestión. Además, la mano de obra involucrada podría ser utilizada en otras actividades si el dispositivo funcionara de manera automática y a su vez las piezas tendrían un acabado más homogéneo y predecible.

#### **IV.2.- OPINIONES Y SUGERENCIAS DE LA PARTE INTERESADA**

Si bien se esperaba obtener alguna sugerencia de la parte interesada en cuanto a alguna mejora en la capacidad de producción del dispositivo a diseñar, es necesario aclarar que sobre la base de las distintas reuniones sostenidas con el ingeniero gerente, encargado de supervisar el proyecto, se pudo conocer que este aspecto no era prioritario, ya que el dispositivo actual no presenta, en ningún momento, problemas de retrasos, también conocidos como “cuello de botella”, en ningún momento. Sin embargo, hubo algunas solicitudes para la escogencia de los criterios de selección que nos ayudaron a determinar la solución más adecuada para el problema planteado. En primer lugar se conversó acerca de la menor frecuencia de mantenimiento necesario para el funcionamiento del dispositivo, luego acerca de la mayor simplicidad del mismo y la facilidad y/o rapidez para llevar a cabo su construcción.

En cuanto a otros componentes asociados a esta estación como lo son las tinajas (tanques) de inmersión, la opinión del técnico químico en este caso, fue la de fabricar el tanque 4 (contiene solución fosfatizante) de acero inoxidable de manera que se evite la corrosión y se facilite su limpieza. De igual manera, recomendó recubrir el tanque 6 (lubricante soluble en agua) con fibra de vidrio o acero inoxidable, para

evitar la degradación del contenido que se da de forma acelerada en la actualidad, debido al metal oxidado del tanque que se encuentra en contacto con el líquido.

### **IV.3.- CRITERIOS Y RESTRICCIONES**

#### **IV.3.1.- CRITERIOS**

1. Mayor simplicidad del sistema de automatización.
2. Menor grado de instrucción para la operación del sistema.
3. Mayor capacidad de la máquina.
4. Mayor simplicidad del sistema mecánico.
5. Menor frecuencia de mantenimiento.
6. Facilidad para la construcción.

#### **IV.3.2.- RESTRICCIONES**

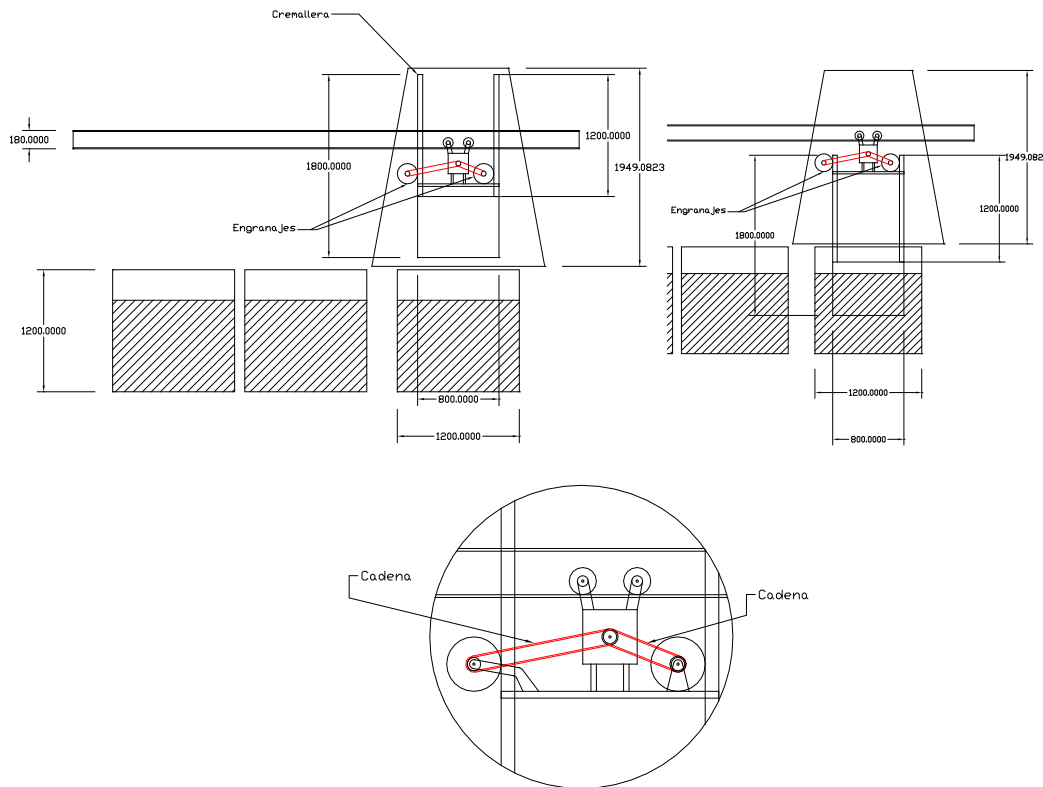
1. La máquina no debe ocupar un área de piso mayor a la que se usa en la actualidad.
2. Debe incorporarse un sistema de extracción de vapores que supere el desempeño del sistema actual.
3. La intervención del operario debe ser únicamente al inicio y al final del proceso.
4. El dispositivo debe manejar, como mínimo, la misma cantidad de piezas por unidad de tiempo que el dispositivo actual.

### **IV.4.- ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN**

En todas las alternativas que se presentan, se dispone de un arreglo lineal de los tanques, con una viga estructural en la parte superior de los mismos que sirve

como soporte para el dispositivo que se encarga de elevar, bajar y trasladar horizontalmente la carga a fosfatizar.

#### IV.4.1.- PIÑONES Y CADENAS

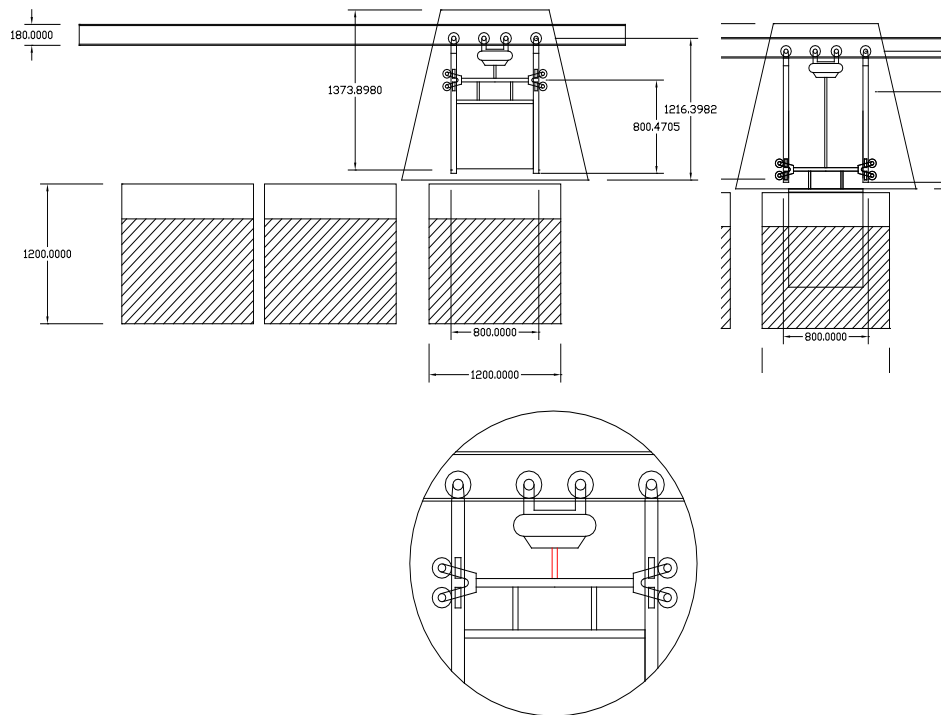


El dispositivo se encuentra sostenido por un *trolley* motorizado en la parte superior, éste se encarga del desplazamiento lineal horizontal a lo largo de la fila de tanques. En la parte inferior del *trolley*, se encuentra una estructura que sostiene varios elementos, entre ellos: un motor con reductor y freno, piñones fijos al carro de elevación y soportes de deslizamiento de cremalleras. Los piñones de elevación y el motor se conectan mediante cadenas de transmisión. Los piñones se encuentran acoplados a un sistema de cremalleras móviles, que a su vez están conectadas a los

ganchos de carga en su parte inferior. De esta forma se definen las dos partes del dispositivo de inmersión.

La principal característica de esta solución es la utilización de un motor reductor con freno separado del *trolley* motorizado; y la utilización de la cremallera como elemento de elevación de la carga.

#### IV.4.2.- POLIPASTO

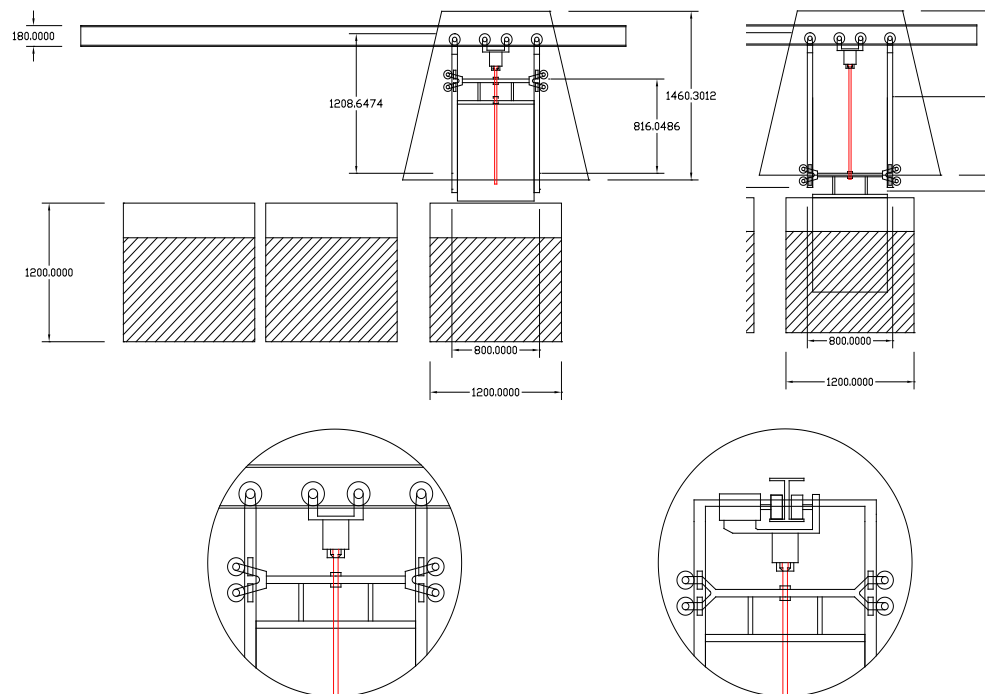


El dispositivo consta de tres partes bien definidas: la primera es el polipasto de desplazamiento horizontal motorizado que mantiene su estructura original y se encarga de la elevación y el traslado de la carga. Luego se encuentra el carro de carga, sostenido por el cable del polipasto y con ruedas guías que impiden cualquier

balanceo restringiendo el movimiento a una trayectoria vertical. Y finalmente una estructura de cuatro columnas que sirven de guía para el carro de carga. Dicha estructura se encuentra soportada por dos *trolleys* independientes (sin motor) en la viga superior.

Los *trolleys* sin motorizar se acoplan con el *trolley* motorizado del polipasto para asegurar un movimiento horizontal uniforme del sistema. En esta solución el único elemento motriz es el polipasto, ya que todos los demás elementos dependen de él para lograr su movimiento.

#### IV.4.3.- TORNILLO DE POTENCIA



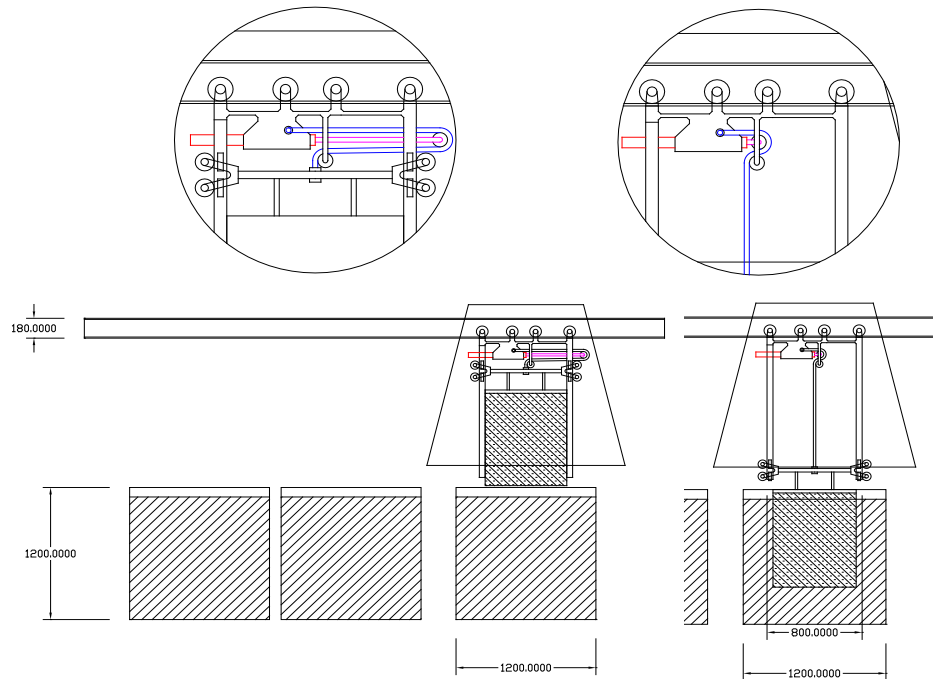
El dispositivo consta de tres partes principales: primero, se encuentra un *trolley* motorizado en la parte superior que soporta un motor acoplado a un tornillo de

potencia. Luego hay una estructura de cuatro guías, encargada de evitar balanceos al restringir el movimiento a una trayectoria vertical, y que se encuentra soportada por dos *trolleys* independientes sin motorizar. Por último está el carro de carga, con ruedas que están en contacto con la estructura de guías, y con una rosca especial en la parte central de su estructura para sujetar el vástago del tornillo de potencia y así permitir la elevación de la carga cuando éste gire.

Los *trolleys* sin motorizar se acoplan con el *trolley* motorizado para asegurar un movimiento horizontal uniforme del sistema.

En esta solución es necesario dejar libre el paso para el tornillo de potencia en la parte central del carro de carga, pero se estima que dicha área es pequeña y no afectaría la capacidad del dispositivo en forma significativa.

#### IV.4.4.- CILINDRO NEUMÁTICO



El dispositivo consta de tres partes principales. En primer lugar, se tiene una estructura con cuatro rieles guía, encargada de servir de pista de deslizamiento a las ruedas del carro que sostiene la carga, dicha estructura es necesaria para restringir el movimiento en una trayectoria vertical. En segundo lugar, se encuentra el sistema de elevación del carro de carga, que consta principalmente de un arreglo de polea móvil invertido, con cadena o cable, accionado por un cilindro neumático. Al estar dispuesto de esta manera, se reduce la carrera del cilindro a la mitad aumentando la carga al doble. Por último, está el carro de carga, posee ruedas que están en contacto con la estructura de guías y en su parte inferior se sujeta la carga mediante ganchos.

#### **IV.5.- DISCUSIÓN Y SELECCIÓN DE LA MEJOR ALTERNATIVA**

Es necesario evaluar las distintas alternativas de solución, exponiendo sus virtudes y desventajas, primero de manera preliminar, y luego haciendo un análisis más exhaustivo, con apoyo de los conocimientos adquiridos durante el transcurso de la formación académica. Además, se incluirán las opiniones de personas con experiencia en el diseño de sistemas mecánicos, así como de la parte interesada y posible financista del proyecto.

Un sistema mecánico seleccionado para cualquier aplicación, siempre debe cumplir con la función para la cual fue creado, pero además debe ser el más eficiente en desempeñar dicha tarea. La eficiencia en este caso, se entiende como la mejor combinación de características necesarias para cumplir un objetivo, utilizando la menor cantidad de recursos para llevarlo a cabo. Es por ello que resulta de gran importancia tener diferentes puntos de vista para la solución de un problema. Estos puntos de vista se manifiestan a través de las alternativas de solución.

Un buen diseño mecánico debe poseer, en la medida de lo posible, la menor cantidad de partes móviles, ya que este aspecto afecta proporcionalmente algunas características determinantes del mismo, como son: la complejidad del sistema (estrechamente relacionada con el costo de fabricación), la propensión del mismo a fallas, el costo de mantenimiento (es necesario guardar mayor cantidad de repuestos en el caso de los diseños más complejos), así como el grado de adiestramiento que deben tener los operarios y técnicos de mantenimiento o de reparaciones.

En este tema, la propuesta de diseño “Piñones y cadenas” resulta cuestionable, ya que el dispositivo funciona con cadenas, piñones y cremalleras. Estas últimas deben montarse sobre pistas de deslizamiento. Comparada con las demás propuestas de solución, “Piñones y cadenas” posee un mayor número de partes móviles y además implicadas en la transmisión de potencia. Su ventaja es la sencillez de encontrar dichas partes; no así en el caso del “Polipasto”. En el caso de la solución con el “Tornillo de Potencia”, se percibe la sencillez del mecanismo, y sus piezas pueden ser fácilmente intercambiables.

La altura total del dispositivo también es un aspecto a tomar en cuenta para la selección del mismo. Si bien no es crítico el espacio vertical dispuesto para el diseño, si lo es el costo de la campana de extracción de vapores, cuya altura aumenta a medida que el dispositivo se hace mayor en su cota. Por lo general, la campana está fabricada de metales como el acero inoxidable que pueden resultar costosos.

La propuesta de solución “Piñones y cadenas” presenta la mayor altura del conjunto de propuestas; llegando a alcanzar alturas superiores a la viga principal de soporte, que sirve de riel de deslizamiento a cada una de las diferentes alternativas de solución.

Abordando el proceso de automatización, el diseño que ofrezca la mayor simplicidad será el más adecuado; necesitará menor cantidad de sensores, y controlará menos dispositivos. Por ende, necesitará de programas más sencillos para gobernar un autómatas programable (PLC).

En este caso, los diseños “Piñones y cadenas” y “Tornillo de potencia” comparten ciertas características, como lo son: la necesidad de controlar un motor para la elevación y otro para el desplazamiento, todo a través de sensores de posición; mientras que el diseño “Polipasto”, aunque debe controlar un sólo elemento motor, requiere que se haga una modificación en el control manual del polipasto, lo cual inevitablemente afectaría la garantía del equipo; sin embargo, esto no afecta significativamente su complejidad de automatización. Por estas razones, se puede establecer que en cuanto a las características de automatización, los sistemas se encuentran equilibrados, a excepción de la alternativa “Cilindro neumático” que necesita válvulas electro-neumáticas las cuales no son necesarias en las demás alternativas.

Ventajas y desventajas de cada dispositivo:

| Solución              | Ventaja                                                                                         |
|-----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Piñones y Cremalleras | Fácil disponibilidad de los elementos de transmisión, durabilidad de sus partes.                |
| Polipasto             | Simplicidad del sistema, un solo elemento motor.                                                |
| Tornillo de Potencia  | Poco mantenimiento, seguridad en paradas, durabilidad de sus piezas, motorreductor innecesario. |
| Cilindro Neumático    | No usa motores ni motorreductores.                                                              |

| Solución              | Desventaja                                                                                                                                                                                                                      |
|-----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Piñones y Cremalleras | El diseño puede resultar muy pesado debido a las cremalleras y los piñones; además utiliza varios elementos de transmisión diferentes; las cadenas, los piñones y la cremallera, así como un motorreductor con freno para poder |

|                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                      | obtener un control aceptable del proceso. Una desventaja adicional es que las cremalleras exigen una altura total del dispositivo que excede a la de las demás propuestas.                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| Polipasto            | Habría que desarmar parte del polipasto para poder conectarlo al sistema de control automatizado. La selección del mismo debe ser muy cuidadosa ya que debe poseer la velocidad adecuada, además de un freno y una capacidad acorde a la carga; también cabe la posibilidad de utilizar un <i>trolley</i> aparte si no se cumplieran estos requerimientos en un polipasto con <i>trolley</i> integrado, eliminando la ventaja de un solo elemento motor. |
| Tornillo de Potencia | Sería necesario instalar una rosca intercambiable en el carro de carga; el vástago sinfín podría ser costoso y está expuesto a los vapores, aunque por un tiempo corto.                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| Cilindro Neumático   | El sistema podría resultar costoso debido a la implementación de cilindros neumáticos, a su vez estaría sujeto a fallas de elementos externos de suministro de aire, como compresores, condiciones del aire, todo esto sin contar la necesidad de la energía neumática, que de por sí resulta costosa.                                                                                                                                                   |

Sobre la base de los criterios establecidos, se pudo concluir que la solución “Tornillo de Potencia” (FIGURA TAL, PAGINA TAL) es la más idónea para dar solución al problema planteado. Este sistema posee una simplicidad de automatización similar a las demás soluciones, con excepción de la opción que utiliza cilindros neumáticos, que resulta más complicada, aunque sin convertirse en una razón de descarte inminente. Así mismo, los sistemas se encuentran equilibrados en cuanto al grado de instrucción necesario para operar el sistema, el manejo sería sencillo al operarse con pocos botones.

En cuanto a la capacidad de la máquina, puede decirse que todas las alternativas de solución cumplen con este parámetro, ya que en la actualidad se utiliza un sistema de tanques que tiene similitud con los diseños preliminares presentados, y la demanda se satisface sin problemas. Es por ello que esta restricción se tomará

como un requerimiento del diseño, y no como un apoyo para seleccionar la solución definitiva.

Haciendo referencia a la simplicidad del sistema mecánico, es evidente la ventaja de tener un tornillo de potencia autoblocante, que no necesita un motor con freno. El tornillo puede funcionar a altas revoluciones por minuto, reduciendo los requerimientos de una posible caja reductora. En resumen, el mecanismo es simple.

Al hablar acerca de la frecuencia de mantenimiento, la nobleza de los sistemas que funcionan mediante el tornillo de potencia es bien conocida, basta solo mantener la lubricación adecuada para obtener un buen funcionamiento y evitar mayores consumos de potencia.

#### **IV.6. RESEÑA DE LA ALTERNATIVA DE SOLUCIÓN SELECCIONADA**

Para describir de forma efectiva el funcionamiento del dispositivo, es imprescindible desglosar las distintas etapas que constituyen el proceso que se desea llevar a cabo.

Al inicio, el operario recibe el material (coronas) que se desea someter al proceso de fosfatizado. En este punto, el dispositivo se encuentra en su posición inicial, con el carro de carga dispuesto antes del primer tanque de la fila y a una altura baja, que le permite al operario cargar la bandeja de ganchos, procediendo a cargarla.

Luego, el operario se dirige al panel de control del dispositivo, donde accionará el botón de arranque y se dará inicio al proceso.

La carga es elevada de manera tal que la cota inferior de la misma sea mayor al borde superior de los tanques. Luego es desplazada a lo largo de la fila y se detiene

sobre el primer tanque. Seguidamente, se baja la carga mediante la acción del tornillo de potencia hasta alcanzar la inmersión de las piezas. Después de haber transcurrido el tiempo de inmersión particular para dicha etapa, las piezas se elevan hasta la altura antes indicada y se trasladan al próximo tanque para repetir el proceso.

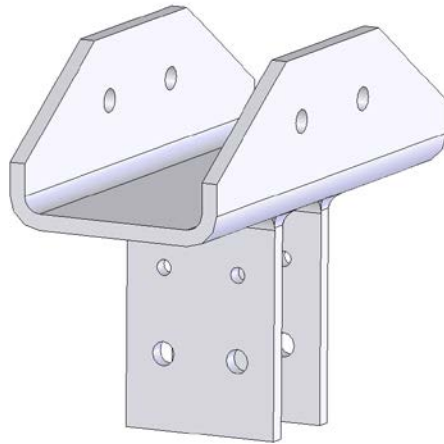
Finalmente, el dispositivo eleva las piezas que fueron sumergidas en el último tanque, luego se desplaza hasta la posición inicial de carga y desciende de manera tal que el operario pueda descargar las piezas ya tratadas.

## **DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE LA GRUA**

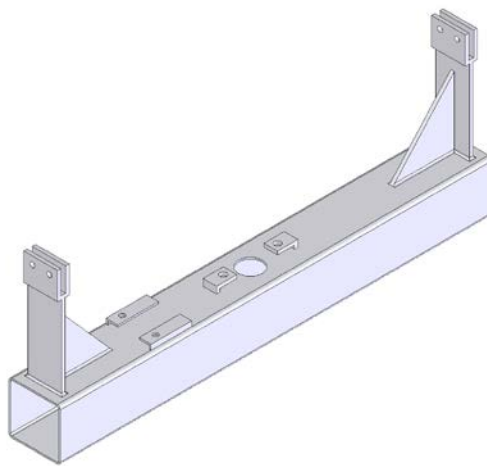
El diseño estático se llevará a cabo utilizando el método de los elementos finitos como herramienta para la determinación de los esfuerzos permisibles en las distintas partes de la estructura.

Existe una serie de consideraciones que deben ser tomadas en cuenta para el análisis de esfuerzos a través de elementos finitos. En primer lugar, es importante realizar una comprobación de los resultados obtenidos; en este sentido, se utilizará el recurso de la convergencia del esfuerzo de Von Mises en relación al número de nodos utilizados para crear la malla de particiones de cada pieza sometida al estudio. También, es importante destacar que al realizar este tipo de análisis mediante el computador, se estarán utilizando datos de aceros obtenidos de referencias bibliográficas, a su vez se hacen ciertas suposiciones como por ejemplo la de la homogeneidad o isotropía del material, que además se supone libre de fallas internas o grietas, y con una superficie lisa sin ranuras ni rayados. Esta serie de idealizaciones hacen que el proceso de diseño y cálculo se simplifique considerablemente pero podría dar origen a ciertas imprecisiones en los resultados obtenidos.

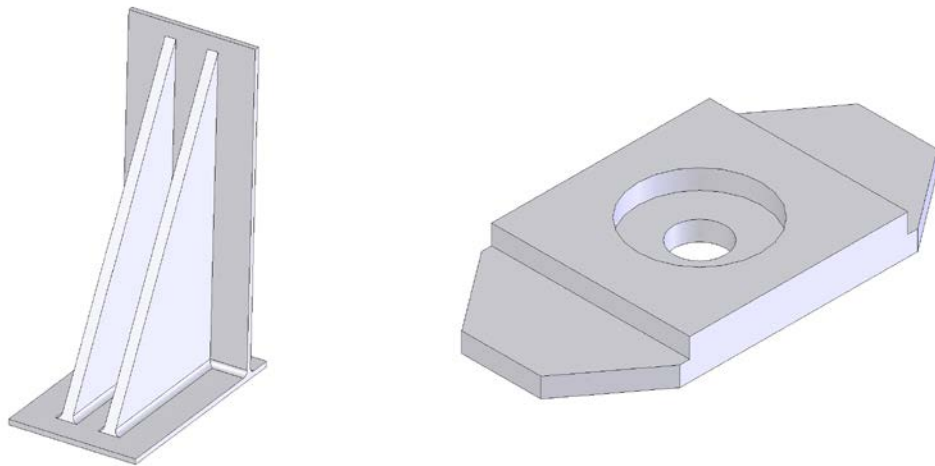
Se escogerán las vigas y espesores de láminas basados en estándares comerciales, de manera de facilitar su fabricación.



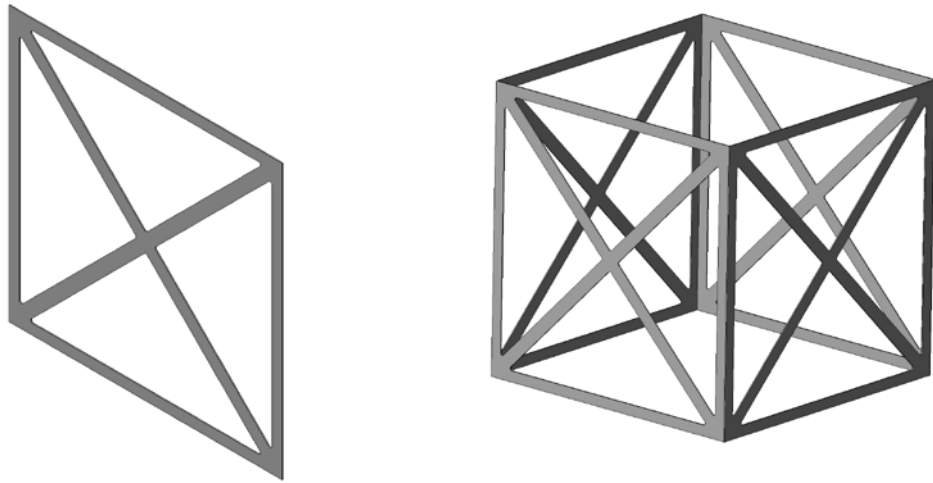
La figura anterior representa la pieza que servirá como soporte tanto a la parte exterior de la grúa, como a la viga principal que sostiene la carga. En la parte superior va acoplada a un *trolley* comercial que se encuentra en la viga riel superior. Se utilizarán dos de estas piezas en el diseño final.



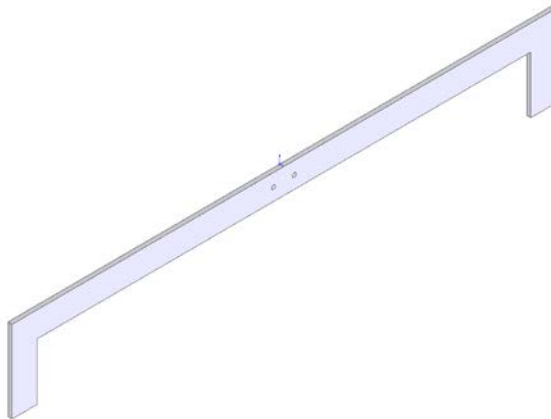
En la figura se puede observar la viga principal de la estructura de la grúa, esta tiene como función dar soporte al motor, al tornillo de potencia y a través de éste a la carga en sí. Debido a su carácter crítico dentro del diseño, su resistencia será evaluada mediante el método de los elementos finitos en páginas posteriores. Esta viga sostiene el motor y el tornillo de potencia mediante soportes que se muestran a continuación.



En la figura puede observarse el soporte para la base universal del motor, que va acoplada a la viga principal, mientras que en la figura se observa el sostén que alojará el rodamiento de carga axial-radial, el cual permitirá el giro mientras soporta la carga transmitida por el tornillo de potencia. Ambos sostenes van sujetos a la viga mediante pernos.

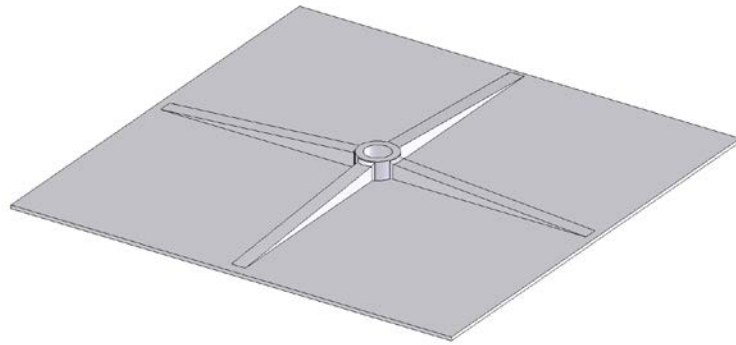


En la figura se observa uno de los cuatro paneles que conforman la caja de la grúa, esta caja es básicamente un cubo sin las caras superior ni inferior, y tiene como función restringir el movimiento de la carga a un movimiento vertical. Esto se logra mediante guías de ruedas que se acoplan en las esquinas de la caja. En la figura se puede observar el ensamblaje final de los cuatro paneles.

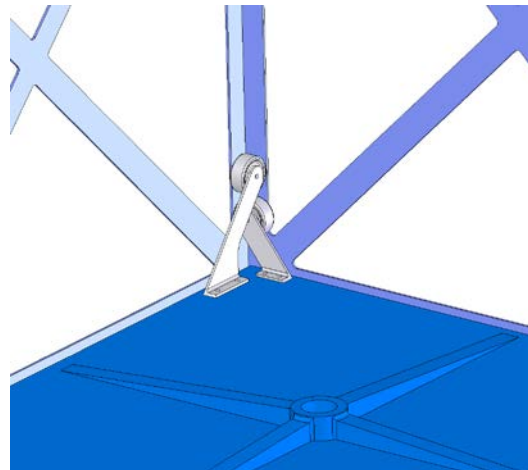
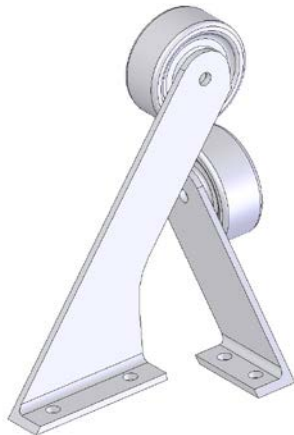


En la figura se observa el soporte de la estructura de los cuatro paneles antes mencionada. Utilizando un par de estos soportes es posible sujetar la estructura

directamente al *trolley*, por lo cual se exige a la viga principal de la grúa de soportar este peso.

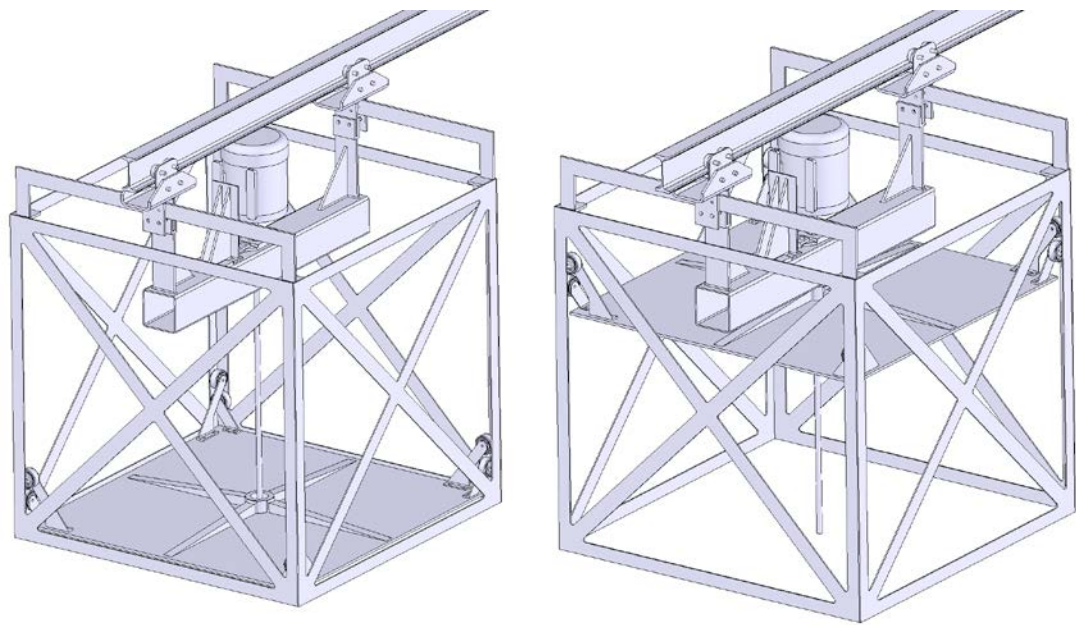


En la figura se muestra la parte superior de la plancha que soporta la carga. Esta aloja la tuerca del tornillo de potencia, mientras que los ganchos son sujetados verticalmente de la parte inferior de la plancha, de manera de poder colgar los engranajes que serán sometidos al proceso de fosfatizado.



En la figura se presenta el par de soportes para las ruedas que se acoplan al riel formado por las esquinas dentro de la caja de la grúa. Cada esquina de la plancha tiene un arreglo similar para asegurar las restricciones al movimiento vertical de

manera adecuada. El ajuste se hará mediante agujeros alargados en la plancha y el apriete mediante pernos y tuercas. Las ruedas son modelos comerciales con recubrimiento de goma. Cabe destacar que estas ruedas estarán sometidas a esfuerzo cuando el dispositivo sea cargado de manera irregular, esto es, sin una buena distribución de los engranajes en los ganchos. Lo que crearía la tendencia a rotar en la plancha.



## **DISEÑO DEL SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN**

Para representar la secuencia de eventos necesarios para cumplir el proceso de fosfatizado de manera adecuada, es necesario establecer y describir cada una de las etapas y luego proceder a agruparlas en el diagrama de paso.

| <b>Etapas</b> | <b>Acción</b>                                                                                                                                                  |
|---------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1             | Se comprueba la posición inicial del carro. De no ser la correcta, se corrige hasta estar en la posición de inicio.                                            |
| 2             | Se acciona el botón de Inicio.                                                                                                                                 |
| 3             | Se eleva la carga por encima del nivel de los tanques.                                                                                                         |
| 4             | Se desplaza la carga hasta llegar al primer tanque.                                                                                                            |
| 5             | La carga es bajada y dura el tiempo estipulado para el tanque.                                                                                                 |
| 6             | La carga se eleva.                                                                                                                                             |
| 7             | Se desplaza al siguiente tanque.                                                                                                                               |
| 8             | Se repiten las etapas 5 (con su tiempo respectivo), 6 ,7 hasta llegar al último tanque.                                                                        |
| 9             | Al elevarse del último tanque, el carro es desplazado a la posición inicial y luego desciende para permanecer en su posición inicial y espera una nueva carga. |

Otra parte importante para la definición de la automatización es determinar las entradas y las salidas, con las cuales el sistema obtendrá información y reaccionará llevando a cabo diferentes acciones.

A continuación se presentan algunas consideraciones que ayudarán a definir la cantidad de entradas y salidas necesarias:

- Debe incluirse un botón de parada de emergencia, el cual al ser presionado debe detener toda acción, regresando el carro de carga a su posición inicial.
- Al iniciar el sistema y si éste se encuentra en una posición distinta a la inicial, el sistema debe moverse hasta alcanzar dicha posición, y luego de llegar a ésta, se debe esperar la activación por parte del operario para comenzar un nuevo ciclo de funcionamiento.

- El sistema debe tener la posibilidad de prescindir de cualquiera de los tanques para su funcionamiento (en caso de mantenimiento o emergencia).

Debe existir un botón para la activación del sistema, que al ser presionado y al cumplir con las condiciones del estado inicial, permanecerá en un estado de “encendido” almacenando una variable dentro del programa. El botón de parada de emergencia debe interrumpir esta señal, y en consecuencia, el sistema debe volver a la posición inicial.

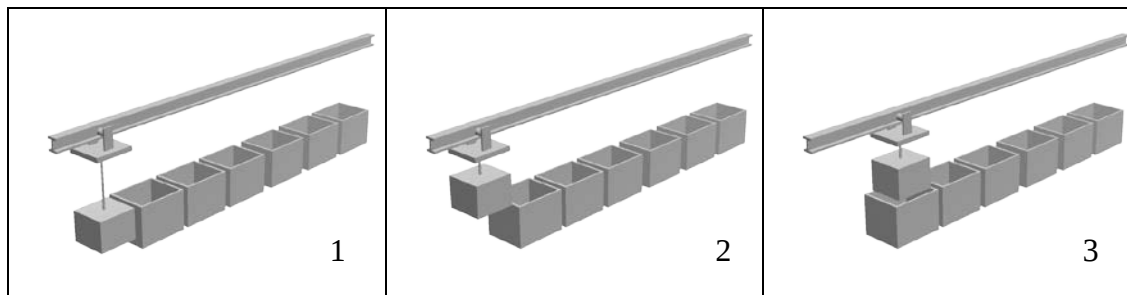
Se incluirá un selector en el panel de control, el cual tendrá tres posiciones, “Manual”, “Apagado” y “Auto”. La necesidad de tener un control manual sobre las acciones del dispositivo es importante al presentarse una falla, como por ejemplo el daño de algún sensor que provocaría un funcionamiento errático del sistema automatizado. En este caso, se procederá a seleccionar la opción “Manual” y mediante los botones alternativos en el panel de control, se gobernará cada una de las salidas del sistema, de manera provisional y sin interrumpir la producción, hasta poder realizar las reparaciones pertinentes.

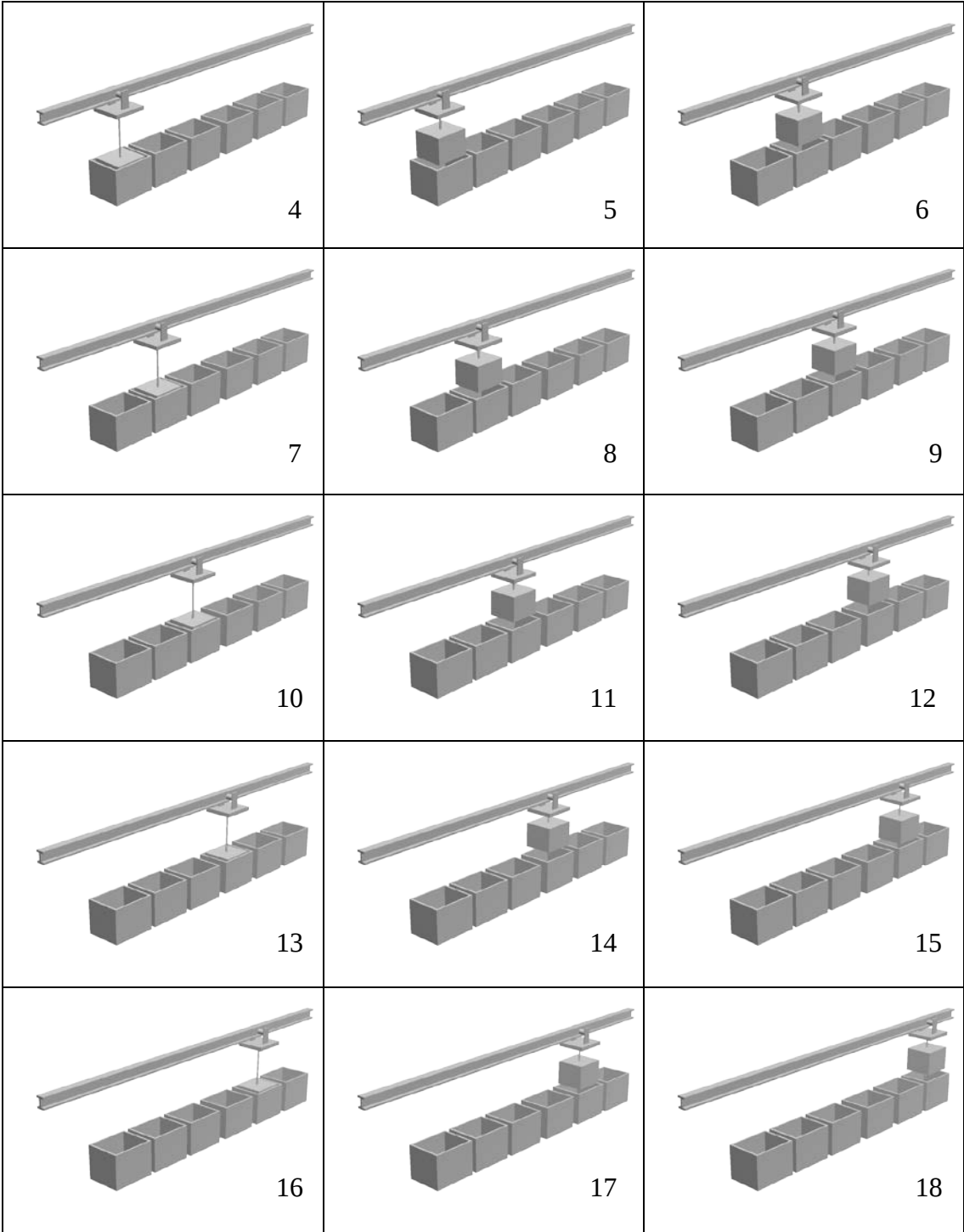
Entradas y salidas del sistema de automatización:

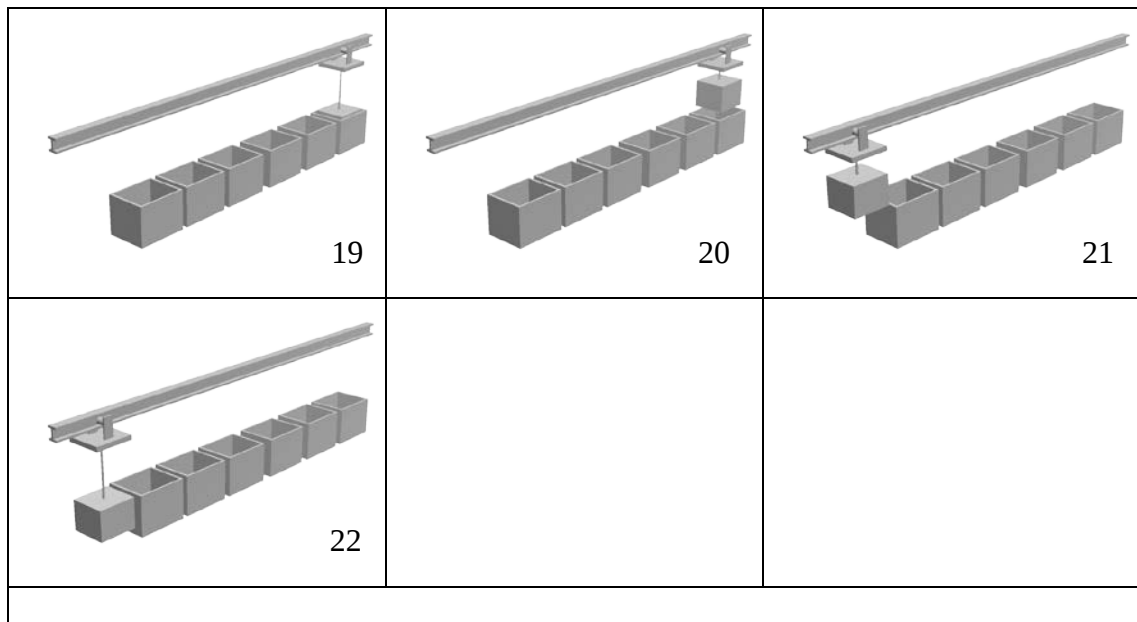
| Entradas                                        |     | Salidas                                                                  |    |
|-------------------------------------------------|-----|--------------------------------------------------------------------------|----|
| Botón de inicio                                 | I1  | Accionamiento del motor del <i>trolley</i> hacia la derecha, avance      | Q1 |
| Botón de parada de emergencia                   | I11 | Accionamiento del motor del <i>trolley</i> hacia la izquierda, retroceso | Q2 |
| Sensor de posición vertical baja                | I10 | Accionamiento del motor del tornillo de potencia hacia arriba            | Q3 |
| Sensor de posición vertical alta                | I9  | Accionamiento del motor del tornillo de potencia hacia abajo             | Q4 |
| Sensor de posición horizontal inicial           | I2  | Señalizador “Funcionando”                                                | Q5 |
| Sensor de posición horizontal sobre el tanque 1 | I3  | Señalizador “En Espera”                                                  | Q6 |

|                                                 |     |                                       |     |
|-------------------------------------------------|-----|---------------------------------------|-----|
| Sensor de posición horizontal sobre el tanque 2 | I4  | Señalizador posición horizontal Tq. 1 | Q7  |
| Sensor de posición horizontal sobre el tanque 3 | I5  | Señalizador posición horizontal Tq. 2 | Q8  |
| Sensor de posición horizontal sobre el tanque 4 | I6  | Señalizador posición horizontal Tq. 3 | Q9  |
| Sensor de posición horizontal sobre el tanque 5 | I7  | Señalizador posición horizontal Tq. 4 | Q10 |
| Sensor de posición horizontal sobre el tanque 6 | I8  | Señalizador posición horizontal Tq. 5 | Q11 |
| Selector 3 posiciones, posición AUTO            | I12 | Señalizador posición horizontal Tq. 6 | Q12 |
| Selector 3 posiciones, posición MANUAL          | I13 | Señalizador posición Vertical Alta    | Q13 |
| Botón de Subida en modo MANUAL                  | I14 | Señalizador posición Vertical Baja    | Q14 |
| Botón de Bajada en modo MANUAL                  | I14 |                                       |     |
| Botón de Avance en modo MANUAL                  | I16 |                                       |     |
| Botón de Retroceso en modo MANUAL               | I17 |                                       |     |
|                                                 |     |                                       |     |

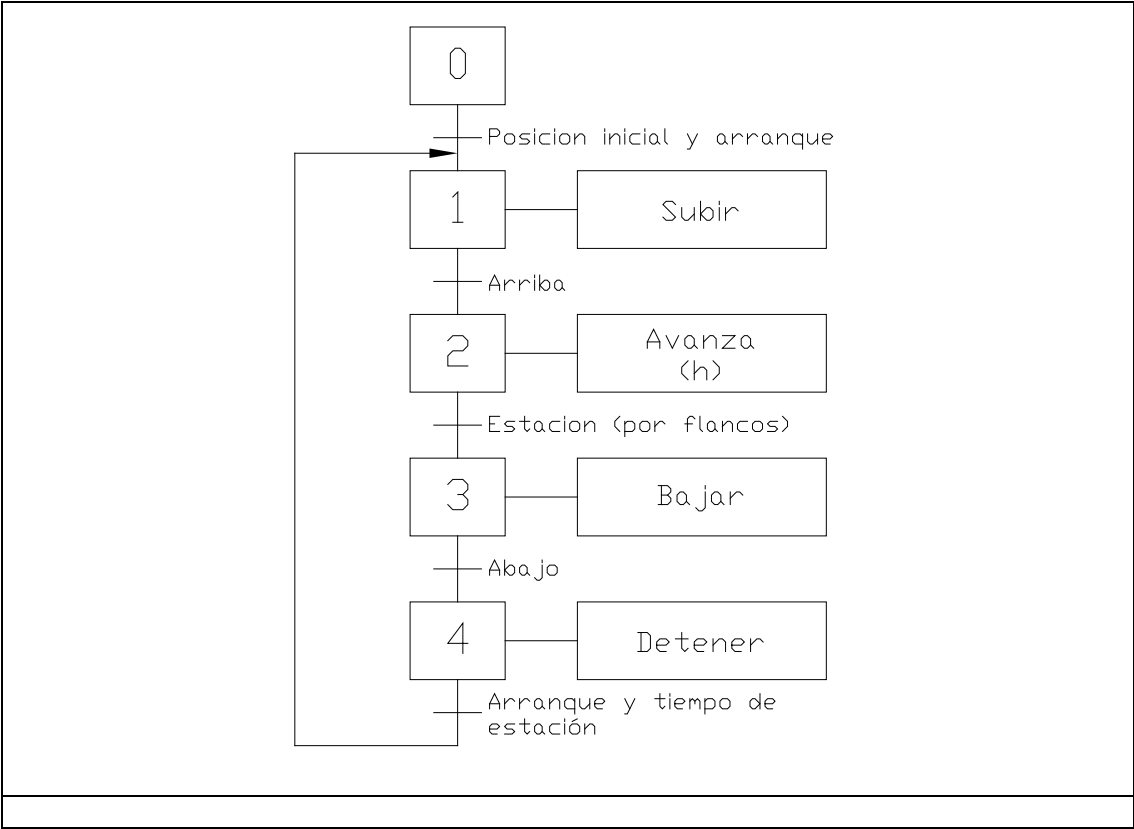
A continuación se presenta una secuencia de imágenes numeradas, que describen el ciclo normal de funcionamiento del sistema automatizado. Cabe destacar que las imágenes sólo son de índole representativa, no reflejan el diseño real del dispositivo.

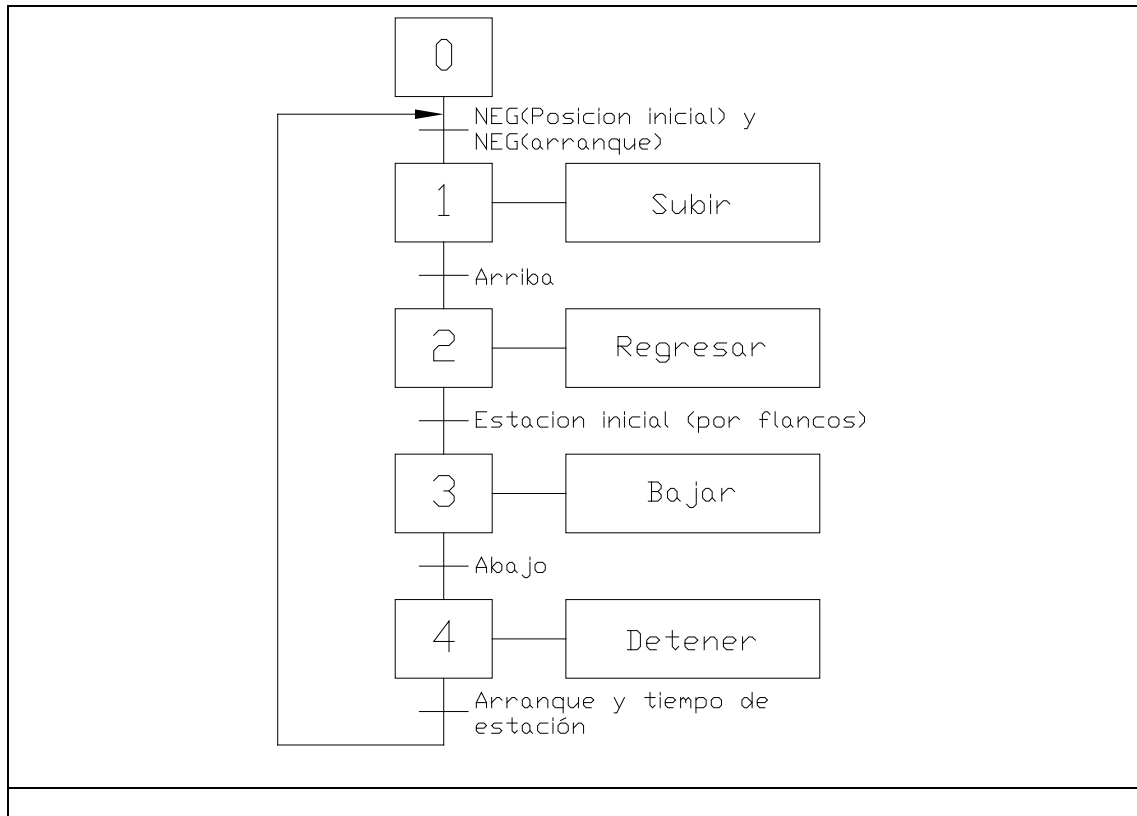




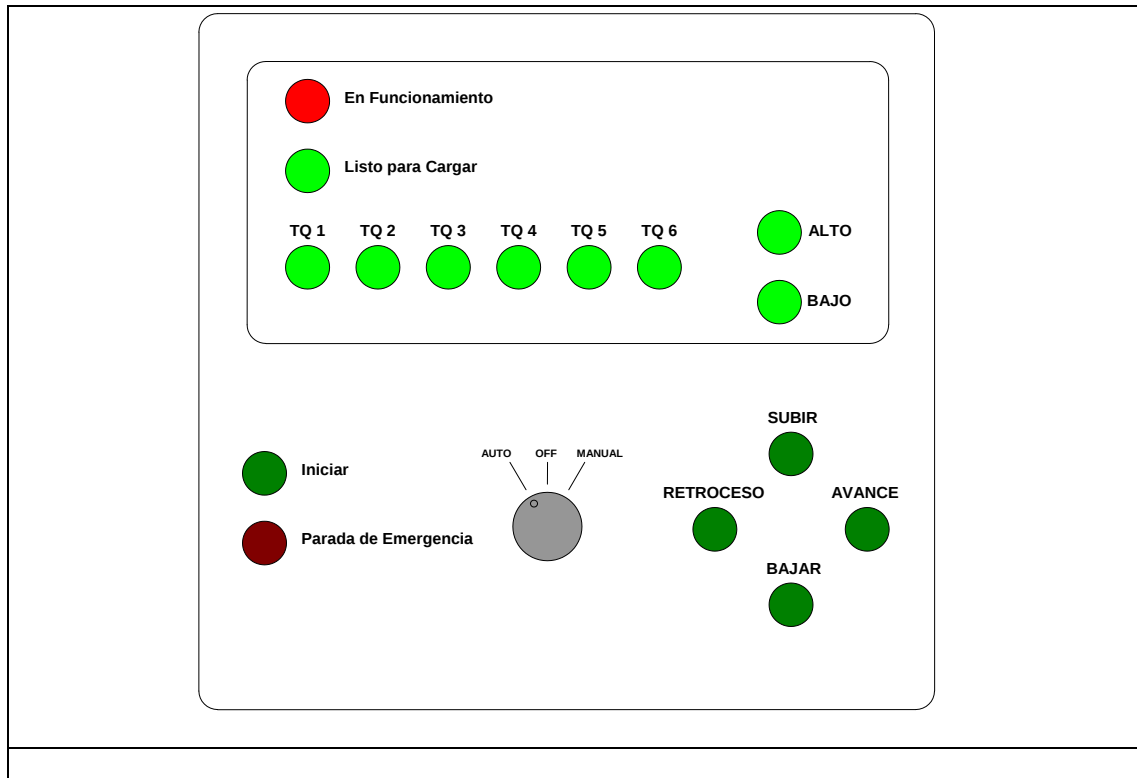


A continuación se presentan dos diagramas de paso, mediante los cuales se puede visualizar cada una de las etapas por las que pasa el sistema; a su vez se observan las condiciones necesarias para poder avanzar entre ellas. El primer diagrama describe el avance de la grúa, haciendo la inmersión en cada etapa hasta el último tanque y el segundo describe el regreso de la grúa a la posición inicial. Este último diagrama también es utilizado en el recorrido que se lleva a cabo al entrar en modo de parada de emergencia. Cuando el sistema llega al final del ciclo descrito por el primer diagrama, inmediatamente pasa al modo de retorno, que está definido por el segundo diagrama.





El programa fue desarrollado y simulado en el software “*LOGO!Soft Comfort*” y la diagramación del programa puede encontrarse en el apéndice I.



En la figura anterior, se presenta el diseño del tablero de controles, mostrando los señalizadores luminosos en la parte superior, cada uno de ellos está relacionado a una salida del autómatas programable.

En la parte inferior pueden observarse los botones de control, el selector en el centro se utiliza para alternar los modos: automático, manual y apagado. Al estar en modo automático se utilizarán los dos botones del lado izquierdo, mientras que al estar en modo manual se utilizarán los cuatro botones del lado derecho. Con esto se obtendrá un control completo del proceso.

## DISEÑO DEL TORNILLO DE POTENCIA

El tornillo de potencia es una parte crucial en el diseño del dispositivo, ya que es el elemento que se utilizará para la elevación y el descenso de la carga. El tornillo se diseñará para ser autoblocante, de tal manera que no sea necesario aplicar torque alguno para mantener la carga en una posición vertical fija, así el freno del motor sólo será utilizado para evitar el giro inercial del tornillo al llegar a una posición vertical determinada, bien sea la alta como la baja.

Para nuestro caso particular, los cálculos de columna o pandeo no serán considerados, ya que el tornillo de potencia soporta una carga axial que lo somete únicamente a un esfuerzo de tensión y nunca de compresión.

Lo principal antes de realizar el cálculo del tornillo de potencia es definir algunos parámetros:

1. Velocidad de giro del motor:  $n = 1750 \text{ RPM}$
2. Velocidad de Elevación:  $V = 200 \text{ mm/s}$
3. Angulo de flanco (ACME):  $14.5^\circ$
4. Carga total:  $F = 6867 \text{ N}$
5. Material del Tornillo: SAE 1040,  $S_y = 374 \text{ MPa}$ ,  $E = 207000 \text{ MPa}$
6. Diámetro Raíz del tornillo:  $d_r = 15 \text{ mm}$
7. Factor de Fricción:  $\mu = 0.1$

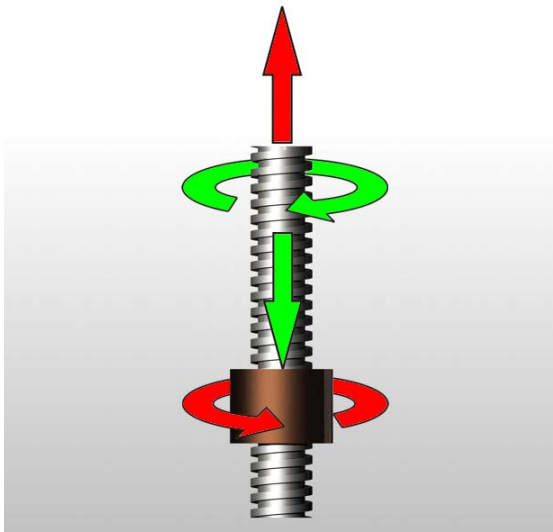


Diagrama donde se observan las fuerzas axiales y de torsión: Activas (verde), y Reactivas (rojo) para la condición crítica (elevación de carga).

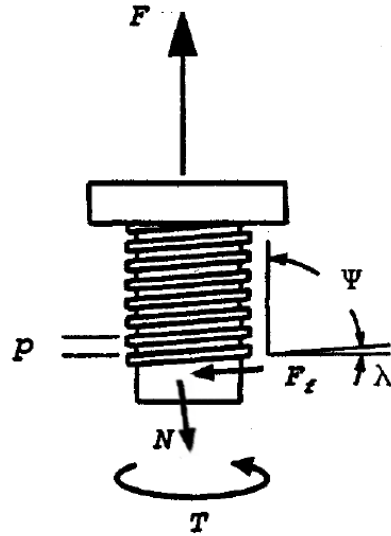


Diagrama de cuerpo libre donde se visualizan cada una de las variables involucradas en el cálculo.

Avance de rosca:

$$L = \frac{V}{n} = 0,006857143 \text{ m/vuelta} = 6,857143 \text{ mm/vuelta}$$

Se define el número de comienzos de hilos,  $n_s = 1$

Ángulo de elevación:

$$\lambda = \arctan\left(\frac{L}{\pi d_m}\right) = 4,3473^\circ$$

Ángulo de flanco normalizado:

$$\alpha_n = \arctan(\tan(\alpha) \cos(\lambda)) = 14,46^\circ$$

Paso del Tornillo:

$$p = \frac{V}{\left(\frac{n}{60}\right)} = 6,857143 \text{ mm/vuelta}$$

Diámetro Medio:

$$d_m = d_r + \frac{p}{2} = 28,71157121 \text{ mm}$$

Torques de elevación y descenso:

$$T_R = \frac{Fd_m}{2} \left( \frac{\pi\mu_t d_m + L\beta}{\pi d_m \beta - \mu_t \beta} \right) = 19,85074147 \text{ Nm}$$

$$T_L = \frac{Fd_m}{2} \left( \frac{\pi\mu_t d_m - L\beta}{\pi d_m \beta + \mu_t \beta} \right) = 2,970023103 \text{ Nm}$$

Nota: para efectos de cálculo de resistencia se tomará el mayor torque entre el de elevación y el de descenso, en este caso, el de elevación de carga.

Esfuerzo de Von-Mises:

$$\sigma' = \sqrt{\left(\frac{4F}{\pi d_r^2}\right)^2 + 3\left(\frac{16T}{\pi d_r^3}\right)^2} = 18,69985736 \text{ MPa}$$

Factor de Seguridad:

$$S = \frac{S_y}{\sigma'} = 20$$

Potencia Requerida:

$$P_r = \frac{2\pi n T}{60000} = 3,637838375 \text{ kW} = 4,87 \text{ hp}$$

Eficiencia:

$$n = \left( \frac{FL}{2\pi T} \right) 100 = 37,88\%$$

## **DISEÑO DE LA CAMPANA DE EXTRACCIÓN DE VAPORES**

Para el caso particular de la solución seleccionada, se escogió un cerramiento parcial como método de extracción de los vapores producidos en las tinas de inmersión. Esto obedece principalmente a las razones que se presentan a continuación:

- Gran cantidad de emisión de vapores al extraer las piezas del tanque. Esto se debe a la ampliación del área de líquido en contacto con el aire circundante. Las piezas extraídas quedan impregnadas con la solución fosfatizante caliente y provocan una emisión adicional de vapores.
- Perturbaciones en el aire alrededor de los tanques, ocasionado por diferentes ventiladores utilizados para mejorar las condiciones de trabajo de los operadores en el área de fosfatizado y zonas contiguas a los baños.

El cerramiento parcial es ideal para este tipo de situaciones, ya que elimina casi en su totalidad la posibilidad de recibir perturbaciones o turbulencias en el flujo de vapor a ser extraído; y por su diseño, que cubre el dispositivo de forma parcial, evita que escapen los vapores al ambiente de trabajo, aún cuando las emisiones superen momentáneamente la capacidad de extracción.

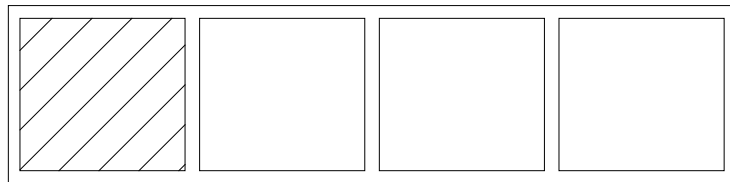
El diseño abarcará los cuatro primeros tanques de la línea. Tres de ellos se encuentran a temperaturas superiores a 80°C mientras que uno de ellos, el segundo, se encuentra a temperatura ambiente, pero se incluye en el sistema de extracción ya que resulta poco práctico hacer cerramientos separados, únicamente para los tanques que despiden vapores.

El procedimiento utilizado para el cálculo de la capacidad del ventilador centrífugo se obtuvo del manual “*Industrial Ventilation Design Guidebook*” donde se hace la recomendación de establecer una velocidad en la entrada de 0,2 m/s para asegurar una velocidad adecuada dentro del recinto que impida el escape de los vapores. Sin embargo, la velocidad que se utilizará será de 0,4 m/s debido a la perturbación introducida por las aberturas laterales del cerramiento, aunque dicha perturbación se reducirá mediante una cortina flexible, no se puede establecer de antemano que se eliminará por completo.

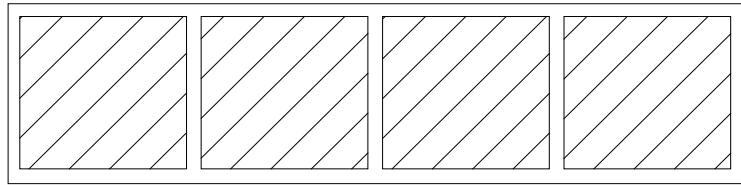
Para determinar la capacidad del ventilador centrífugo se procederá de la siguiente manera.

1. Determinación del área de entrada de aire (alrededor de los tanques)

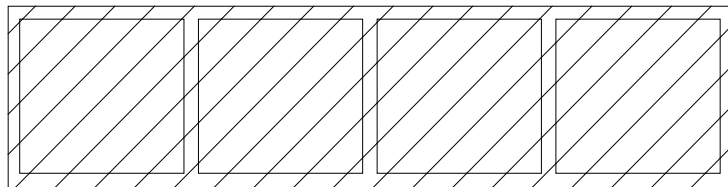
Área del tanque:  $(1380)^2 = 1,9044 \text{ m}^2$



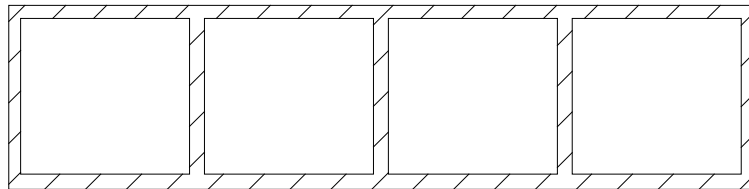
Área total de tanques =  $7,6176 \text{ m}^2$



Área del cerramiento dejando 50mm alrededor de los tanques =  $8,5396 \text{ m}^2$



Diferencia entre áreas de cerramiento y tanques =  $0,922 \text{ m}^2$



Velocidad Recomendada para entrada de aire =  $0,4 \text{ m/s}$

Caudal Requerido =  $V.A = (0,922)(0,4) = 0,3688 \text{ m}^3/\text{s}$

Caudal Requerido =  $1327,68 \text{ m}^3/\text{h}$

El cerramiento poseerá dos aberturas laterales en sus extremos para permitir el paso de la grúa. Para evitar el escape de los gases por dichas aberturas, se incluirán cortinas flexibles de segmentos PVC. También se incluirán puertas con bisagras en la parte frontal para acceder al interior del cerramiento en caso de ser necesario, bien sea para inspección o mantenimiento.

