

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ**

**FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA**



**AUTOMATIZACIÓN DEL PROCESO DE CARGA Y DESCARGA DE  
METALES EN UN ELECTROIMÁN DE UNA PLANTA MINERA**

**Tesis para obtener el título profesional de Ingeniera Mecatrónica**

**AUTORA:**

Ivanovha Grace Nuñez Cornejo

**ASESOR:**

M. Sc. Ericka Patricia Madrid Ruiz

**Lima, Agosto, 2022**

## RESUMEN

En el sector minero se privilegian los proyectos orientados a disminuir los accidentes laborales y a optimizar los procesos de extracción y tratamiento de mineral, iniciativas propuestas en esta línea son ampliamente aceptadas y beneficiadas con la asignación de recursos para su implementación.

El siguiente trabajo presenta la automatización del proceso de carga y descarga de forma automática de los metales (inchancables), acumulados en el electroimán de una planta de chancado del sector minero, disminuyendo de esta forma la exposición del personal a posibles accidentes laborales y optimizando el proceso de separación de inchancables.

Durante la extracción de mineral, se utilizan aceros para la perforación y sostenimiento del macizo rocoso, que finalmente después de la voladura se mezcla con el mineral que es transportado hacia chancado. Este material inchancable debe ser retirado de forma eficiente para evitar daños a los equipos de chancado y cortes longitudinales y/o transversales en las fajas transportadoras.

Para alcanzar el objetivo principal del presente trabajo, se definieron los requisitos del usuario, requerimientos del proyecto; además, del estado del arte actual para conocer las tecnologías y equipos existentes para el proyecto, se siguió la metodología de diseño mecatrónico donde, a través de una matriz, se realizó la selección de la solución conceptual; asimismo, se realizaron los cálculos de la estructura y simulación, así como la selección de los componentes eléctricos y electrónicos del sistema; finalmente se elaboraron los planos mecánicos, eléctricos y de control.

La inversión del proyecto está plenamente justificada, desde el punto de vista de seguridad del personal, al disminuir la exposición de los operadores, así como también de lo económico al evitar paradas no programadas prolongadas del circuito de chancado y transporte de mineral al usar medios alternos para alimentar de mineral a la planta de beneficio.

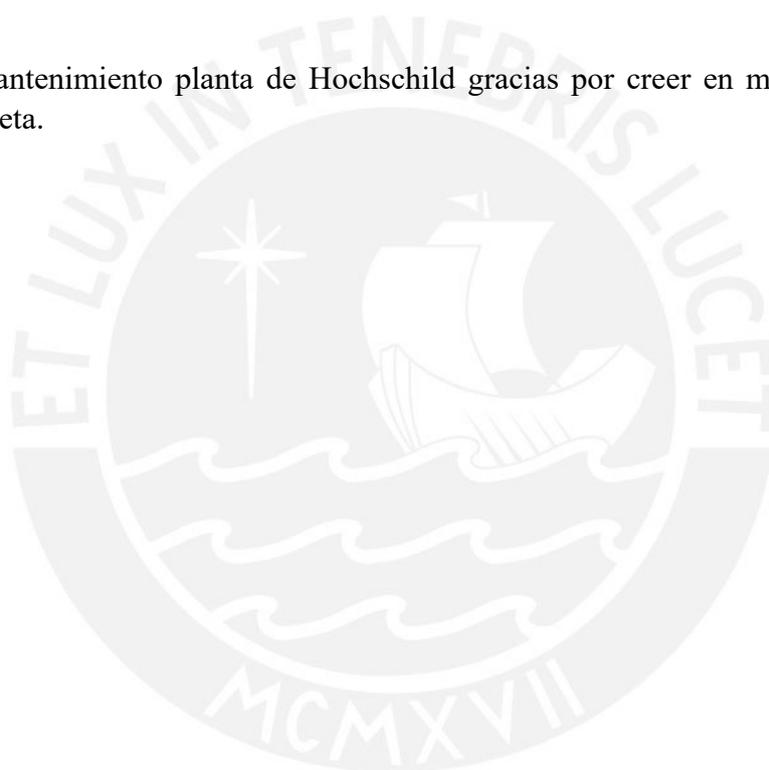
## AGRADECIMIENTO

Esta tesis va dedicada con un mensaje al cielo para mi abuelita Elva que siempre me impulsó a ser mejor cada día.

Gracias a mi familia, sin su apoyo no hubiese concretado este gran paso en mi vida. ¡Gracias, mamá! Eres y serás mi ejemplo.

Agradezco a mi asesora Ericka M. por su dedicación y soporte durante el desarrollo de la tesis.

A mi equipo mantenimiento planta de Hochschild gracias por creer en mí e impulsarme a concretar esta meta.



## INDICE

|   |      |
|---|------|
| RESUMEN .....   | i    |
| INDICE DE TABLA .....                                     | iv   |
| INDICE DE FIGURAS .....                                   | v    |
| LISTA DE SIMBOLOS .....                                   | viii |
| INTRODUCCIÓN.....   | 1    |
| I.  ANTECEDENTES .....                                    | 1    |
| 1.1.  Problemática .....                                  | 4    |
| 1.2.  Objetivos.....                                      | 4    |
| 1.3.  Alcance .....                                       | 5    |
| 1.4.  Metodología.....                                    | 6    |
| 1.5.  Estado del arte.....                                | 7    |
| II.  DISEÑO CONCEPTUAL .....                              | 34   |
| 2.1.  Requisitos .....                                    | 34   |
| III.  DISEÑO DEL SISTEMA MECATRONICO .....                | 48   |
| 3.1.  Posiciones de electroimán:.....                     | 49   |
| 3.2.  Soporte del electroimán: .....                      | 50   |
| 3.3.  Motor .....   | 66   |
| 3.4.  Zona de descarga .....                              | 69   |
| 3.5.  Selección de sensores fin de carrera mecánicos..... | 70   |
| 3.6.  Selección de sensor de peso.....                    | 72   |
| 3.7.  Selección de cámara.....                            | 73   |
| 3.8.  Selección de módulos de entrada y salida.....       | 75   |
| 3.9.  Diagrama de flujo .....                             | 80   |
| 3.10.  Solución Integrada .....                           | 84   |
| IV.  PLANOS Y COSTOS .....                                | 87   |
| 4.1.  PLANOS.....   | 87   |
| 4.2.  ESTIMACIÓN DE COSTO .....                           | 88   |
| V.  CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....                  | 90   |
| BIBLIOGRAFÍA.....   | 92   |
| ANEXOS  |      |
| ARQUITECTURA DE CONTROL                                   |      |
| LISTA DE SEÑALES  |      |
| PLANO DE CONTROL Y POTENCIA                               |      |
| PLANOS MECÁNICOS  |      |

## INDICE DE TABLA

|   |    |
|---|----|
| Tabla 1: Medidas estándares Electroimán Eriez.....                      | 21 |
| Tabla 2: Especificaciones del dinamómetro PCE-DDM 5wi .....             | 33 |
| Tabla 3: Requisitos del usuario.....                                    | 34 |
| Tabla 4: Requerimientos del proyecto .....                              | 35 |
| Tabla 5: Automatizar carga y descarga de metales.....                   | 36 |
| Tabla 6: Cuadro de Evaluación.....                                      | 36 |
| Tabla 7: Subfunciones del nivel 2 .....                                 | 37 |
| Tabla 8 Matriz morfológica del nivel 2 .....                            | 38 |
| Tabla 9 Soluciones del nivel 2.....                                     | 39 |
| Tabla 10 Cuadro de evaluaciones .....                                   | 40 |
| Tabla 11 Subfunciones del nivel 3 de trasladar electroimán.....         | 41 |
| Tabla 12 Subfunciones del nivel 3 de Verificar llenados de metales..... | 41 |
| Tabla 13 Subfunciones del nivel 3 de Interactuar con el usuario .....   | 41 |
| Tabla 14 Subfunciones del nivel 3 de Delimitar área .....               | 42 |
| Tabla 15 Matriz morfológica del nivel 3 .....                           | 43 |
| Tabla 16 Soluciones del nivel 2.....                                    | 44 |
| Tabla 17 Cuadro de evaluación .....                                     | 45 |
| Tabla 18 Árbol de funciones y medio.....                                | 46 |
| Tabla 19 Arquitectura del sistema mecatrónico.....                      | 47 |
| Tabla 20 Tiempo de uso de un ciclo del proceso de carga y descarga..... | 49 |
| Tabla 21 Longitudes de vigas .....                                      | 51 |
| Tabla 22 Presión limite.....  | 58 |
| Tabla 23 Tiempo de Operación Diario .....                               | 58 |
| Tabla 24 Velocidad de rotación .....                                    | 58 |
| Tabla 25 Viga testera serie MA .....                                    | 59 |
| Tabla 26 Viga testera serie MA .....                                    | 60 |
| Tabla 27 Especificaciones de Turnbuckle .....                           | 65 |
| Tabla 28 Grillete CL-36551-FAS.....                                     | 66 |
| Tabla 29 Medidas de dinamómetros.....                                   | 73 |
| Tabla 30 Especificaciones técnicas de cámara .....                      | 74 |
| Tabla 31 Información técnica de DI810 .....                             | 77 |
| Tabla 32 Información técnica del módulo AI820.....                      | 77 |

|   |    |
|---|----|
| Tabla 33 Información técnica del módulo DO810 .....           | 78 |
| Tabla 34: Costo de componentes eléctricos y electrónicos..... | 88 |
| Tabla 35 Costo de precio de mano de obra.....                 | 89 |
| Tabla 36 Costo de diseño.....                                 | 89 |
| Tabla 37 Costos totales.....                                  | 89 |

## INDICE DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 1: Estructura metálica.....              | 6  |
| Figura 2: Área de chancado .....                | 8  |
| Figura 3: Stockpile.....                        | 9  |
| Figura 4: Circuito de molienda.....             | 10 |
| Figura 5: Lixiviación .....                     | 11 |
| Figura 6: Área de chancado .....                | 14 |
| Figura 7: Área de molienda .....                | 15 |
| Figura 8: Área CCD.....                         | 15 |
| Figura 9: Circuito DETOX .....                  | 16 |
| Figura 10: Presa de relaves .....               | 16 |
| Figura 11: Merrill Crowe.....                   | 17 |
| Figura 12: Fundición .....                      | 17 |
| Figura 13: Apron feeder .....                   | 19 |
| Figura 14: Electroimán suspendido .....         | 19 |
| Figura 15: Funcionamiento del electroimán ..... | 20 |
| Figura 16: Electroimán .....                    | 22 |
| Figura 17: Sala de control.....                 | 23 |
| Figura 18: Arquitectura del DCS.....            | 24 |
| Figura 19; Estación RIO .....                   | 24 |
| Figura 20: Grúa monorraíl.....                  | 26 |
| Figura 21: Grúa Birriel .....                   | 28 |
| Figura 22: Polipasto monorraíl .....            | 28 |
| Figura 23: Tipo carro polipasto .....           | 28 |
| Figura 24: Tipo carro abierto.....              | 29 |
| Figura 25: Viga principal cargas bajas .....    | 29 |

|   |    |
|---|----|
| Figura 26: Viga principal cargas altas .....              | 29 |
| Figura 27: Viga testera .....                             | 30 |
| Figura 28: Celda de carga de compresión.....              | 31 |
| Figura 29: Celda de carga circular.....                   | 32 |
| Figura 30 Celda de carga tipo S.....                      | 32 |
| Figura 31 Principio de funcionamiento de dinamómetro..... | 33 |
| Figura 32 Dinamómetro.....                                | 33 |
| Figura 33 Bosquejo del diseño conceptual .....            | 48 |
| Figura 34 Posición de carga.....                          | 49 |
| Figura 35 Posición de descarga .....                      | 49 |
| Figura 36: Montaje de electroimán Eriez .....             | 50 |
| Figura 37 Estructura – vigas .....                        | 51 |
| Figura 38 Viga 3 .....                                    | 51 |
| Figura 39 DCL.....  | 52 |
| Figura 40 Diagrama de Cuerpo Libre .....                  | 52 |
| Figura 41 Diagrama de Fuerzas Cortantes.....              | 52 |
| Figura 42 Diagrama de Momento Flector.....                | 53 |
| Figura 43 Diagrama de Cuerpo Libre .....                  | 54 |
| Figura 44: Vista lateral de electroimán.....              | 54 |
| Figura 45 Diagrama de Cuerpo Libre .....                  | 54 |
| Figura 46 DCL.....  | 55 |
| Figura 47 Diagrama de Fuerzas Cortantes.....              | 55 |
| Figura 48 Diagrama de Momento Flector.....                | 56 |
| Figura 49 Sección Transversal de Viga testera.....        | 60 |
| Figura 50 Ruedas de Viga testera .....                    | 60 |
| Figura 51 Dimensiones de rueda de Viga testera.....       | 61 |
| Figura 52 Sección transversal de Riel A45.....            | 61 |
| Figura 53 Simulación de la estructura de traslación ..... | 62 |
| Figura 54 Simulación Von mises.....                       | 62 |
| Figura 55 Simulación de Desplazamiento .....              | 63 |
| Figura 56 Simulación de Factor de Seguridad.....          | 63 |
| Figura 57 Diagrama de Cuerpo Libre de electroimán.....    | 64 |
| Figura 58 Turnbuckle .....                                | 65 |
| Figura 59 Tipo de arranques de motores .....              | 67 |

|  |    |
|--|----|
| Figura 60 Variador Altivar 320 .....   | 68 |
| Figura 61 Chute de descarga.....   | 69 |
| Figura 62 Posición de los 2 sensores en sistema de traslación .....            | 70 |
| Figura 63 Posición del sensor en la puerta .....                               | 70 |
| Figura 64 Mecanismo del sensor en la puerta.....                               | 71 |
| Figura 65 Sensor palanca Telemecanique .....                                   | 71 |
| Figura 66 DCL electroimán .....  | 72 |
| Figura 67 Especificaciones técnica de dinamómetro.....                         | 72 |
| Figura 68 Cámara IP.....   | 73 |
| Figura 69 Dimensiones de cámara.....   | 75 |
| Figura 70 Cubierta protectora de cámara.....                                   | 75 |
| Figura 71 Esquema de controlador y dispositivos I/O.....                       | 76 |
| Figura 72 Módulo DI810.....  | 77 |
| Figura 73 Switch SPIDER.....   | 78 |
| Figura 74 Tablero de control .....   | 80 |
| Figura 75 Diagrama de flujo del tablero de control – operación manual.....     | 81 |
| Figura 76 Diagrama de flujo del tablero de control – operación Automática..... | 82 |
| Figura 77 Diagrama de flujo del tablero de control – operación remota .....    | 83 |
| Figura 78 Solución integral .....  | 84 |
| Figura 79 Sistema de traslación .....  | 85 |
| Figura 80 Sistema de seguridad – puerta.....                                   | 85 |
| Figura 81 Sistema de monitoreo .....   | 86 |
| Figura 82 Tablero de control en campo.....                                     | 87 |

**LISTA DE SIMBOLOS**

- F : Fuerza [N]  
F<sub>n</sub> : Fuerza normal a la superficie [N]  
P : Presión [N/mm<sup>2</sup>]  
T : Intervalo de muestreo [s]  
ω<sub>n</sub> : frecuencia natural [rad/s]



## INTRODUCCIÓN

Desde 1980 hasta la actualidad, el Perú se ha consolidado como un país minero, extrayendo gran cantidad de metales como plata, cobre y zinc<sup>1</sup> (INEI, 2022). Según las estadísticas del INEI, el país muestra oportunidades de desarrollo, considerando la disponibilidad de materia prima que se produce en el país.

El procesamiento de minerales se inicia con la extracción, ya sea en una mina subterránea o de tajo abierto, y termina, algunas veces, con la transformación del mineral en concentrado y en otros casos, mediante la fundición en bloques sólidos o barras del mineral procesado. De este modo, el proceso hacia el producto final trae consigo una serie de etapas: en primer lugar, en la etapa de chancado el mineral extraído de mina es alimentado generalmente mediante un Apron Feeder hacia una zaranda vibratoria que separa el material fino del grueso, este último es descargado hacia la chancadora para lograr el tamaño deseado del mineral (rocas) para el siguiente proceso; se continúa con el proceso de molienda, cuya finalidad es disminuir el tamaño del material mediante la molienda primaria y secundaria a partículas del orden de los 50 micrones; seguidamente el proceso de pre-lixiviación acondiciona la pulpa a la densidad requerida para lograr el tiempo de remanencia necesario en el proceso de lixiviación y se obtenga una recuperación promedio del mineral del 95%; durante el proceso de lixiviación los metales que se encuentran en estado sólido son convertidos a solución, por lo que, el objetivo del siguiente proceso es separar el sólido de la solución mediante espesadores y uso de floculantes; seguidamente los sólidos son bombeados como pulpa hacia la presa de relaves y,

---

<sup>1</sup> INEI. (2022). *Instituto Nacional de Estadística e Informática*. Obtenido de <https://m.inei.gob.pe/estadisticas/indice-tematico/mining1/>

la solución es pre clarificada mediante espesadores para ser enviada al siguiente proceso; en el proceso Merrill Crowe mediante el uso de elementos precipitadores el mineral que se encontraba en solución es convertido nuevamente a sólido y filtrado para obtener como producto el precipitado, el cual es posteriormente secado y enviado hacia la fundición, donde se obtiene como producto final las barras de los metales procesados que posteriormente son comercializados en los diferentes mercados internacionales.

Hoy en día, la automatización es una pieza clave para todo tipo de industrias, como menciona Jorge Luis Morales (2019) “Los procesos automatizados permiten eliminar errores humanos, reducir las pérdidas y el tiempo de las operaciones, logrando que los procesos se desarrollen de forma segura, disminuyendo los costos e incrementando la producción”<sup>2</sup>. La minería es un claro ejemplo de ello, con resultados palpables del aumento en producción, reducción de tiempos muertos y, sobre todo, aumentando la seguridad, evitando el riesgo que un trabajador sufra un accidente.

Las empresas mineras han automatizado en su gran mayoría el proceso; estas operan con controladores, instrumentos de campo, sistemas de control distribuidos (DCS), SCADA's, entre otros, donde desde uno o varios centros de control pueden realizar el control y monitoreo de toda la planta. Si bien la gran mayoría se encuentra integrado al sistema de control principal, existen algunas fases del proceso que funcionan como soluciones aisladas y aún no se encuentran integradas.

---

<sup>2</sup> Rumbo Minero. (7 de noviembre de 2019). *Automatización en minería: Control, Eficiencia e Integración en Operaciones*. Obtenido de <https://www.rumbominero.com/revista/informes/automatizacion-en-mineria-control-eficiencia-e-integracion-en-operaciones/>

Al proceso de chancado, llega el material y siempre trae consigo elementos considerados inchancables, resto de voladuras, brocas, alambres y demás objetos metálicos que, al ser trasladados mediante fajas transportadoras, producen cortes en el caucho y, algunas veces, los cortes atraviesan todo el espesor ocasionando daños mayores que detienen la producción por periodos prolongados de tiempo. Realizar la reparación, ya sea con grapas toma en promedio entre tres a cuatro horas y de ser necesario la realización de un nuevo empalme puede tomar entre uno o dos días. Por ello, se han implementado electroimanes que permiten extraer mediante su campo magnético, los objetos metálicos evitando así, futuros cortes en las bandas transportadoras. Además, es importante señalar que actualmente, el electroimán es descargado manualmente por los operadores, por lo que ellos tienen que estar visualizando constantemente si la cantidad de metales suspendidos es mayor a la debida para proceder con la descarga. En este sentido, la descarga no se realiza en el momento adecuado y esto ocasiona que los metales no se suspendan al electroimán, ya que el campo magnético ha disminuido por la acumulación de metales.

De este modo, el presente estudio tiene como objetivo automatizar el proceso de carga y descarga de metales en un electroimán. La investigación está compuesta por 5 capítulos: en el primero capítulo se presenta los antecedentes, en el segundo se desarrolla el diseño conceptual, en el tercero se diseña el sistema mecatrónico, en el cuarto los planos y costos y en el quinto las conclusiones y recomendaciones.

Finalmente, se concluye que el diseño de la máquina satisface el objetivo principal de automatizar el proceso de la carga y descarga de metales en el electroimán, a través de tres modos de operación: automático, remoto y local. El modo automático funciona, debido al lazo cerrado con el sensor de peso; el remoto se utiliza, si el supervisor de sala de control visualiza a través del video a tiempo real que brinda una cámara en campo, que se encuentra lleno el

electroimán y presionará un botón en su interfaz para proceder con la descarga; y el local se realiza cuando el operario visualiza en campo que el electroimán se necesita descargar y lo realiza a través de un tablero de control.

## **I. ANTECEDENTES**

El presente proyecto se centra en una planta de la industria minera en el proceso de chancado.

### **1.1.Problemática**

Actualmente, se tienen constante cortes y daños en las fajas transportadoras debido al paso de materiales inchancables (barretas, varillas, alambres, brocas de perforación, otros), que vienen con el mineral de interior mina. También, se tiene un electroimán a la salida del *apron feeder*; sin embargo, la descarga de los metales es de forma manual por parte de un operario, este tiene que ver cuando esté lleno y realizar la descarga. Muchas veces, existen gran cantidad de metales acumulados en el electroimán y debido a que el operador no se encuentra todo el tiempo en el lugar, no es percibido, lo cual ocasiona que la intensidad del campo magnético disminuya y no sea suficiente para seguir extrayendo todos los metales que pasan por el *apron feeder*. Es por ello la importancia de la descarga del electroimán a tiempo. De este modo, el alcance del presente proyecto abarca el rediseño de la estructura actual del sistema de traslación y la automatización del sistema.

### **1.2.Objetivos**

El objetivo principal de la presente tesis es: Automatizar el proceso de la carga y descarga de metales en el electroimán. A continuación, se presentan los objetivos específicos:

- Desarrollar el concepto de solución óptimo de acuerdo con la metodología de diseño.
- Diseñar los mecanismos y soporte del sistema, planos de ensamble y despiece de los elementos mecánicos.

- Diseñar los circuitos electrónicos y eléctricos.
- Elaborar el diagrama de flujo del funcionamiento del sistema.
- Estimar los costos involucrados en el proyecto.

### 1.3. Alcance

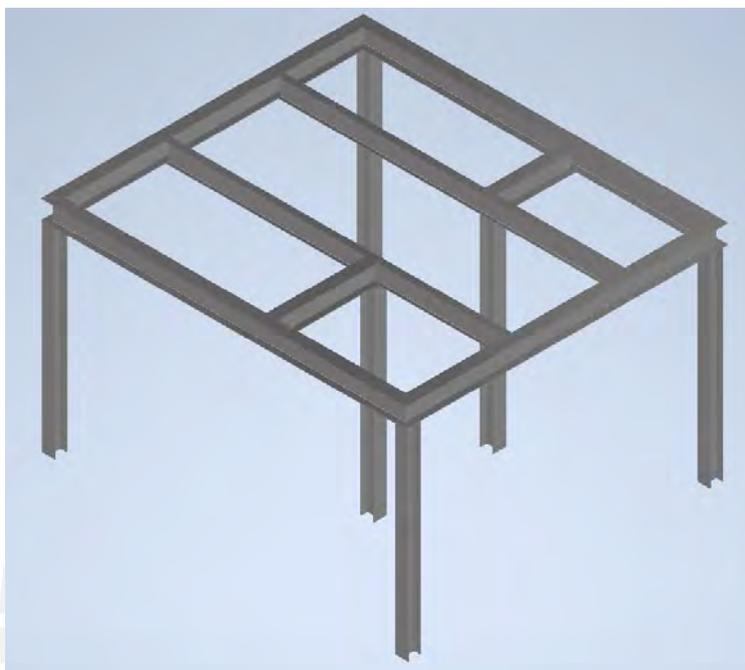
El presente trabajo tiene como alcance diseñar los mecanismos y soporte del sistema, así como la automatización del proceso. Para comprender mejor el alcance, se detallarán, a continuación, las fases anteriores:

El mineral extraído de mina es transportado hacia la tolva ROM, donde es alimentado mediante el *Apron Feeder* a una zaranda vibratoria de clasificación de finos, el material grueso va hacia la chancadora. Este mineral contiene metales que son utilizados principalmente en la perforación y sostenimiento del macizo rocoso, se mezclan con el mineral durante el proceso de voladura, son considerados inchancables debido a que no pueden ser reducidos de tamaño por la chancadora, ocasionando daños a la misma y aguas abajo a las fajas transportadoras. Estos daños van desde el deterioro del caucho de la superficie de la banda transportadora hasta ocasionar cortes longitudinales e incluso transversales. Es por este motivo que es de suma importancia retirar estos elementos inchancables antes de su ingreso a la chancadora. Para cumplir tal propósito se utiliza un electroimán que retira materiales ferrosos mediante la generación de un campo magnético que permite atraer los metales para posteriormente ser descargados por el operador.

En planta, se cuenta los siguientes equipos:

- 1.5 x 6 m *Heavy Duty Apron Feeder*
- Electroimán Eriez SE7930

- Además, se cuenta con la siguiente estructura la cual está diseñada para soportar hasta 20 toneladas en cada viga.



*Figura 1: Estructura metálica  
Fuente propia*

Toda la planta es monitoreada y controlada mediante el sistema de control principal, conformado por controladores dispuestos en arquitectura de un Sistema de Control Distribuido (DCS) y software de control System 800xA, en ambos casos de la marca ABB. En la zona del Apron Feeder se tiene disponible un RIO (Tablero de control de señales de entradas y salidas remotas), el cual está integrado mediante un bus de comunicación Profibus DP hacia el sistema de control principal y sus señales son monitoreadas en tiempo real desde sala de control.

#### **1.4. Metodología**

Para el desarrollo del presente proyecto, se ha realizado la siguiente metodología:

- Análisis del problema
- Visita a campo del problema
- Definir requerimientos del usuario

- Definir requerimiento del diseño
- Definir las funciones del sistema
- Se empleó la herramienta Árbol de Funciones y Medios (De Negri, Muñoz, & Vígolo, 2021) para realizar la matriz de soluciones y análisis técnico/económico.

### **1.5.Estado del arte**

Se abarcará el proceso completo de la planta beneficio, donde se procesa el mineral extraído desde el interior de mina, el *flowsheet* de cada área y proceso. Además, se realizará una investigación de los principales componentes y equipos como el *Apron Feeder* y el Electroimán. Así como la explicación del sistema de control que se tiene en la unidad minera y su arquitectura. Finalmente se presentará el estudio de los sensores de peso.

#### **1.5.1. Proceso de la planta beneficio**

De acuerdo con la empresa Compañía Minera Ares – UO Inmaculada, los procesos que conforman la planta de beneficio están dispuestos en un esquema convencional serie para la obtención del beneficio del mineral. Los diferentes procesos cumplen diferentes funciones como, la reducción del tamaño del mineral mediante chancado y molienda, disolución de metales preciosos (oro y plata) mediante la lixiviación en pulpa, separación sólido-líquido mediante la decantación en contra corriente, precipitación de los metales preciosos mediante el proceso de Merrill Crowe, fundición para la obtención de barras de dore y el proceso de destrucción de cianuro en pulpa y solución para devolver al medio ambiente el agua utilizada con los parámetros exigidos por las entidades fiscalizadoras (2015).

A continuación, se describen los procesos que intervienen en el beneficio del mineral:

- i. Chancado Primario y Fajas

El proceso de beneficio en planta inicia con el mineral proveniente de mina (ROM), el cual es transportado por camiones y alimentado hacia la tolva ROM de 100 toneladas de capacidad mediante un cargador frontal (FEL), a través de un grizzly estático de abertura cuadrada de 800mm se clasifica el mineral que ingresa hacia la chancadora. La chancadora de quijadas está diseñada para operar con una abertura del lado cerrado (CSS) de 100 mm y reducir el tamaño del mineral a un P80 de 115mm. Finalmente, el producto de la chancadora primaria es transportado 1.5km. mediante fajas transportadoras la pila del mineral chancado (stock pile) cercano al proceso de molienda como se puede observar en la Figura 2.



*Figura 2: Área de chancado  
Fuente propia*

## ii. Stock Pile

El stock pile tiene una capacidad de 10 mil toneladas. Tres alimentadores vibratorios extraen el mineral desde la base del stock pile de mineral chancado hacia la faja transportadoras, que alimenta al molino SAG, como se puede observar en la Figura 3.



Figura 3: Stockpile  
Fuente propia

### iii. Molienda

El circuito de molienda tiene una configuración estándar molino SAG – molino de bolas (SAB) con las instalaciones para que los pebbles retornen hacia la alimentación del molino SAG.

El mineral chancado es alimentado al molino SAG de 18' de diámetro por 14.6' a una ratio controlada. El molino SAG está equipado con una alimentación retráctil *spout/chute*, y la pulpa se descarga a través de la malla del trommel hacia el cajón de bombas de alimentación a los ciclones.

La pulpa combinada de las descargas de los molinos es bombeada a la batería de ciclones que opera en la configuración de circuito cerrado con el molino de bolas como se visualiza en la figura 4.

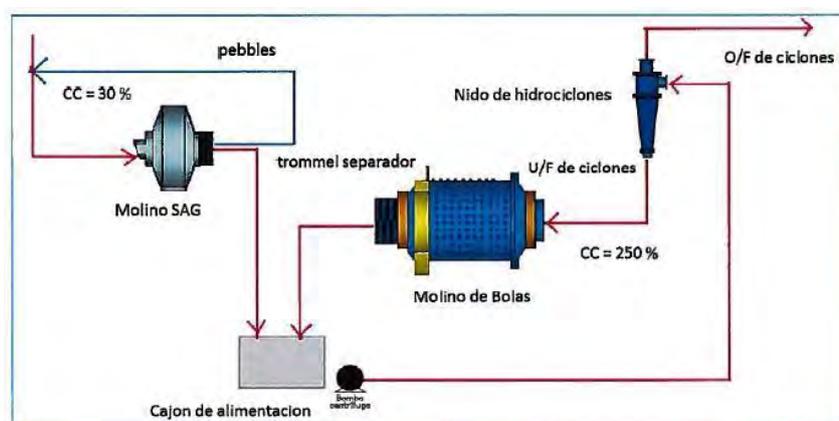


Figura 4: Circuito de molienda<sup>3</sup>

iv. Lixiviación

El *underflow* de los ciclones de molienda fluye por gravedad hacia la alimentación del molino de bolas y el *overflow* de los ciclones fluye por gravedad hacia la alimentación de la zaranda vibratoria de remoción de impurezas. La zaranda vibratoria de remoción de impurezas está equipada con paneles inclinados de abertura de 0.8 x 18 mm, y remueve las impurezas y partículas gruesas de la pulpa antes de ingresar al espesador de pre-lixiviación.

v. Lavado mediante decantación de solución en contracorriente (CCD)

La pulpa lixiviada pasa por un proceso de separación sólido-líquido, siendo los sólidos lixiviados dirigidos a la zona de relaves y la solución rica al pre-clarificador para luego ser enviada a los filtros de clarificación y posteriormente a los filtros de precipitados para recuperar los metales preciosos. El circuito de decantación en contra corriente (CCD) comprende de cuatro Espesadores de alta capacidad. La solución que rebosa de los espesadores CCD pasa al espesador de la etapa anterior (6 5 4 3 2 1), mientras que el *underflow* es bombeado al espesador de la etapa siguiente (1 2 3 4 5 6). Cada espesador CCD posee un cajón con agitador ubicado en la alimentación que es utilizado para realizar el mezclado de los flujos que son alimentados al espesador.

La solución barre del circuito de Merrill Crowe se utiliza como solución de lavado en el espesador CCD N° 4. La solución de lavado fluye en contracorriente al flujo de los sólidos, incrementando la concentración de metales preciosos a medida que pasa al espesador CCD N° 1. La pulpa del *underflow* espesada del espesador CCD N° 4 será bombeada al circuito de

---

<sup>3</sup> Inmaculada, Minera Ares - UO. (2015). MEMORIA DESCRIPTIVA DE LOS PROCESOS DE PLANTA.

destrucción de cianuro de relaves. La solución rica del primer espesador CCD llegará al preclarificador antes de pasar a Merrill Crowe.

Se añade floculante, diluido al 0.025% w/v con solución barren, a cada espesador CCD para ayudar a la separación sólido-líquido y se utiliza lechada de cal para mantener los niveles de pH en la pulpa. En la Figura 5 se visualiza los 4 tanques CCD y el preclarificador, y en la figura 8 se puede ver el *flowsheet* del área.



Figura 5: Lixiviación<sup>4</sup>

vi. Merrill Crowe

El *overflow* del pre-clarificador, fluye por gravedad hacia el tanque de solución no clarificada y es bombeado al circuito de filtros clarificadores. Se añade antiincrustante al tanque de solución no clarificada para prevenir de incrustaciones. Los filtros clarificadores de hojas a presión (3 en servicio y 1 en *stand-by*) reducen los TSS en la solución rica a un valor nominal de 3 ppm. Se adiciona tierra diatomea de manera controlada a la tubería de descarga de las bombas de alimentación del filtro para mantener la porosidad del cake en los filtros clarificadores. Asimismo, se utiliza tierra diatomea para la pre-capa de los filtros, antes del ingreso de la solución clarificada. El cake del filtro clarificador es descargado manualmente mediante una secuencia de retro lavado y limpieza usando solución barren hacia el sumidero

---

<sup>4</sup> Inmaculada, Minera Ares - UO. (2015). MEMORIA DESCRIPTIVA DE LOS PROCESOS DE PLANTA.

de lodos del filtro clarificador y, posteriormente, bombeado hacia el cajón de alimentación al espesador CCD N° 1. La solución rica clarificada es descargada a la torre de desaireación.

vii. Planta Doré

Después de la filtración de precipitado, el cake del filtro es desecado con aire de alta presión antes de su descarga. El cake recolectado de los filtros de precipitados (04 Filtros prensa) es cargado por el montacargas a un sistema de retorta de mercurio. Una vez que el cake está seco, se transfiere a la tolva de volteo. En la tolva de volteo, el producto del sistema de retorta de mercurio es mezclado con fundentes de fundición y cargado al horno de fundición. El precipitado es fundido y el doré es colado en lingotes.

La escoria de la fundición es recolectada, chancada y retornada al molino SAG manualmente, y los metales preciosos contenidos en la escoria son recuperados en el circuito de lixiviación.

El sistema de colección de polvo permite controlar la emisión de partículas en la tolva de volteo y el horno de fundición. El polvo colectado es retornado a la tolva de volteo. Esta planta cuenta con suficientes ventiladores para garantizar suficiente circulación de aire.

Una bomba sumidero de eje vertical en el área de la Planta Doré y los filtros de precipitación facilita la limpieza. Los derrames son bombeados al cajón de bombas de alimentación a los ciclones.

viii. Detoxificación de Relave

El circuito de destrucción del cianuro está diseñado para reducir el cianuro disociable en ácido débil, (CNWAD) a menos de 50 ppm. El circuito consta de 05 tanques agitadores para destrucción del cianuro con un tiempo de residencia de 2 horas.

La solución del *overflow* del espesador de relaves se envía a 02 tanques de solución para agregar Hipoclorito de Sodio y peróxido de hidrógeno el rebose de estos tanques se envía al

cajón de 8 m<sup>3</sup> antes del ingreso al espesador de relaves, lo cual permite degradar aún más el contenido de cianuro. También, se añade a la pulpa en el tanque 4 ácido de caro al igual que en el tanque 5 para luego culminar el tratamiento en el tanque 6. Para mantener el pH deseado, se dosifica cal al tanque en el tanque 6.

ix. Reactivo

En el procesamiento del mineral se utilizan una serie de reactivos para producir el doré (oro/plata) y son los siguientes:

- Cal (CaO)
- Floculante
- Metabisulfito de sodio
- Cianuro de sodio
- Polvo de zinc
- Entre otros

x. Planta de Relleno en Pasta

La planta de relleno será alimentada con relaves detoxificados con un contenido de sólidos de 42%, el cual es recepcionado en un tanque de 1400 m<sup>3</sup>, que sirve como retención de pulpa, el relave es enviado a un espesador de alta densidad, el cual densifica la pulpa hasta llegar a un 67% de sólidos en peso, a través de las bombas del U/F se envía la pulpa hacia un sistema de filtración para obtener una torta con un porcentaje de sólidos de 80%. Los relaves filtrados son mezclados con agua y cemento para lograr una pasta con un contenido de sólidos del 70% en peso. El cemento es dosificado en forma controlada a una tasa de 9.79 t/h (10% en peso seco). El relleno en pasta es bombeado y depositado en el interior de la mina subterránea (tajos) para restablecer la estabilidad del macizo rocoso.

La planta ha sido diseñada para producir pasta con una resistencia a la compresión unaxial (UCS) de 0.6 MPa a 14 días de curado en deposición. Se espera que la pasta producida presente un esfuerzo de corte (“*yield stress*”) de 142 Pa.

### 1.5.2. *Flow sheet* de la planta beneficio

A continuación, se presenta el *Flow sheet* de cada área de la planta beneficio de la Compañía Minera Ares, UO Inmaculada.

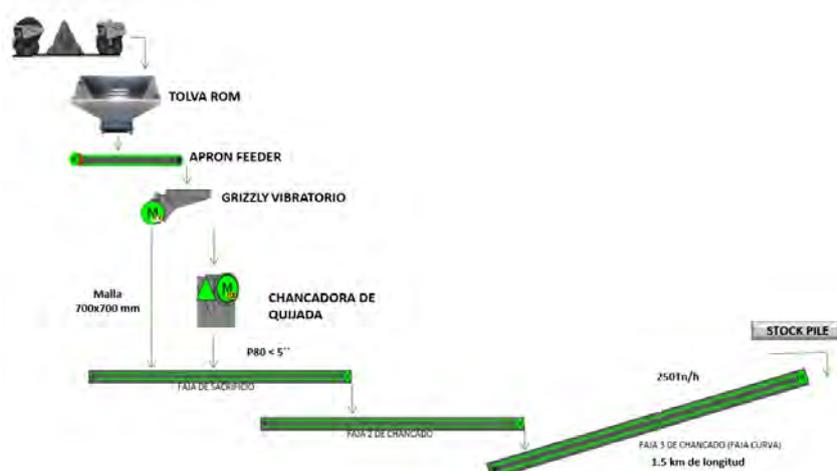


Figura 6: Área de chancado<sup>5</sup>

<sup>5</sup> Inmaculada, Minera Ares - UO. (2015). MEMORIA DESCRIPTIVA DE LOS PROCESOS DE PLANTA.

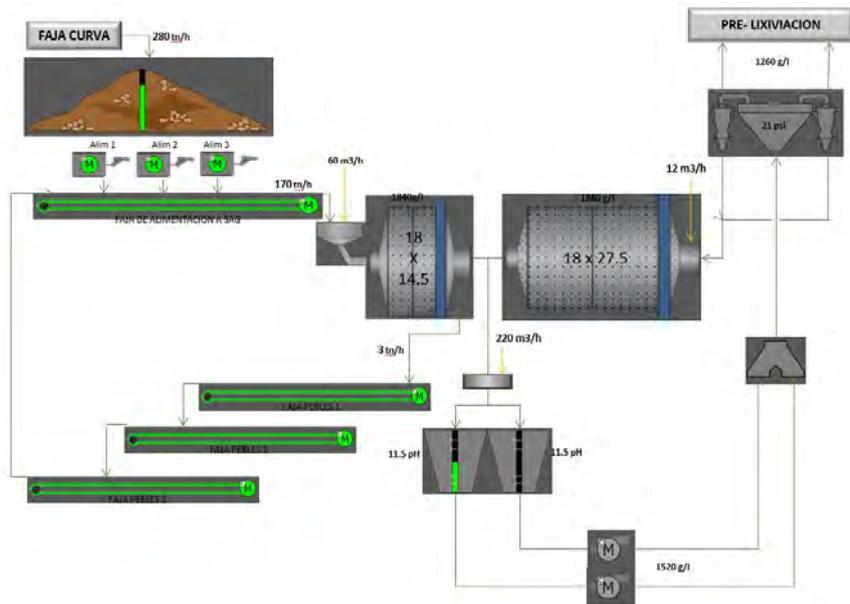


Figura 7: Área de molienda<sup>6</sup>

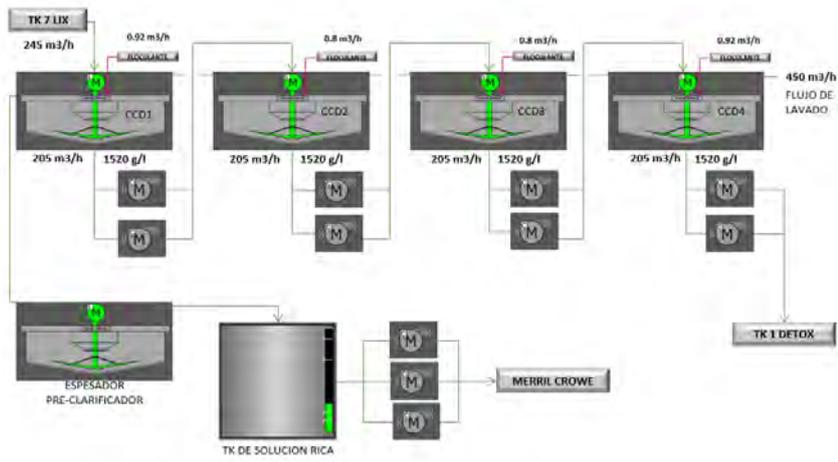


Figura 8: Área CCD<sup>7</sup>

<sup>6</sup> Inmaculada, Minera Ares - UO. (2015). MEMORIA DESCRIPTIVA DE LOS PROCESOS DE PLANTA.

<sup>7</sup> Inmaculada, Minera Ares - UO. (2015). MEMORIA DESCRIPTIVA DE LOS PROCESOS DE PLANTA.

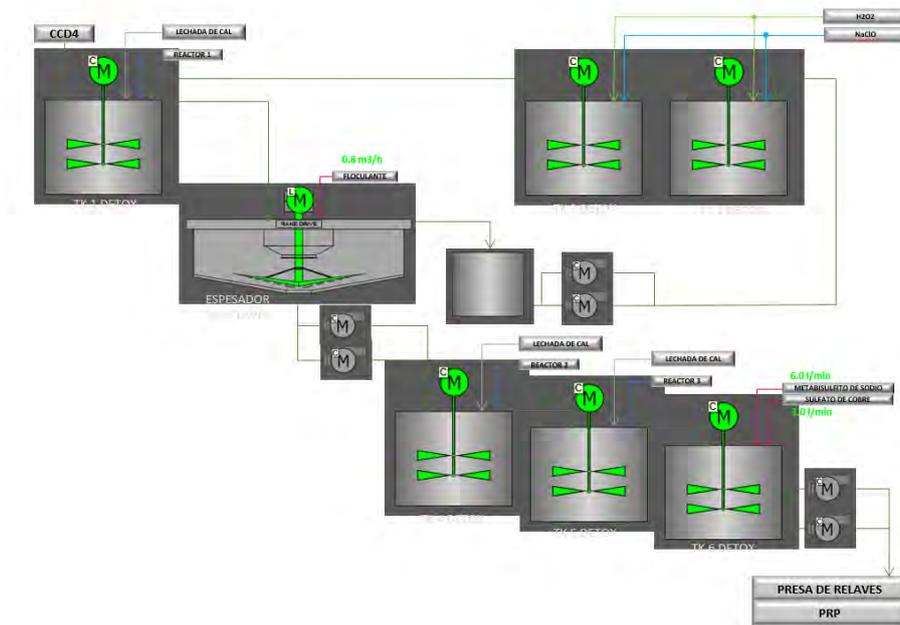


Figura 9: Circuito DETOX<sup>8</sup>

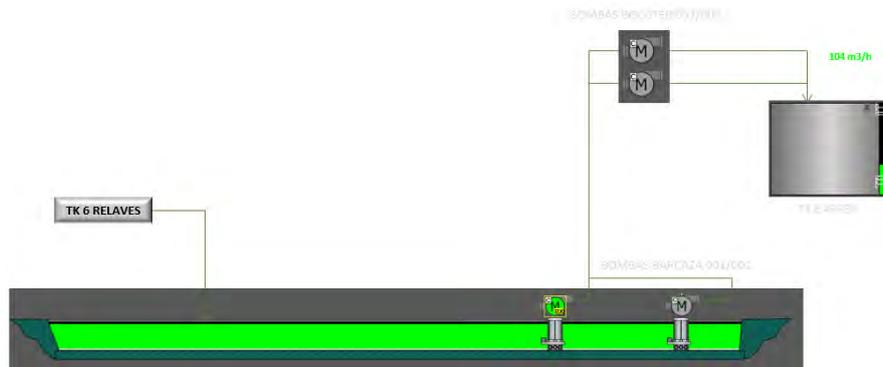


Figura 10: Presa de relaves<sup>9</sup>

<sup>8</sup> Inmaculada, Minera Ares - UO. (2015). MEMORIA DESCRIPTIVA DE LOS PROCESOS DE PLANTA.

<sup>9</sup> Inmaculada, Minera Ares - UO. (2015). MEMORIA DESCRIPTIVA DE LOS PROCESOS DE PLANTA.

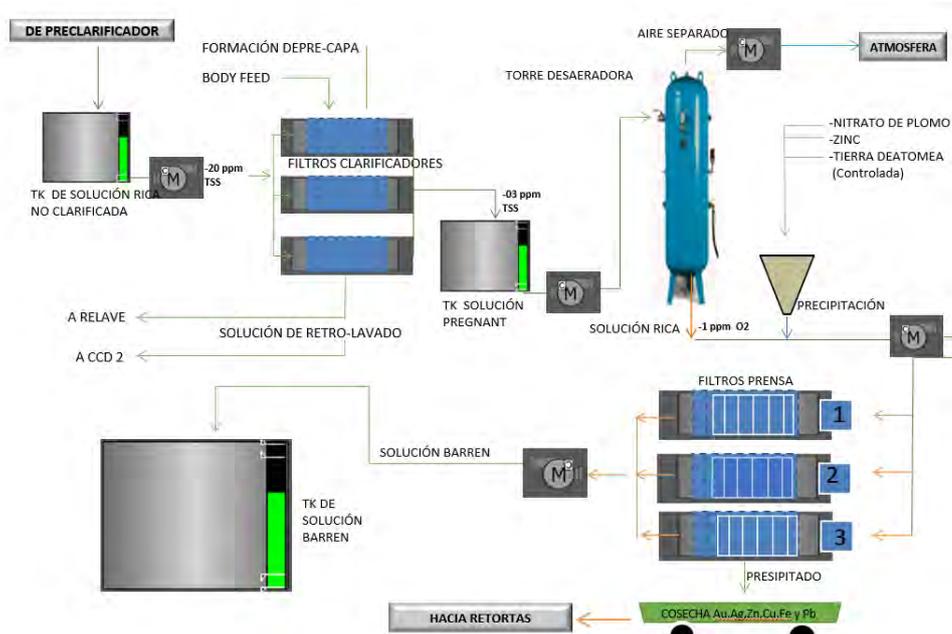


Figura 11: Merrill Crowe<sup>10</sup>

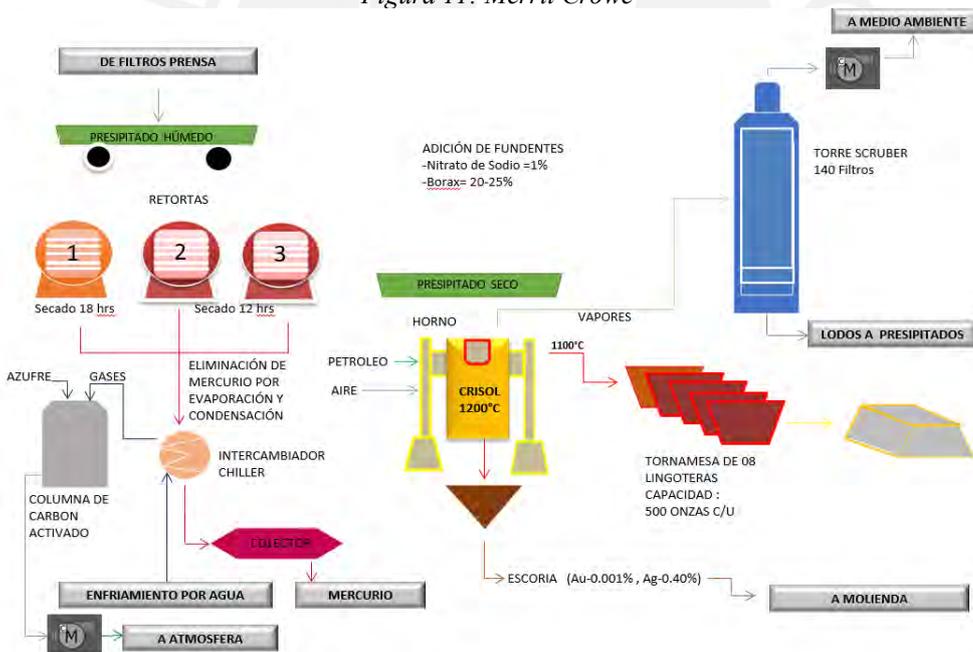


Figura 12: Fundición<sup>11</sup>

### 1.5.3. Características del apron feeder

<sup>10</sup> Inmaculada, Minera Ares - UO. (2015). MEMORIA DESCRIPTIVA DE LOS PROCESOS DE PLANTA.

<sup>11</sup> Inmaculada, Minera Ares - UO. (2015). MEMORIA DESCRIPTIVA DE LOS PROCESOS DE PLANTA.

El Apron Feeder es el encargado del transporte de materiales pesados y voluminosos como rocas, piedras, granza , los cuales son provenientes de los camiones que descargan a la tolva ROM.

Se puede controlar el volumen de los materiales regulando la velocidad del eje conductor,

Normalmente, se utilizan para distancias cortas y a velocidades muy bajas. Las bandejas transportadoras, el item de color verde en la figura 13, encargadas de soportar el impacto de la caída de las cargas, son de acero.

Elementos del *apron feeder*:

- motor eléctrico
- reductor
- eje principal
- sprocket
- rueda guía
- rodillos de carga
- cadena
- bandeja
- rodillos de carga
- cadena
- bandeja
- rodillos de retorno
- guarda de seguridad
- *pullcord*.

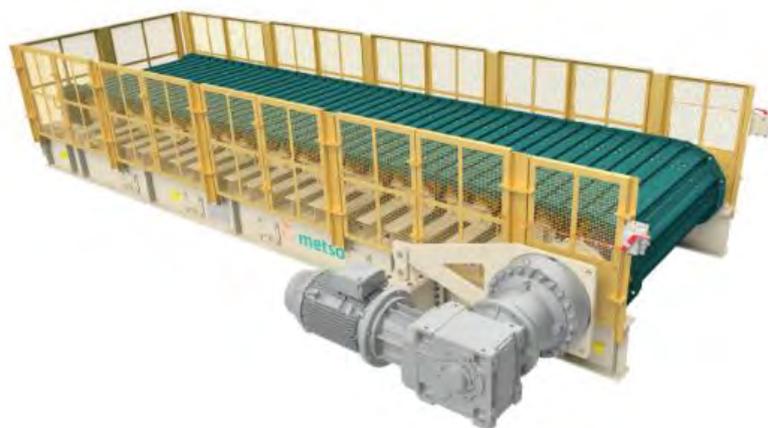


Figura 13: Apron feeder<sup>12</sup>

En la planta minera se cuenta con un 1.5 x 6 m *Heavy Duty Apron Feeder*

#### 1.5.4. Características del electroimán

Es un equipo encapsulado, en cuyo interior se encuentra una bobina, la cual genera un campo magnético capaz de extraer los materiales ferrosos. Cada electroimán es diseñado de acuerdo con los requerimientos del usuario y el faja transportadora o apron feeder a emplear. Como se puede observar en la figura 14, es necesario realizar un montaje adecuado para ubicarlo en la posición ideal respecto al transportador.



Figura 14: Electroimán suspendido<sup>13</sup>

<sup>12</sup> METSO. (s.f.). *Apron feeders*. Obtenido de <https://www.mogroup.com/products-and-services/plants-and-capital-equipment/feeders/apron-feeders/>

<sup>13</sup> ERIEZ. (s.f.). *ERIEZ - ELECTROIMÁN*. Obtenido de <https://www.eriez.com/>

Los factores que influyen en su funcionamiento son los siguientes:

- Velocidad de funcionamiento del *Apron Feeder* o faja transportadora:

Si se tiene mayor velocidad, va a ser más complicado la extracción de los metales por el electroimán.

- Altura de la cama de la carga:

Si la altura es mayor, va a ser más complicada la extracción de los minerales que se encuentren cerca de la banda transportadora; a mayor altura, se necesitará un campo magnético más potente.

- Tamaño y forma de los materiales ferrosos:

Si el objeto ferroso es más grande, el electroimán lo suspenderá de manera más rápida.

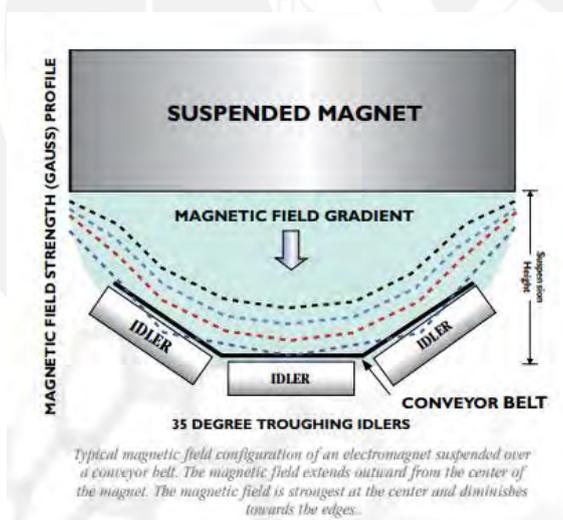


Figura 15: Funcionamiento del electroimán<sup>14</sup>

A continuación, se describirán las características del electroimán en planta, de acuerdo con el fabricante (ERIEZ, s.f.):

<sup>14</sup> ERIEZ. (s.f.). *ERIEZ - ELECTROIMÁN*. Obtenido de <https://www.eriez.com/>

- Cuenta con un sistema de refrigeración para bobina de cable clase H con circuito de disipación térmica que le asegura larga vida.
- El equipo posee un tanque de expansión que permite compensar la temperatura de la bobina, lo cual le permite trabajar a una temperatura moderada sin que afecte la eficiencia del campo magnético.
- El equipo consta de un rectificador de corriente modelo 15K42 con 15000watts, con una entrada de 460 voltios, 60 Hz, 3 fases, Nema 4.

El modelo que se tiene es el 7910<sup>a</sup>, en la tabla 1 se visualiza las dimensiones y potencia del equipo.

Tabla 1: Medidas estándares Electroimán Eriez<sup>15</sup>

| <b>STANDARD SIZES</b> |             |             |                       |              |
|-----------------------|-------------|-------------|-----------------------|--------------|
| <b>Models</b>         |             |             | <b>Box Dimensions</b> | <b>Watts</b> |
| <b>MC</b>             | <b>SC-1</b> | <b>SC-2</b> |                       |              |
| 7130                  | 7110        | 7120        | 24x24x13              | 1646         |
| 7135                  | 7115        | 7125        | 30x30x14              | 2400         |
| 7230                  | 7210        | 7220        | 30x30x17              | 2657         |
| 7235                  | 7215        | 7225        | 36x36x18              | 3600         |
| 7330                  | 7310        | 7320        | 36x36x20              | 3806         |
| 7333                  | 7313        | 7323        | 42x42x20              | 4800         |
| 7335                  | 7315        | 7325        | 42x42x21              | 4920         |
| 7338                  | 7318        | 7328        | 42x42x22              | 5040         |
| 7432                  | 7412        | 7422        | 48x48x22              | 6171         |
| 7435                  | 7415        | 7425        | 48x48x23              | 6308         |
| 7530                  | 7510        | 7520        | 48x48x25              | 6583         |
| 7535                  | 7515        | 7525        | 54x54x25              | 7868         |
| 7630                  | 7610        | 7620        | 54x54x27              | 8177         |
| 7635                  | 7615        | 7625        | 60x60x27              | 9600         |
| 7730                  | 7710        | 7720        | 60x60x29              | 9943         |
| 7732                  | 7712        | 7722        | 60x60x30              | 10144        |
| 7735                  | 7715        | 7725        | 66x66x31              | 11880        |
| 7737                  | 7717        | 7727        | 66x66x32              | 12069        |
| 7830                  | 7810A       | 7820A       | 66x66x33              | 12257        |
| 7835                  | 7815A       | 7825A       | 72x72x35              | 14400        |
| 7930                  | 7910A       | 7920A       | 72x72x37              | 14811        |
| 7935                  | 7915A       | 7925A       | 78x78x39              | 17160        |

<sup>15</sup> ERIEZ. (s.f.). ERIEZ - ELECTROIMÁN. Obtenido de <https://www.eriez.com/>



*Figura 16: Electroimán<sup>16</sup>*

### 1.5.5. Características del sistema de control

El Sistema de Control de la planta está conformado por un Sistema de Control Distribuido (DCS) conformado por controladores, servidores y estaciones de operación que corren bajo la plataforma *System 800xA* de ABB, este sistema monitorea y controla toda la planta de forma centralizada desde una sala de control. En la figura 17, se visualiza la interfaz de usuario del sistema, esta estación es operada por el supervisor de sala de control. Él es el encargado de supervisar que los equipos, controladores, sensores y demás componentes estén trabajando de manera adecuada dentro de los parámetros establecidos. Si alguno de ellos se encuentra en alerta o falla, comunica de manera inmediata al área de mantenimiento para corregir las desviaciones y/o fallas.

---

<sup>16</sup> ERIEZ. (s.f.). *ERIEZ - ELECTROIMÁN*. Obtenido de <https://www.eriez.com/>



Figura 17: Sala de control  
Fuente propia

### 1.5.5.1. Sistema de control distribuido (DCS)

Es un sistema de control automatizado, que se utiliza para controlar los procesos industriales y aumentar la fiabilidad, rentabilidad y seguridad.

El DCS funciona de tal manera que cada elemento de proceso es controlado por un controlador específico; es decir, los elementos de control no están solo en un punto, sino que están distribuidos de forma geográfica por toda la planta.

En la figura 18 se detalla la arquitectura del DCS, donde se tiene como el nivel inferior los dispositivos de campo, nivel intermedio los dispositivos de control y nivel más alto al computador (*WorkStation*).

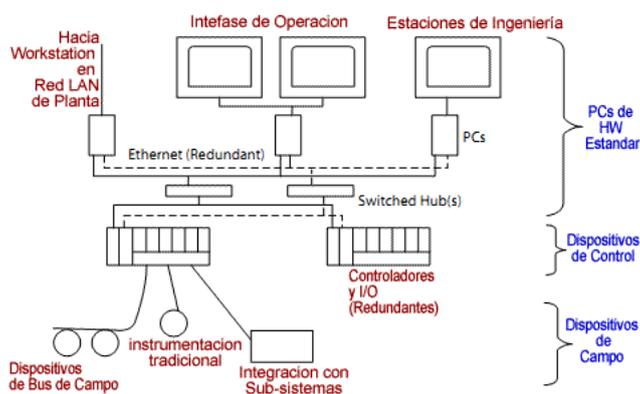


Figura 18: Arquitectura del DCS<sup>17</sup>

### **1.5.5.2.Redundancia**

Es la clave de la gran fiabilidad y robustez. Si por alguna razón el controlador no funciona, entra automáticamente a trabajar su repuesto, sin perjudicar el funcionamiento de los demás componentes. En planta, para los equipos críticos, siempre se tiene uno o más de uno en *stand by*.

### **1.5.5.3.RIO - Remote Input Output**

Es la estación encargada de centralizar todas las entradas y salidas analógicas, y digitales de campo (ver figura 19).



Figura 19; Estación RIO  
Fuente propia

---

<sup>17</sup> Instrumentacionycontrol. (2011). Obtenido de <https://instrumentacionycontrol.net/introduccion-a-la-arquitectura-de-un-dcs-conociendo-su-estructura-tipica/>

### **1.5.6. Características del puente grúa**

Es un tipo de grúa, que se utiliza en las industrias con el objetivo de alzar y trasladar cargas de gran volumen de modo horizontal y perpendicular, se integra de una pareja de carriles semejantes emplazados a una considerable altura encima de los fronterizos de un edificio con una viga, que se desplaza entre la dimensión entre ellas (figura 20 y figura 21).

Está compuesto por una viga puente, que al permanecer asentada sobre un juego de ruedas se puede mover en dirección longitudinal, circulando encima de unas vigas que trabajan como riel. Así mismo, sobre esta viga se encuentra un carro que proporciona el movimiento cruzado en forma horizontal, como trabaja con un polipasto permitiendo el ascenso. El carro descrito sostiene un polipasto, cuyo cableado de izamiento se descuelga entre ambas estructuras. El puente se traslada a través de los rieles en forma horizontal y perpendicular.

#### ***1.5.6.1. Tipos de puente grúa***

##### **i. Monorriel**

Es el más utilizado, funciona de una sola viga desplazándose por rieles aéreos ubicados en ambos costados y en un lateral un polipasto, este se desliza por debajo de la viga, especialmente trabaja en líneas de producción, ya que con el riel puede realizar recorridos curvos, rectilíneos o ambos, por donde se traslada el polipasto para elevar y trasladar el material con gran facilidad. Se caracteriza, porque se desplaza en la altura, venciendo cualquier inconveniente ubicado en el techo de la obra o encima del esqueleto metálico de fijación, utilizando el mínimo espacio. Este tipo de grúa reemplaza a las grúas y cintas transportadoras comunes. Las limitaciones son la longitud de la viga y su capacidad. Su objetivo es cambiar de

posición los materiales en un espacio limitado, su diseño es el más sencillo y puede ser armonizable con la estructura de la estación de trabajo sin exigencias de cambios importantes.

Frecuentemente se utiliza para fijarse sobre maquinaria y trabajar con líneas de producción, permitiendo el ahorro de recursos: espacio, tiempo y dinero. En la figura 20 se visualiza al monorriel con los siguientes componentes:

1. Polipasto
2. Conjunto de enchufe rápido
3. Reductor de elevación
4. Motor de elevación
5. Mando por radio



Figura 20: Grúa monorriel<sup>18</sup>

## ii. Grúa Birriel

Funciona de dos vigas desplazándose por rieles aéreos, se diseña según la norma FEM, DIN, ISO. Se utiliza generalmente para cargas a partir de 20 toneladas hasta 800 toneladas.

---

<sup>18</sup> PODEM. (s.f.). *Componentes para puentes grúa*. Obtenido de <http://www.dorance.biz/catalogos/Podem espanol.pdf>

De acuerdo a la figura 21 la grúa cuenta con los siguientes componentes:

6. Micros de final de carrera de traslación
7. Línea eléctrica
8. Reductor de elevación
9. Motor de elevación
10. Mando por radio
11. Contactores eléctricos
12. Limitador de sobrecarga
13. Testeros
14. Accionamiento para grúa



Figura 21: Grúa Birriel<sup>19</sup>

### 1.5.6.2. Componentes

- i. Mecanismo de elevación: Son los encargados de elevar la carga, pueden ser:
  - a. Tipo polipasto monorraíl (ver figura 22)
  - b. Tipo carro polipasto (ver figura 23)
  - c. Tipo carro abierto (ver figura 24)



Figura 22: Polipasto monorraíl



Figura 23: Tipo carro polipasto<sup>20</sup>

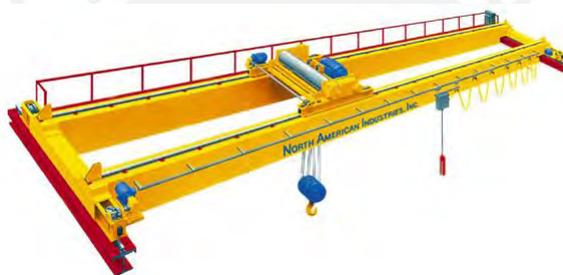
---

<sup>19</sup> PODEM. (s.f.). *Componentes para puentes grúa*. Obtenido de <http://www.dorance.biz/catalogos/Podemespanol.pdf>

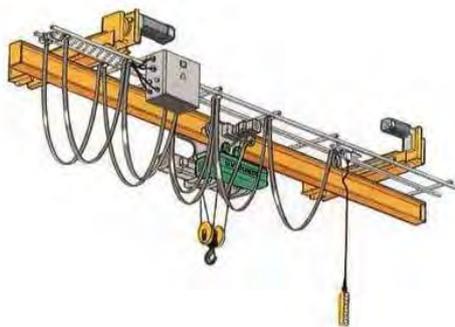


*Figura 24: Tipo carro abierto*

- ii. Viga principal: Es aquella viga donde recorre el polipasto. Y puede ser viga para cargas bajas y vigas para cargas altas.



*Figura 25: Viga principal cargas bajas<sup>21</sup>*



*Figura 26: Viga principal cargas altas<sup>22</sup>*

---

<sup>21</sup> gnc Calderería. (2016). QUÉ ES UN PUENTE GRÚA. Obtenido de <https://www.gnccaldereria.es/que-es-un-puente-grua/>

<sup>22</sup> gnc Calderería. (2016). QUÉ ES UN PUENTE GRÚA. Obtenido de <https://www.gnccaldereria.es/que-es-un-puente-grua/>

iii. Viga testera: Es la encargada de mover a la viga principal a lo largo de la rodadura.

Como se puede apreciar en la figura 27, con ella viene integrada el motor, mecanismo de reducción y las ruedas para que se desplace por el carril de la estructura.

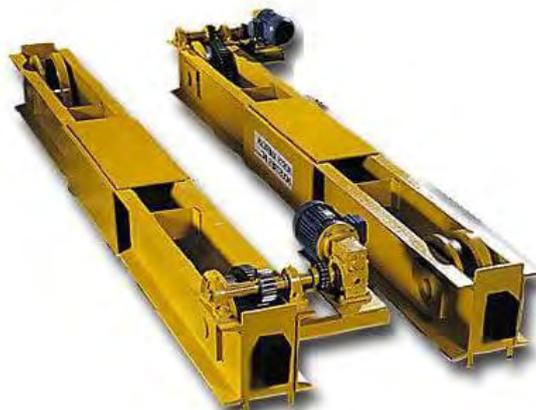


Figura 27: Viga testera<sup>23</sup>

### 1.5.7. Sensores de peso

#### 1.5.7.1. Celdas de carga

Es una estructura compacta, en su interior se encuentra una galga extensiométrica, la cual se deforma ya sea por fuerza de compresión y tensión. La variación produce una señal eléctrica que es interpretada por el usuario.

i. Celda de carga de compresión

Diseñadas para montaje sobre una superficie plana, cuenta con un botón de carga en su diseño como se puede visualizar en la figura 28. Tiene una capacidad desde 25 lb a 50 000lb.

A continuación, se detallan las especificaciones:

---

<sup>23</sup> gnc Calderería. (2016). *QUÉ ES UN PUENTE GRÚA*. Obtenido de <https://www.gnccaldereria.es/que-es-un-puente-grua/>

- Excitación: 10 Vcc (15 V máx.)
- Salida  $\leq 25$  lb/10 kgf: 2 mV/V  $\pm 0,25\%$
- Salida  $= 50$  lb/20 kgf: 3 mV/V  $\pm 0,25\%$

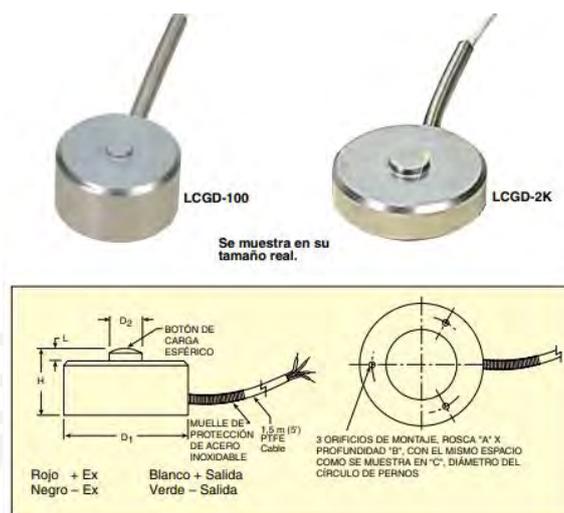


Figura 28: Celda de carga de compresión<sup>24</sup>

## ii. Celda de carga circulares

Se utilizan para sistemas de medición industrial y comerciales, proporcionan lectura precisa de la carga sin importar la posición de la carga sobre la plataforma. Tiene una capacidad desde 5 lb a 500 000lb.



<sup>24</sup> Omega. (s.f.). *Introducción a las celdas de carga*. Obtenido de <https://mx.omega.com/prodinfo/celdas-de-carga.html>

Figura 29: Celda de carga circular<sup>25</sup>

iii. Celda de carga tipo “S”

Como se puede observar en la figura 30 tiene forma de “S”, mayormente se utiliza para aplicaciones de tanque, tolva y bascula de vehículos pesados. Esta solo mide cargas de tracción y compresión en sus extremos, no mide cargas laterales. Tiene una capacidad desde 0 lb a 40 000lb.

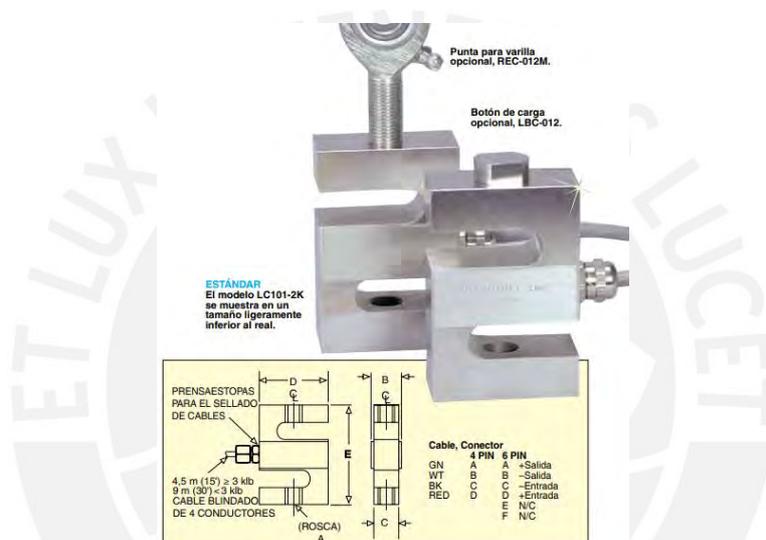


Figura 30 Celda de carga tipo S<sup>26</sup>

### 1.5.7.2. Dinamómetro

El dinamómetro tradicional fue inventado por Isacc Newton, su funcionamiento se basa al estiramiento del resorte que tiene en su interior. En la figura 31, representa las dos posiciones:

- cuando no se aplica una fuerza, el resorte se encuentra en su posición natural
- cuando se aplica una fuerza el resorte se encuentra deformado

<sup>25</sup> Omega. (s.f.). *Introducción a las celdas de carga*. Obtenido de <https://mx.omega.com/prodinfo/celdas-de-carga.html>

<sup>26</sup> Omega. (s.f.). *Introducción a las celdas de carga*. Obtenido de <https://mx.omega.com/prodinfo/celdas-de-carga.html>

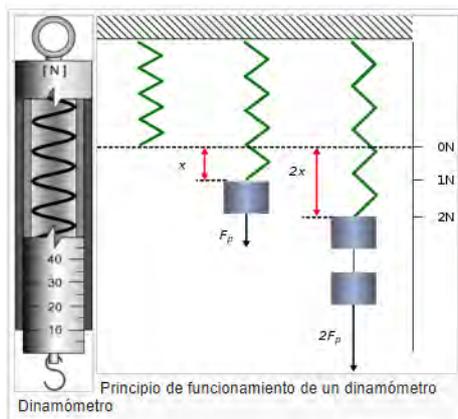


Figura 31 Principio de funcionamiento de dinamómetro<sup>27</sup>

i. Dinamómetro industrial

Dinamómetro con una construcción compacta y peso ligero, capaz de soportar fuerzas hasta 50 000 kg. Cuentan con certificación IP67 según IEC529.



Figura 32 Dinamómetro<sup>28</sup>

Tabla 2: Especificaciones del dinamómetro PCE-DDM 5wi<sup>29</sup>

<sup>27</sup> Wikipedia. (s.f.). *Dinamómetro*. Obtenido de <https://es.wikipedia.org/wiki/Dinam%C3%B3metro>

<sup>28</sup> PCE. (s.f.). *Dinamómetro de tracción PCE-DDM 5WI*. Obtenido de [https://www.pce-instruments.com/peru/instrumento-medida/medidor/dinamometro-pce-instruments-dinam\\_metro-de-tracci\\_n-pce-ddm-5wi-det\\_5899732.htm?\\_list=kat&\\_listpos=32](https://www.pce-instruments.com/peru/instrumento-medida/medidor/dinamometro-pce-instruments-dinam_metro-de-tracci_n-pce-ddm-5wi-det_5899732.htm?_list=kat&_listpos=32)

<sup>29</sup> PCE. (s.f.). *Dinamómetro de tracción PCE-DDM 5WI*. Obtenido de [https://www.pce-instruments.com/peru/instrumento-medida/medidor/dinamometro-pce-instruments-dinam\\_metro-de-tracci\\_n-pce-ddm-5wi-det\\_5899732.htm?\\_list=kat&\\_listpos=32](https://www.pce-instruments.com/peru/instrumento-medida/medidor/dinamometro-pce-instruments-dinam_metro-de-tracci_n-pce-ddm-5wi-det_5899732.htm?_list=kat&_listpos=32)

| Modelo     | Rango              | Resolución    | Peso mín. * | Peso  | Con grilletes |
|------------|--------------------|---------------|-------------|-------|---------------|
| PCE-DDM 3  | 3.000 kg / 30 kN   | 1kg / 10 N    | 10 kg       | 2 kg  | 5 kg          |
| PCE-DDM 5  | 5.000 kg / 50 kN   | 2 kg / 20 N   | 40 kg       | 3 kg  | 6 kg          |
| PCE-DDM 10 | 10.000 kg / 100 kN | 5 kg / 50 N   | 100 kg      | 11 kg | 25 kg         |
| PCE-DDM 20 | 20.000 kg / 200 kN | 10 kg / 100 N | 200 kg      | 18 kg | 49 kg         |
| PCE-DDM 50 | 50.000 kg / 500 kN | 20 kg / 200 N | 400 kg      | 39 kg | 128 kg        |

## II. DISEÑO CONCEPTUAL

En este capítulo se realizará la concepción de la idea solución, requisitos del usuario, requisitos del proyecto, descomposición funcional y síntesis de medios.

### 2.1.Requisitos

#### 2.1.1. Requisitos del usuario

Se han establecidos los siguientes requisitos del usuario, como se aprecia en la siguiente tabla:

*Tabla 3: Requisitos del usuario  
Fuente propia*

| Requerimiento     | Requisitos del usuario                                 |
|-------------------|--|
| Funcionalidad     | Descargar piezas metalicas                             |
|                   | Trasladar Electroiman                                  |
| Ergonomia         | Bajo Ruido   |
| Seguridad         | Normas de seguridad                                    |
|                   | Sin partes Expuestas                                   |
| Fiabilidad        | Confiability mayor al 80 %                             |
| Estadarización    | Que cumpla con los estandares de contaminacion en mina |
| Robustes          | Debe ser durable                                       |
|                   | Debe ser Robusto                                       |
| Impacto ambiental | Sin emisiones  |
| Manufatura        | Componentes estandares                                 |
| Mantenimiento     | Facil Acceso al manenimiento                           |
| Material          | Resistente bajas temperaturas                          |
| Automatización    | Sistema automatico, semiautomático y local             |
| Tiempo            | Rapida operación                                       |

#### 2.1.2. Requisitos del proyecto

Los requisitos del proyecto se componen de los requerimientos de usuario desarrollados en la Tabla 3. Para determinar estos requisitos se siguió la matriz del diseño mecatrónico, donde se determinó la importancia de cada requerimiento de usuario y se realizó la conversión a requisito de proyecto. Además, es importante definir el impacto que tiene cada requisito de

proyecto sobre los requerimientos que espera el cliente. La matriz usada se muestra en el Anexo A. Luego de asignar estos valores, la matriz brinda un valor apropiado a los requisitos de usuario además del tipo de requisito (exigencia o deseo). También, se tendrá que delimitar si se trata de un aspecto técnico, económico o ambos. El siguiente paso es determinar el valor de cada requisito y brindar un método de verificación. A continuación, se muestra un extracto de la matriz necesaria para definir la lista de exigencias.

Tabla 4: Requerimientos del proyecto  
Fuente propia

| Lista de Requerimientos                      |                 |               |               |                                   |   |   |
|--|-----------------|---------------|---------------|-----------------------------------|---|---|
| Requisito de diseño                          | Demanda o deseo | Peso absoluto | Peso relativo | Technical/Economic classification | Valores   | Método de Verificación                  |
| Interfaz de usuario intuitiva                | W               | 52            | 3             | T/E                               | Selecciones resaltadas y uso de colores para la interfaz                                      | Inspección visual                       |
| Material resistente al polvo                 | D               | 58            | 3             | T                                 | Grado de protección IP54  | Datasheet del material                  |
| Material resistente a la corrosión           | D               | 56            | 3             | E                                 | Material anticorrosivo  | Datasheet del material                  |
| Componentes robustos                         | D               | 63            | 4             | T                                 | Componentes de alta tenacidad   | Datasheet del material                  |
| Modo de operación manual disponible          | D               | 67            | 4             | T                                 | Design requirement E value  | Diseño y control desarrollado           |
| Alta precisión                               | D               | 58            | 3             | T                                 | El electroiman se debiera descargar cuando este lleno, su confiabilidad debe ser mayor al 80% | Inspección visual                       |
| Bordes sin filo                              | W               | 44            | 3             | T                                 | Sensado presencial  | Inspección visual                       |
| Facil Limpieza                               | D               | 57            | 3             | T                                 | Facil accesibilidad para realizar la limpieza del área  | Inspección visual                       |
| Resolución de cámara                         | W               | 37            | 2             | T                                 | "640 x 480 pixeles de resolución. Min 3.5 Mpx   | Datasheet del equipo                    |
| Limitar niveles de ruido                     | W               | 49            | 3             | T                                 | Menor a 60 dB   | Inspección auditiva                     |
| Aislamiento eléctrico (Grado de protección)  | D               | 51            | 3             | T                                 | Grado de proteccion IP56  | Datasheet del material                  |
| Carga maxima a transportar                   | D               | 65            | 4             | T                                 | 10 toneladas  | Diseño y datasheet                      |
| Recorrido maximo de transporte               | D               | 68            | 4             | T                                 | 3 metros  | Medición directa                        |
| Altura de operación adecuada para el usuario | W               | 44            | 3             | T                                 | Entre 85 y 110 cm   | Medición directa                        |
| Uso componentes estandarizados de la máquina | D               | 58            | 3             | T                                 | más del 50% de componentes sean estandarizados  | Selección de componentes                |
| Señaléticas de seguridad                     | W               | 44            | 3             | T/E                               | Señales de alta tensión, franjas de seguridad en el suelo, etc                                | Inspección visual                       |
| Elementos de seguridad                       | D               | 49            | 3             | T                                 | Sensado presencial  | Inspeccion visual y diseño desarrollado |

### 2.1.3. Descomposición funcional y síntesis de medios

Las funciones del sistema se representarán en un Árbol de Funciones y Medios siguiendo la metodología de diseño para sistemas mecatrónicos PUCP-UFSC (De Negri, Muñoz, & Vígolo, 2021). Dicho gráfico contará con 3 niveles que se detallarán a continuación.

### 2.1.3.1. Nivel 1

El sistema global es automatizar la carga y descargas de metales del electroimán, para el desarrollo de la función se tiene tres medios: un sistema de tres grados de libertad (x,y,z) capaz de transportar el electroimán, un brazo robótico y un sistema de un grado de libertad.

Tabla 5: Automatizar carga y descarga de metales  
Fuente propia



A través de la tabla de evaluación técnico-económica, se pudo determinar el medio que favorece más al sistema.

Tabla 6: Cuadro de Evaluación

| Cuadro de evaluación            |    |                                 |                     |                       |                     |                                 |                     |                       |                    |
|---------------------------------|----|---------------------------------|---------------------|-----------------------|---------------------|---------------------------------|---------------------|-----------------------|--------------------|
| Criterio de diseño              | j= | 1                               |                     | 2                     |                     | 3                               |                     | o                     |                    |
|                                 |    | Sistema de 3 grados de libertad |                     | Brazo robótico        |                     | Sistema de un grado de libertad |                     | Óptimo                |                    |
|                                 |    | W <sub>1</sub>                  | W <sub>21</sub> ·Wr | W <sub>2</sub>        | W <sub>22</sub> ·Wr | W <sub>3</sub>                  | W <sub>32</sub> ·Wr | W <sub>o</sub>        | W <sub>o</sub> ·Wr |
| <b>Análisis técnico</b>         |    |                                 |                     |                       |                     |                                 |                     |                       |                    |
| 1                               | 1  | 3                               | 3                   | 2                     | 6                   | 3                               | 9                   | 4                     | 12                 |
| 2                               | 1  | 3                               | 9                   | 3                     | 9                   | 3                               | 9                   | 4                     | 12                 |
| 3                               | 1  | 4                               | 12                  | 3                     | 12                  | 3                               | 12                  | 4                     | 16                 |
| 4                               | 1  | 4                               | 12                  | 3                     | 12                  | 3                               | 12                  | 4                     | 16                 |
| 5                               | 1  | 3                               | 9                   | 3                     | 9                   | 3                               | 9                   | 4                     | 12                 |
| 6                               | 1  | 3                               | 9                   | 3                     | 9                   | 3                               | 9                   | 4                     | 12                 |
| 7                               | 1  | 3                               | 9                   | 3                     | 9                   | 3                               | 9                   | 4                     | 12                 |
| 8                               | 1  | 2                               | 6                   | 3                     | 6                   | 3                               | 6                   | 4                     | 8                  |
| 9                               | 1  | 3                               | 9                   | 3                     | 9                   | 3                               | 9                   | 4                     | 12                 |
| 10                              | 1  | 3                               | 9                   | 3                     | 9                   | 3                               | 9                   | 4                     | 12                 |
| 11                              | 1  | 4                               | 12                  | 3                     | 12                  | 3                               | 12                  | 4                     | 16                 |
| 12                              | 1  | 4                               | 8                   | 2                     | 8                   | 3                               | 12                  | 4                     | 16                 |
| 13                              | 1  | 3                               | 9                   | 3                     | 9                   | 3                               | 9                   | 4                     | 12                 |
| 14                              | 1  | 3                               | 2                   | 2                     | 6                   | 3                               | 9                   | 4                     | 12                 |
| 15                              | 1  | 3                               | 2                   | 2                     | 6                   | 3                               | 9                   | 4                     | 12                 |
| <b>Valor técnico total</b>      |    | <b>T<sub>1</sub></b>            | <b>128</b>          | <b>T<sub>2</sub></b>  | <b>131</b>          | <b>T<sub>3</sub></b>            | <b>144</b>          | <b>T<sub>o</sub></b>  | <b>192</b>         |
| <b>Valor técnico relativo</b>   |    | <b>R<sub>t1</sub></b>           | <b>0.67</b>         | <b>R<sub>t2</sub></b> | <b>0.68</b>         | <b>R<sub>t3</sub></b>           | <b>0.75</b>         | <b>R<sub>to</sub></b> | <b>1.00</b>        |
| <b>Análisis Económico</b>       |    |                                 |                     |                       |                     |                                 |                     |                       |                    |
| 16                              | 1  | 3                               | 6                   | 2                     | 6                   | 2                               | 6                   | 4                     | 12                 |
| 17                              | 1  | 3                               | 6                   | 1                     | 3                   | 2                               | 6                   | 4                     | 12                 |
| 18                              | 1  | 3                               | 6                   | 2                     | 6                   | 2                               | 6                   | 4                     | 12                 |
| <b>Valor económico total</b>    |    | <b>T<sub>e1</sub></b>           | <b>18</b>           | <b>T<sub>e2</sub></b> | <b>15</b>           | <b>T<sub>e3</sub></b>           | <b>18</b>           | <b>T<sub>eo</sub></b> | <b>36</b>          |
| <b>Valor económico relativo</b> |    | <b>R<sub>e1</sub></b>           | <b>0.50</b>         | <b>R<sub>e2</sub></b> | <b>0.42</b>         | <b>R<sub>e3</sub></b>           | <b>0.50</b>         | <b>R<sub>eo</sub></b> | <b>1.00</b>        |
| <b>Calificación hiperbólica</b> |    | <b>H<sub>1</sub></b>            | <b>0.58</b>         | <b>H<sub>2</sub></b>  | <b>0.53</b>         | <b>H<sub>3</sub></b>            | <b>0.61</b>         | <b>H<sub>o</sub></b>  | <b>1.00</b>        |

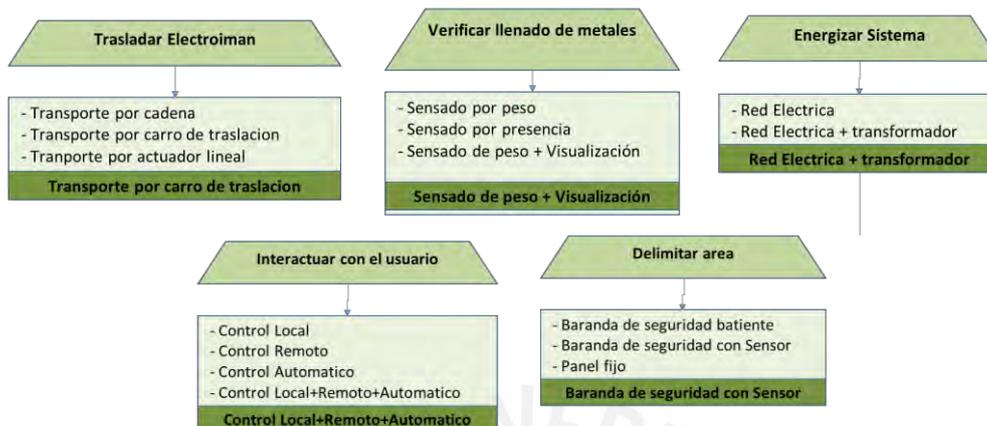
Fuente propia

El sistema de un grado libertad es el medio ganador. En los siguientes niveles se detallarán las funciones necesarias para realizar dicha función.

### 2.1.3.2. Nivel 2

En el segundo nivel, se cuenta con 5 subfunciones que parten de la función global anteriormente seleccionada, como se puede visualizar en Tabla 7.

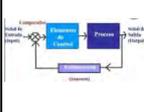
Tabla 7: Subfunciones del nivel 2



Fuente propia

- Interactuar con el usuario: Se describe y se elige la manera en la que el usuario va a interactuar con el sistema.
- Trasladar el electroimán: en esta función se elegirá el medio por el cual se transportará el electroimán.
- Verificar llenado de metales: esta función permite saber si el electroimán se encuentra lleno de metales para su posterior descarga.
- Energizar el sistema: permite elegir el medio para brindar energía al sistema
- Delimitar el área: Esta función permite brindar seguridad y delimitar el área de trabajo del sistema para que las personas no puedan acceder.

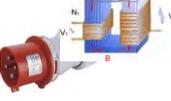
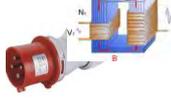
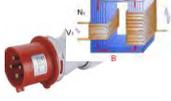
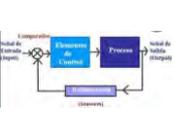
Tabla 8 Matriz morfológica del nivel 2

| Función                      | Principio de funcionamiento<br>o 1   | Principio de funcionamiento<br>o 2  | Principio de funcionamiento<br>o 3   | Principio de funcionamiento<br>o 4   |
|------------------------------|--|---|--|--|
| Trasladar Electroiman        | <br>Transporte por cadena           | <br>Transporte por carro de traslación | <br>Transporte por actuador lineal  |  |
| Verificar llenado de metales | <br>Sensado por peso                | <br>Sensado por presencia              | <br>Sensado de peso + Visualización |  |
| Energizar Sistema            | <br>Red Electrica                   | <br>Red Electrica + transformador      |  |  |
| Interactuar con el usuario   | <br>Control Local                 | <br>Control Remoto                    | <br>Control Automatico            | <br>Control Local+Remoto+ Automatico |
| Delimitar area               | <br>Baranda de seguridad batiente | <br>Baranda de seguridad con Sensor  | <br>Panel fijo                    |  |

Fuente propia

Para determinar los medios óptimos, se establecieron tres posibles soluciones que resultaron de intercalar los medios de cada función del nivel 2. A continuación, se muestra el intercalado de los medios y en la Tabla 9 se muestra la Matriz Morfológica del nivel 2 con las posibles soluciones para este nivel.

Tabla 9 Soluciones del nivel 2

|                     | Solución 1  | Solución 2  | Solución 3   |
|---------------------|---|---|--|
| Posibles Soluciones | <br>Transporte por carro de traslación | <br>Tranporte por actuador lineal  | <br>Tranporte por actuador lineal  |
|                     | <br>Sensado de peso + Visualización    | <br>Sensado por peso               | <br>Sensado por presencia          |
|                     | <br>Red Electrica + transformador     | <br>Red Electrica + transformador | <br>Red Electrica + transformador |
|                     | <br>Control Local+Remoto+ Automatico | <br>Control Local                | <br>Control Automatico           |
|                     | <br>Baranda de seguridad con Sensor  | <br>Panel fijo                   | <br>Panel fijo                   |

Fuente propia

A través de la tabla técnico-económica se determinó la solución óptima como se muestra en la Tabla 10

Tabla 10 Cuadro de evaluaciones

| Criterio de diseño              |  | Cuadro de evaluación |                                  |                     |                                  |                     |                                  |                     |                                  |    |
|---------------------------------|--|----------------------|----------------------------------|---------------------|----------------------------------|---------------------|----------------------------------|---------------------|----------------------------------|----|
|                                 |  | 1                    |                                  | 2                   |                                  | 3                   |                                  | ó                   |                                  |    |
|                                 |  | Solución 1           |                                  | Solución 2          |                                  | Solución 3          |                                  | Óptimo              |                                  |    |
| W <sub>r</sub>                  |  | W <sub>1,1</sub>     | W <sub>2,1</sub> ·W <sub>r</sub> | W <sub>1,2</sub>    | W <sub>2,2</sub> ·W <sub>r</sub> | W <sub>1,3</sub>    | W <sub>2,3</sub> ·W <sub>r</sub> | W <sub>1,ó</sub>    | W <sub>2,ó</sub> ·W <sub>r</sub> |    |
| <b>Análisis Técnico</b>         |  |                      |                                  |                     |                                  |                     |                                  |                     |                                  |    |
| í                               | Interfaz de usuario intuitiva                | 3                    | 3                                | 9                   | 3                                | 9                   | 3                                | 9                   | 4                                | 12 |
| í                               | Material resistente al polvo                 | 3                    | 3                                | 9                   | 3                                | 9                   | 3                                | 9                   | 4                                | 12 |
| í                               | Componentes robustos                         | 4                    | 3                                | 12                  | 1                                | 4                   | 1                                | 4                   | 4                                | 16 |
| í                               | Modo de operación manual disponible          | 4                    | 3                                | 12                  | 3                                | 12                  | 3                                | 12                  | 4                                | 16 |
| í                               | Alta precisión                               | 3                    | 3                                | 9                   | 2                                | 6                   | 1                                | 3                   | 4                                | 12 |
| í                               | Bordes sin filo                              | 3                    | 3                                | 9                   | 3                                | 9                   | 3                                | 9                   | 4                                | 12 |
| í                               | Facil Limpieza                               | 3                    | 3                                | 9                   | 3                                | 9                   | 3                                | 9                   | 4                                | 12 |
| í                               | Resolución de cámara                         | 2                    | 3                                | 6                   | 1                                | 2                   | 1                                | 2                   | 4                                | 8  |
| í                               | Limitar niveles de ruido                     | 3                    | 3                                | 9                   | 3                                | 9                   | 3                                | 9                   | 4                                | 12 |
| í                               | Aislamiento eléctrico (Grado de protección)  | 3                    | 3                                | 9                   | 3                                | 9                   | 3                                | 9                   | 4                                | 12 |
| í                               | Carga máxima a transportar                   | 4                    | 3                                | 12                  | 2                                | 8                   | 2                                | 8                   | 4                                | 16 |
| í                               | Recorrido máximo de transporte               | 4                    | 3                                | 12                  | 3                                | 12                  | 3                                | 12                  | 4                                | 16 |
| í                               | Altura de operación adecuada para el usuario | 3                    | 3                                | 9                   | 3                                | 9                   | 3                                | 9                   | 4                                | 12 |
| í                               | Uso componentes estandarizados de la máquina | 3                    | 3                                | 9                   | 3                                | 9                   | 3                                | 9                   | 4                                | 12 |
| í                               | Señaléticas de seguridad                     | 3                    | 3                                | 9                   | 3                                | 9                   | 3                                | 9                   | 4                                | 12 |
| <b>Valor técnico total</b>      |  | T <sub>1</sub> 144   |                                  | T <sub>2</sub> 125  |                                  | T <sub>3</sub> 122  |                                  | T <sub>ó</sub> 192  |                                  |    |
| <b>Valor técnico relativo</b>   |  | R <sub>1</sub> 0.75  |                                  | R <sub>2</sub> 0.65 |                                  | R <sub>3</sub> 0.64 |                                  | R <sub>ó</sub> 1.00 |                                  |    |
| <b>Análisis Económico</b>       |  |                      |                                  |                     |                                  |                     |                                  |                     |                                  |    |
| í                               | Interfaz de usuario intuitiva                | 3                    | 3                                | 9                   | 3                                | 9                   | 3                                | 9                   | 4                                | 12 |
| í                               | Material resistente a la corrosión           | 3                    | 3                                | 9                   | 3                                | 9                   | 3                                | 9                   | 4                                | 12 |
| í                               | Señaléticas de seguridad                     | 3                    | 3                                | 9                   | 3                                | 9                   | 3                                | 9                   | 4                                | 12 |
| <b>Valor económico total</b>    |  | T <sub>1</sub> 27    |                                  | T <sub>2</sub> 27   |                                  | T <sub>3</sub> 27   |                                  | T <sub>ó</sub> 36   |                                  |    |
| <b>Valor económico relativo</b> |  | R <sub>1</sub> 0.75  |                                  | R <sub>2</sub> 0.75 |                                  | R <sub>3</sub> 0.75 |                                  | R <sub>ó</sub> 1.00 |                                  |    |
| <b>Calificación hiperbólica</b> |  | H <sub>1</sub> 0.75  |                                  | H <sub>2</sub> 0.70 |                                  | H <sub>3</sub> 0.69 |                                  | H <sub>ó</sub> 1.00 |                                  |    |

Fuente propia

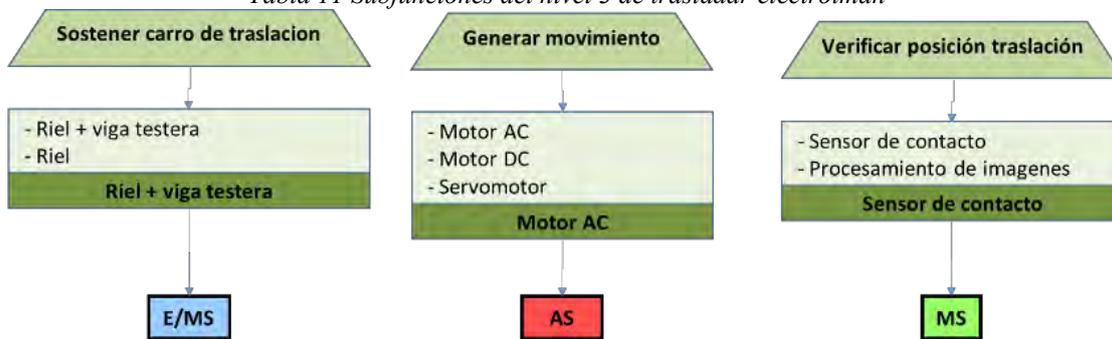
En la Tabla 10, se observa de que la Solución 1 tiene un mejor cumplimiento de los requerimientos del proyecto, es por ello que será la solución elegida.

### 2.1.3.3. Nivel 3

Luego de determinar los medios óptimos del nivel 2, se establecen las subfunciones de cada medio, dando como resultado componentes específicos que deberá tener nuestro diseño conceptual.

En la Tabla 11, tenemos las subfunciones correspondientes a la subfunción “Trasladar electroimán” del nivel 2. Estas subfunciones nos permiten realizar el traslado del punto de carga al punto de descarga y viceversa.

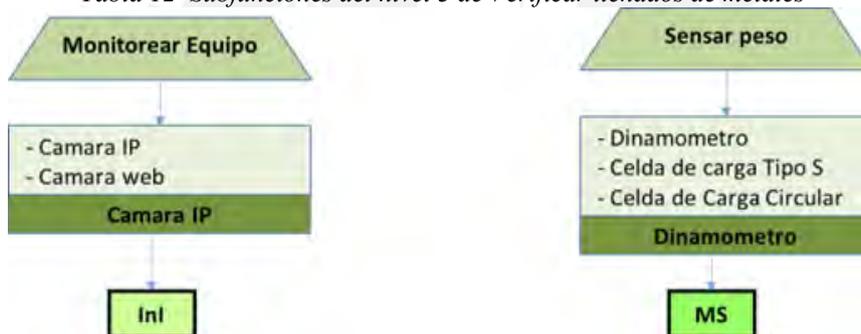
Tabla 11 Subfunciones del nivel 3 de trasladar electroimán



Fuente propia

En la Tabla 12, tenemos las subfunciones correspondientes a la subfunción “Verificar llenado de metales” del nivel 2. Estas subfunciones nos permiten realizar la verificación si el electroimán se encuentra cargado de metales para su posterior descarga.

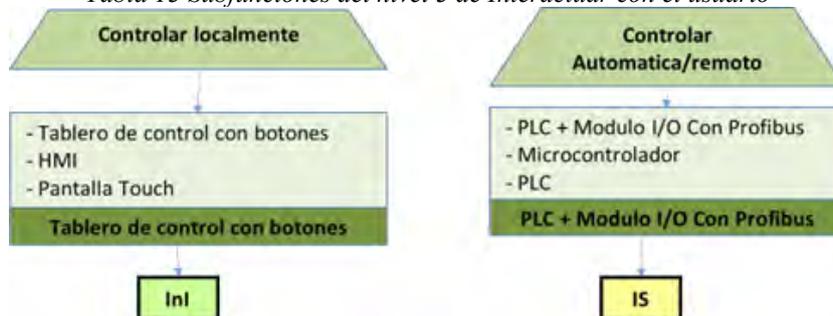
Tabla 12 Subfunciones del nivel 3 de Verificar llenados de metales



Fuente propia

En la Tabla 13, tenemos las subfunciones correspondientes a la subfunción “Interactuar con el usuario” del nivel 2. Estas subfunciones nos permitirán realizar los controles del sistema.

Tabla 13 Subfunciones del nivel 3 de Interactuar con el usuario



Fuente propia

En la Tabla 14, tenemos las subfunciones correspondientes a la subfunción “Delimitar área” del nivel 2. Estas subfunciones nos permiten realizar la verificación, si su delimitación se encuentra correcta o alguien se encuentra dentro del área, si sucede lo último descrito, el sistema debería detenerse para evitar accidentes.

Tabla 14 Subfunciones del nivel 3 de Delimitar área



Fuente propia

Para determinar los medios óptimos, se establecieron tres posibles soluciones que resultaron de intercalar los medios de cada función del nivel 3. A continuación, se muestra el intercalado de los medios y en la Tabla 15 se muestra la matriz morfológica con las posibles soluciones para este nivel.

Tabla 15 Matriz morfológica del nivel 3

| Función                       | Principio de funcionamiento   | Principio de funcionamiento   | Principio de funcionamiento   |
|-------------------------------|---|---|---|
|                               | 1   | 2   | 3   |
| Verificar puerta cerrada      | <br>Sensor de presencia            | <br>Sensor de contacto           | <br>Sensor fotoeléctrico      |
| Asegurar ingreso              | <br>Baranda con tubo circular      | <br>Baranda con tubo rectangular | <br>Baranda tipo rejilla      |
| Controlar localmente          | <br>Tablero de control con botones | <br>HMI                          | <br>Pantalla Touch            |
| Controlar Automática/remoto   | <br>PLC + Modulo I/O Con Profibus | <br>Microcontrolador            | <br>PLC                      |
| Monitorrear Equipo            | <br>Camara IP                    | <br>Camara web                 |   |
| Sensar peso                   | <br>Dinamometro                  | <br>Celda de carga Tipo S      | <br>Celda de Carga Circular |
| Sostener carro de traslación  | <br>Riel + viga testera          | <br>Riel                       |   |
| Generar movimiento            | <br>Motor AC                     | <br>Motor DC                   | <br>Servomotor              |
| Verificar posición traslación | <br>Sensor de contacto           | <br>Procesamiento de imagenes  |   |

Fuente propia

Tabla 16 Soluciones del nivel 2

|                     | Solución 1   | Solución 2  | Solución 3  |
|---------------------|--|---|---|
|                     | <br>Sensor de contacto            | <br>Sensor de presencia          | <br>Sensor de presencia          |
|                     | <br>Baranda con tubo circular     | <br>Baranda con tubo rectangular | <br>Baranda con tubo rectangular |
|                     | <br>Tablero de control            | <br>Tablero de control           | <br>HMI                          |
|                     | <br>PLC + Modulo I/O Con Profibus | <br>PLC                          | <br>PLC                          |
| Posibles Soluciones | <br>Camara IP                    | <br>Camara IP                   | <br>Camara IP                   |
|                     | <br>Dinamometro                 | <br>Celda de carga Tipo S      | <br>Celda de Carga Circular    |
|                     | <br>Riel + viga testera         | <br>Riel + viga testera        | <br>Riel + viga testera        |
|                     | <br>Motor AC                    | <br>Motor AC                   | <br>Motor AC                   |
|                     | <br>Sensor de contacto          | <br>Sensor de contacto         | <br>Sensor de contacto         |

Fuente propia

Tabla 17 Cuadro de evaluación

| Cuadro de Evaluación            |  |                 |                                 |                 |                                 |                 |                                 |                |                                |             |
|---------------------------------|--|-----------------|---------------------------------|-----------------|---------------------------------|-----------------|---------------------------------|----------------|--------------------------------|-------------|
| Criterio de Diseño              | j=   | 1               |                                 | 2               |                                 | 3               |                                 | o              |                                |             |
|                                 | W <sub>r</sub>                               | Solución 1      |                                 | Solución 2      |                                 | Solución 3      |                                 | Óptimo         |                                |             |
|                                 |  | W <sub>s1</sub> | W <sub>s1</sub> ·W <sub>r</sub> | W <sub>s2</sub> | W <sub>s2</sub> ·W <sub>r</sub> | W <sub>s3</sub> | W <sub>s3</sub> ·W <sub>r</sub> | W <sub>o</sub> | W <sub>o</sub> ·W <sub>r</sub> |             |
| <b>Análisis Técnico</b>         |  |                 |                                 |                 |                                 |                 |                                 |                |                                |             |
| 1                               | Interfaz de usuario intuitiva                | 3               | 3                               | 9               | 3                               | 9               | 3                               | 9              | 4                              | 12          |
| 2                               | Material resistente al polvo                 | 3               | 3                               | 9               | 3                               | 9               | 3                               | 9              | 4                              | 12          |
| 3                               | Componentes robustos                         | 4               | 3                               | 12              | 2                               | 8               | 2                               | 8              | 4                              | 16          |
| 4                               | Modo de operación manual disponible          | 4               | 3                               | 12              | 3                               | 12              | 3                               | 12             | 4                              | 16          |
| 5                               | Alta precisión                               | 3               | 3                               | 9               | 2                               | 6               | 2                               | 6              | 4                              | 12          |
| 6                               | Bordes sin filo                              | 3               | 3                               | 9               | 3                               | 9               | 3                               | 9              | 4                              | 12          |
| 7                               | Facil Limpieza                               | 3               | 3                               | 9               | 3                               | 9               | 3                               | 9              | 4                              | 12          |
| 8                               | Resolución de cámara                         | 2               | 3                               | 6               | 3                               | 6               | 3                               | 6              | 4                              | 8           |
| 9                               | Limitar niveles de ruido                     | 3               | 3                               | 9               | 3                               | 9               | 3                               | 9              | 4                              | 12          |
| 10                              | Aislamiento eléctrico (Grado de protección)  | 3               | 3                               | 9               | 3                               | 9               | 3                               | 9              | 4                              | 12          |
| 11                              | Carga máxima a transportar                   | 4               | 3                               | 12              | 3                               | 12              | 3                               | 12             | 4                              | 16          |
| 12                              | Recorrido máximo de transporte               | 4               | 3                               | 12              | 3                               | 12              | 3                               | 12             | 4                              | 16          |
| 13                              | Altura de operación adecuada para el usuario | 3               | 3                               | 9               | 3                               | 9               | 3                               | 9              | 4                              | 12          |
| 14                              | Uso componentes estandarizados de la máquina | 3               | 3                               | 9               | 3                               | 9               | 3                               | 9              | 4                              | 12          |
| 15                              | Señaléticas de seguridad                     | 3               | 3                               | 9               | 3                               | 9               | 3                               | 9              | 4                              | 12          |
| <b>Valor técnico total</b>      |  |                 | <b>T<sub>t1</sub></b>           | <b>144</b>      | <b>T<sub>t2</sub></b>           | <b>137</b>      | <b>T<sub>t3</sub></b>           | <b>137</b>     | <b>T<sub>to</sub></b>          | <b>192</b>  |
| <b>Valor técnico relativo</b>   |  |                 | <b>R<sub>t1</sub></b>           | <b>0.75</b>     | <b>R<sub>t2</sub></b>           | <b>0.71</b>     | <b>R<sub>t3</sub></b>           | <b>0.71</b>    | <b>R<sub>to</sub></b>          | <b>1.00</b> |
| <b>Economic analysis</b>        |  |                 |                                 |                 |                                 |                 |                                 |                |                                |             |
| 16                              | Interfaz de usuario intuitiva                | 3               | 2                               | 6               | 2                               | 6               | 2                               | 6              | 4                              | 12          |
| 17                              | Material resistente a la corrosión           | 3               | 2                               | 6               | 2                               | 6               | 2                               | 6              | 4                              | 12          |
| 18                              | Señaléticas de seguridad                     | 3               | 2                               | 6               | 2                               | 6               | 2                               | 6              | 4                              | 12          |
| <b>Valor económico total</b>    |  |                 | <b>T<sub>e1</sub></b>           | <b>18</b>       | <b>T<sub>e2</sub></b>           | <b>18</b>       | <b>T<sub>e3</sub></b>           | <b>18</b>      | <b>T<sub>eo</sub></b>          | <b>36</b>   |
| <b>Valor económico relativo</b> |  |                 | <b>R<sub>e1</sub></b>           | <b>0.50</b>     | <b>R<sub>e2</sub></b>           | <b>0.50</b>     | <b>R<sub>e3</sub></b>           | <b>0.50</b>    | <b>R<sub>eo</sub></b>          | <b>1.00</b> |
| <b>Calificación hiperbólica</b> |  |                 | <b>H<sub>r1</sub></b>           | <b>0.61</b>     | <b>H<sub>r2</sub></b>           | <b>0.60</b>     | <b>H<sub>r3</sub></b>           | <b>0.60</b>    | <b>H<sub>ro</sub></b>          | <b>1.00</b> |

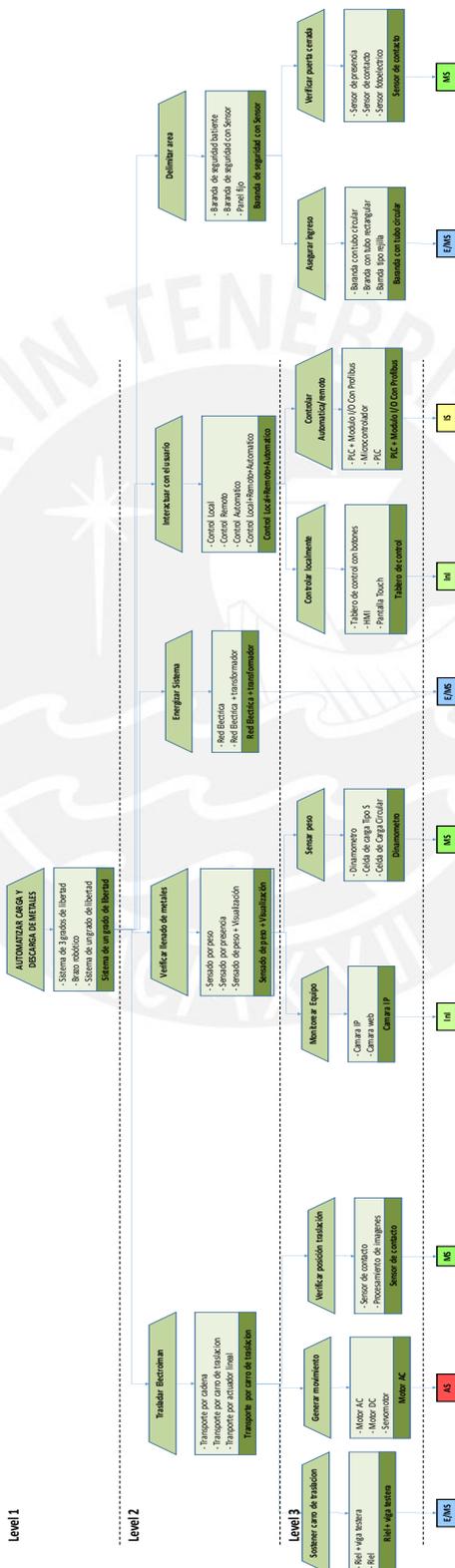
Fuente propia

Se observa que la solución 1 tiene un mejor cumplimiento de los requerimientos del proyecto; por ello, será la solución elegida.

### 2.1.4. Árbol de funciones y medio

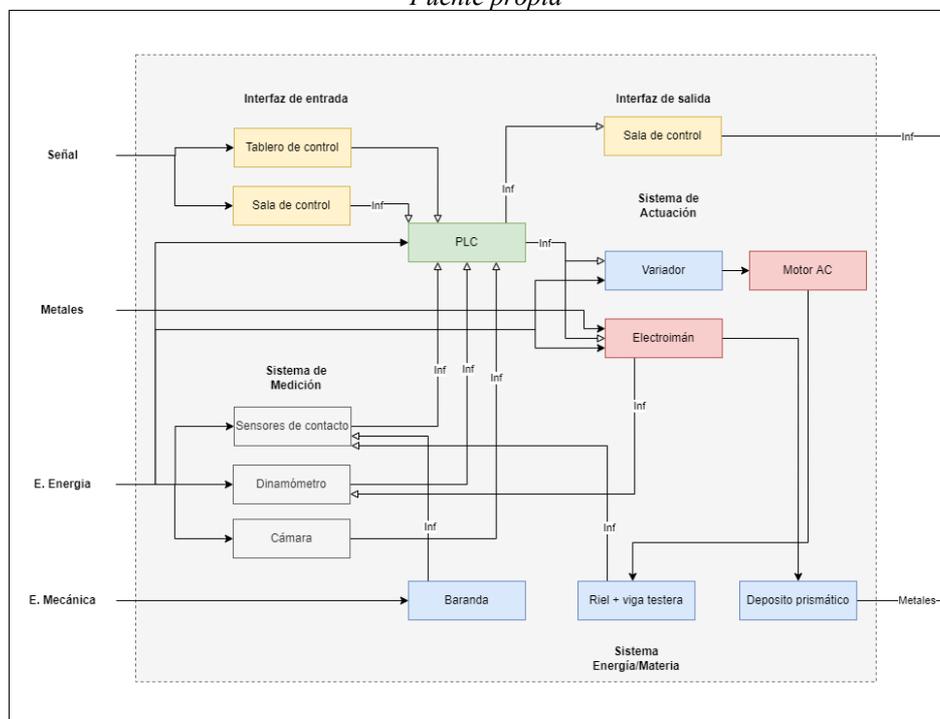
Tabla 18 Árbol de funciones y medio

Fuente propia



En la Tabla 19 se muestra la arquitectura del sistema mecatrónico

Tabla 19 Arquitectura del sistema mecatrónico  
Fuente propia



### 2.1.5. Bosquejo del sistema conceptual

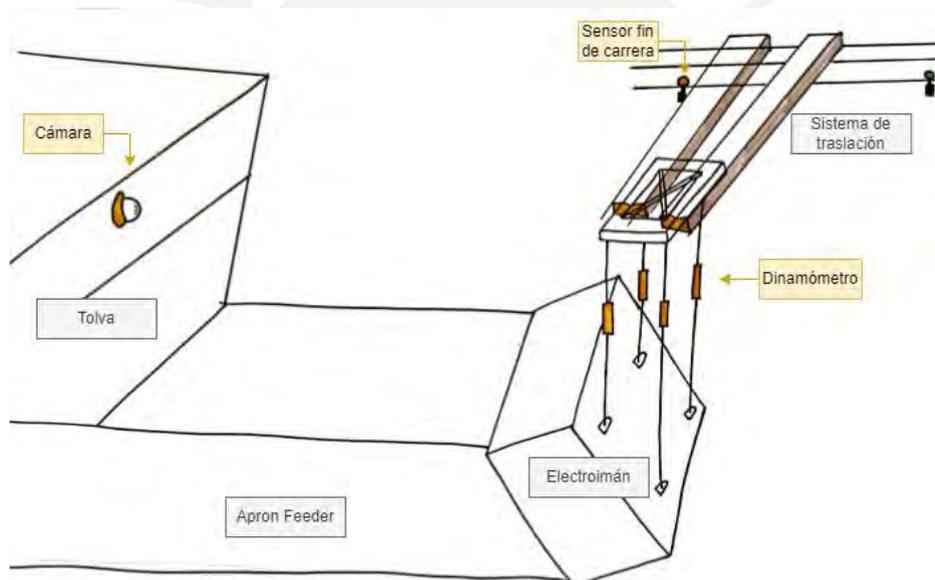
La solución consta de cuatro dinamómetros, cada uno ubicado en cada cordón que soporta el electroimán, los sensores fines de carrera de la viga estarán ubicados en los extremos de la viga, los cuales confirmarán si el electroimán se encuentra en la posición de carga o descarga.

El control automático se da a través del peso, se sabe que cuando el electroimán se encuentra lleno de metales pesa aproximadamente 110kg más. Entonces, cuando los dinamómetros detecten un peso de 100kg deberán realizar la descarga de forma automática: se trasladará el electroimán a la posición de descarga, se apagará el electroimán por 10 segundos para que los metales caigan hacia la bandeja. Posteriormente, se realiza el encendido del electroimán y traslación a la posición de carga.

También contará con una cámara, la cual será de gran utilidad para el supervisor de sala de control. Si el supervisor visualizara que el electroimán ya se encuentra lleno y no llega aún a su peso, este podrá realizar la descarga desde la interfaz gráfica (modo remoto).

De igual manera, si el operario se encuentra en campo, y visualiza que el electroimán ya se encuentra lleno a través del tablero de control, podrá realizar la descarga manual.

¿Por qué el electroimán se encuentra lleno con un menor peso de lo establecido? Debido a la densidad de los metales, es posible que en un periodo solo se estén descargando metales con menor densidad generando gran volumen pero a menor peso.



*Figura 33 Bosquejo del diseño conceptual  
Fuente propia*

### III. DISEÑO DEL SISTEMA MECATRONICO

En el presente capítulo se presentan todos los cálculos necesarios para definir el sistema mecatrónico según los requerimientos del usuario y requerimiento de diseño.

Se realizará el diseño del sistema de traslación el cual sera encargado de transportar el electroimán, así como los componentes electrónicos y eléctricos para realizar la automatización del proceso de carga (figura 34) y descarga (figura 35). Para ello se empleara los dinamómetros

en cada cuerda, sensores de posición en cada extremo de la estructura, además del diseño del sistema de limitación del área para evitar accidentes.

### 3.1. Posiciones de electroimán:

Para el sistema llamaremos a la posición que se encuentre cerca del *apron feeder* como “posición de carga” y a la posición que retiraremos para realizar la descarga del material la llamaremos “posición de descarga”

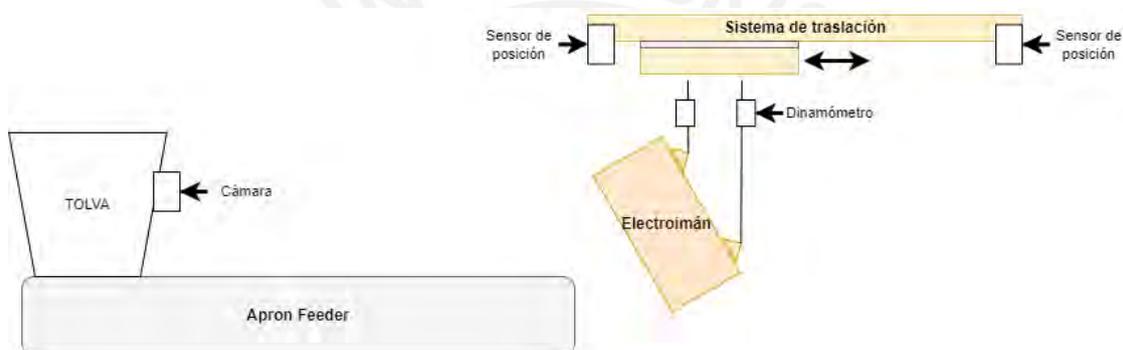


Figura 34 Posición de carga

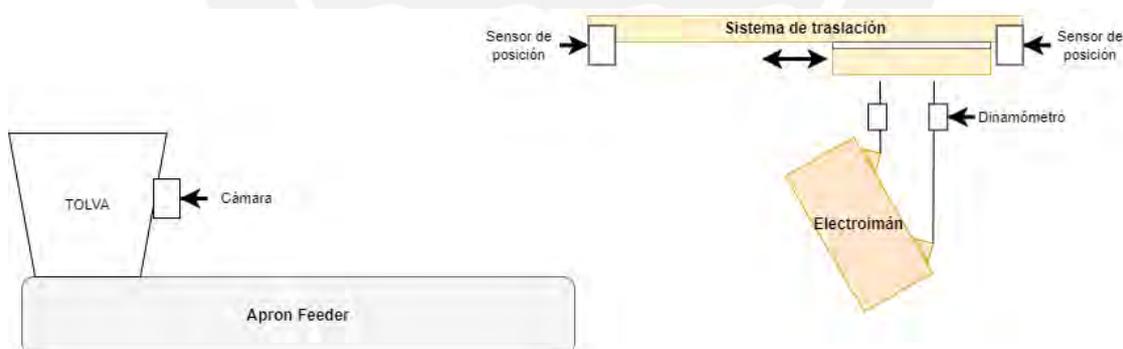


Figura 35 Posición de descarga

Tabla 20 Tiempo de uso de un ciclo del proceso de carga y descarga

|  | Tiempo   | Carga soportada (kg) |
|--|----------|----------------------|
| Verificar si se encuentra en la posición       | 00:00:10 | 8500                 |
| Energizar electroimán                          | 00:00:10 | 8500                 |
| Carga de metales en el electroimán (máx)       | 02:00:00 | 8600                 |
| Verificar si se encuentra lleno el electroimán | 00:00:10 | 8600                 |
| Trasladar electroimán                          | 00:00:45 | 8600                 |

|   |                 |             |
|---|-----------------|-------------|
| <i>Verificar si se encuentra en la posición</i> | <i>00:00:10</i> | <i>8600</i> |
| <i>Des energizar electroimán</i>                | <i>00:00:10</i> | <i>8500</i> |
| <i>Trasladar electroimán</i>                    | <i>00:00:45</i> | <i>8500</i> |

2:02:20

### 3.2. Soporte del electroimán:

Para el buen funcionamiento del electroimán, se deben cumplir las dimensiones recomendadas por el fabricante Eriez respecto al *apron feeder*. El montaje del electroimán tiene gran influencia para su correcto funcionamiento del sistema.

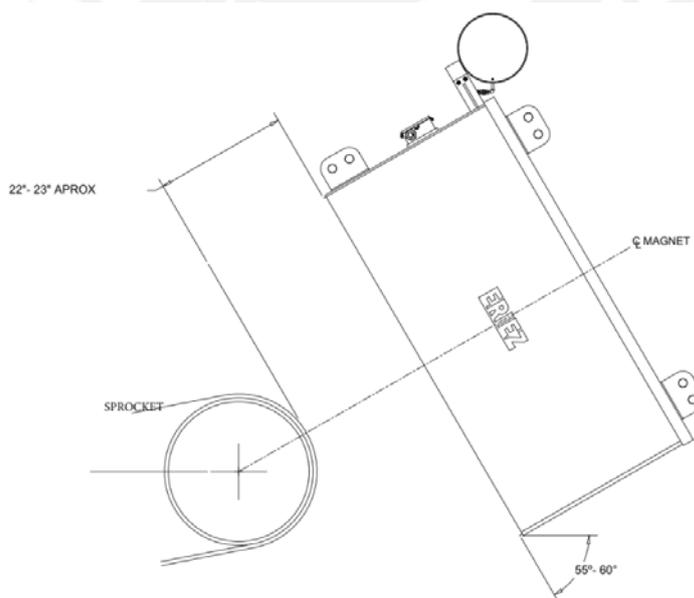


Figura 36: Montaje de electroimán Eriez  
Fuente: ERIEZ, s.f.

Para realizar el correcto montaje, se utilizarán elementos de suspensión regulables. En la Figura 39 se detallan las vigas, por la que estará conformada la estructura:

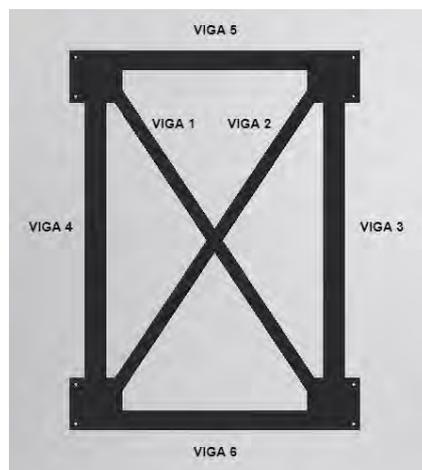


Figura 37 Estructura – vigas  
Fuente propia

Tabla 21 Longitudes de vigas  
Fuente propia

| Viga | Dimensiones |
|------|-------------|
| 01   | 2360 mm     |
| 02   | 2360 mm     |
| 03   | 2500 mm     |
| 04   | 2500 mm     |
| 05   | 1500 mm     |
| 06   | 1500 mm     |

A continuación, se detallan los cálculos de la resistencia de la viga que soportará el electroimán, la cual deberá soportar aproximadamente 10 toneladas.

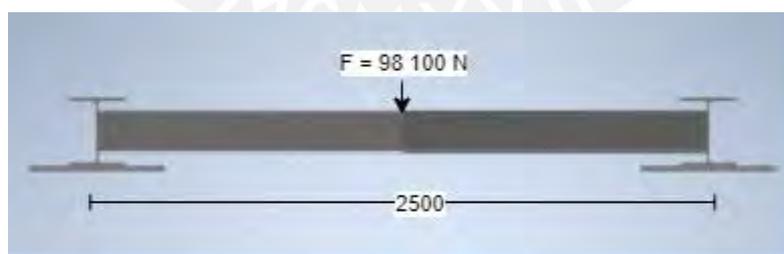


Figura 38 Viga 3  
Fuente propia

### 3.2.1. Modelación de viga

Viga apoyada en los extremos, debido a que no se conocen las dimensiones de la viga principal, se considera 200 kg/m

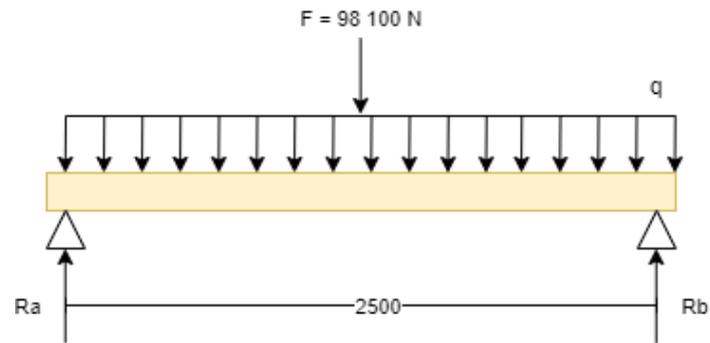


Figura 39 DCL  
Fuente propia

Cálculo de reacciones

$$\sum F = 0$$

$$\sum M = 0$$

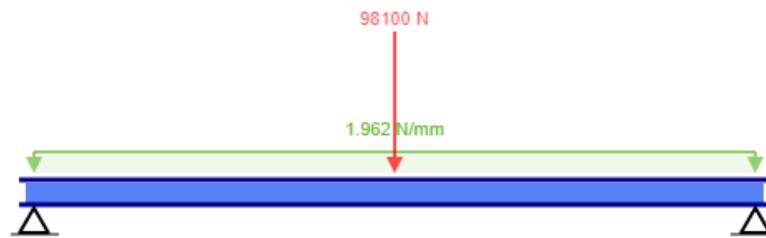


Figura 40 Diagrama de Cuerpo Libre  
Fuente propia



Figura 41 Diagrama de Fuerzas Cortantes  
Fuente propia

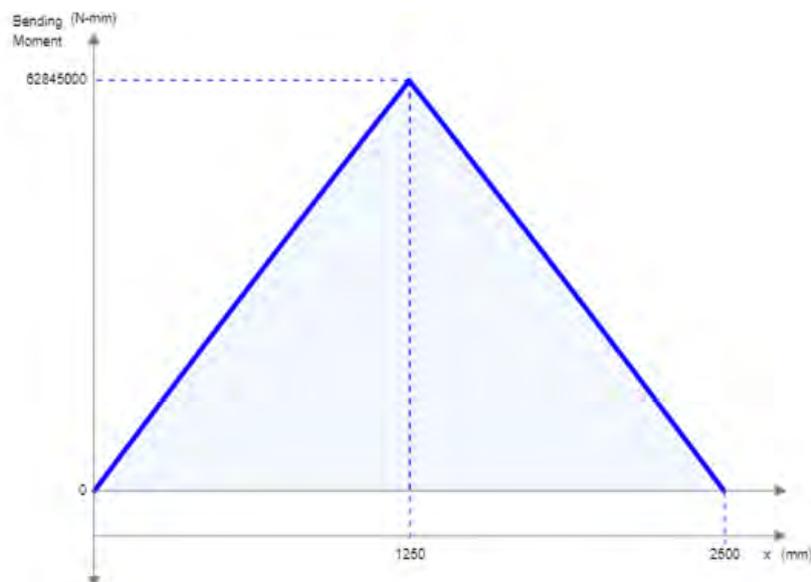


Figura 42 Diagrama de Momento Flector  
Fuente propia

El momento máximo es de 62845 kN/mm, se ubica al medio de la viga a  $x=1250$  mm

Además, el carro deberá soportar las siguientes cargas:

- Carga = 10 000 kg
- Estructura =  $200 \text{ kg/m} * 2.9 \text{ m} = 580 \text{ kg}$
- Accesorios = 200 kg
- Total = 10780 kg

Esta carga será soportada por las cuatro ruedas.

Carga máxima soportada por rueda = 2 695 kg

### 3.2.2. Cálculo de Viga testera :

Las vigas 5 y 6 deberán ser vigas testeras, serán las encargadas de realizar la traslación del electroimán. A continuación se representa las cargas que deberá soportar:



Figura 43 Diagrama de Cuerpo Libre  
Fuente propia

El electroimán se anclará a través de 4 puntos en el carro, vista del plano xy se tendrá una separación de 750 mm.

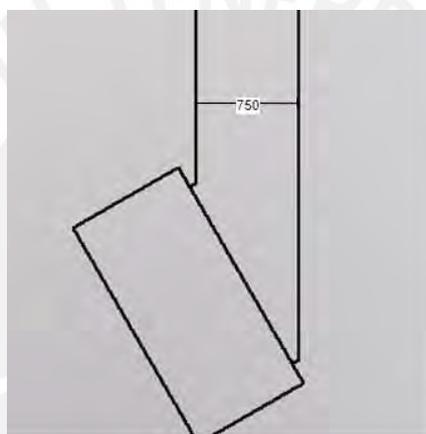


Figura 44: Vista lateral de electroimán  
Fuente propia

Entonces el modelamiento de la viga sería el siguiente:

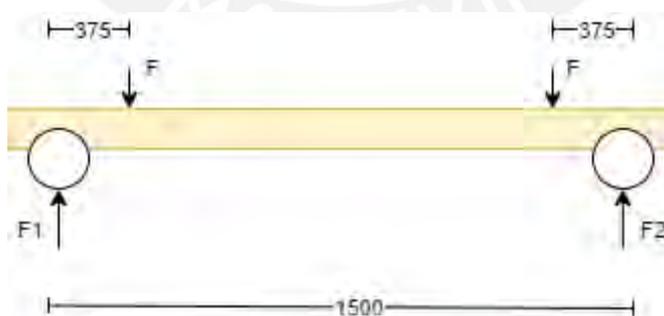


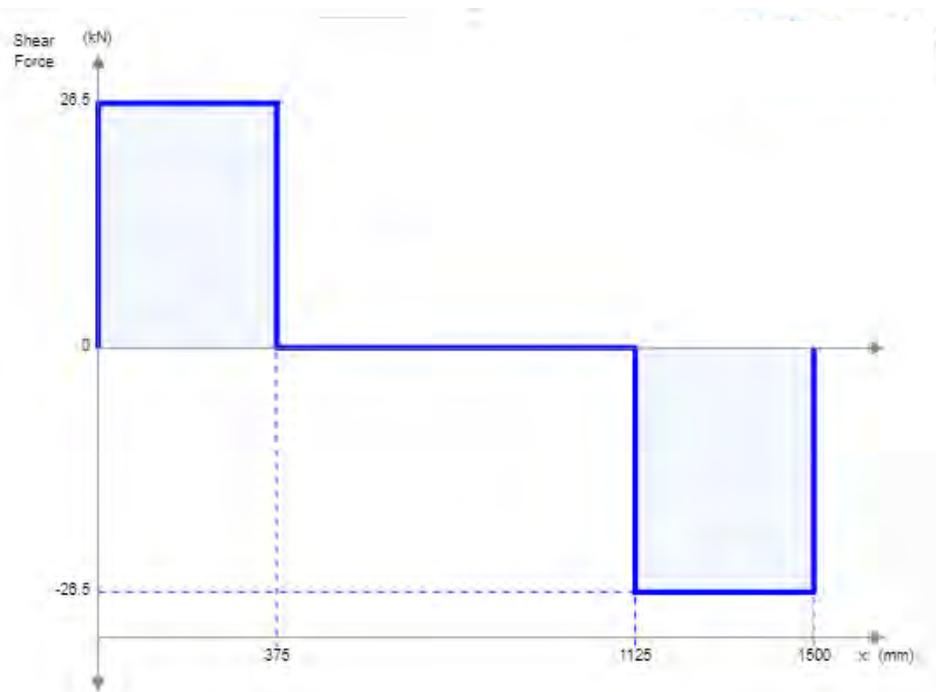
Figura 45 Diagrama de Cuerpo Libre  
Fuente propia

La fuerza total a soportar es de 10780 kg, cada viga soportará 5390 kg

$$F = 5390/2 * 9.81 = 26.5 \text{ kN}$$



*Figura 46 DCL*  
*Fuente propia*



*Figura 47 Diagrama de Fuerzas Cortantes*  
*Fuente propia*

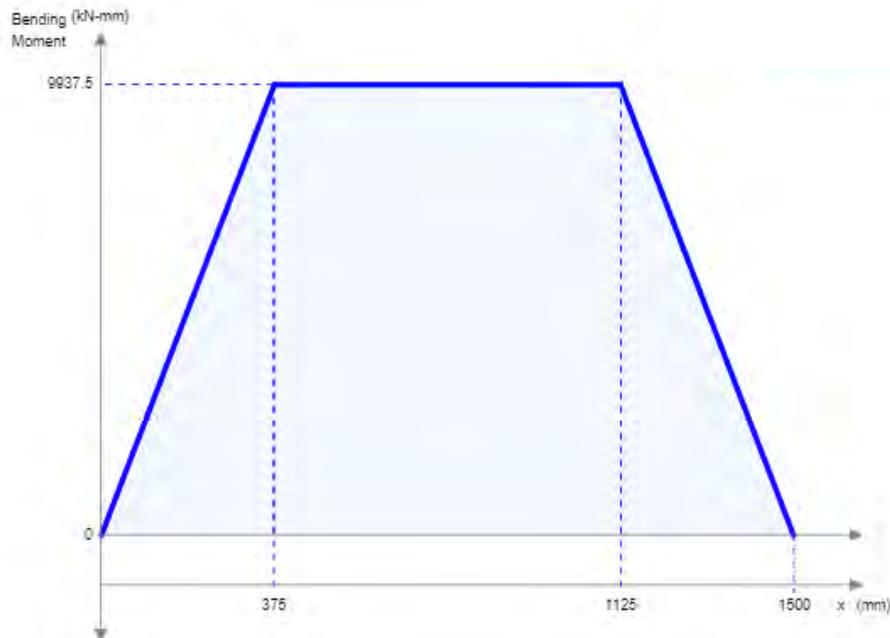


Figura 48 Diagrama de Momento Flector  
Fuente propia

El momento máximo es de 9937.5kNmm, se ubica en el tramo  $x=375\text{mm}$  a  $x=1125\text{mm}$

$$\vartheta = \frac{M_{fmax}}{W} \leq \vartheta_{adm} = 260$$

$$\vartheta = \frac{M_{fmax}}{W} \leq \vartheta_{adm} = 260\text{MPa}$$

$$W > 38.22 \text{ cm}^3$$

Para la selección de la viga testera, se empleará el manual de Miguel Abad “Traslaciones y conjuntos rodantes” (MIGUEL ABAD ). La unidad está compuesta por:

- 2 cajas porta-rodamiento ASTM A27 60/30
- 2 rodamientos
- 1 eje 42CrMo4V
- 1 rueda 42CrMo4V / 50 CrMo4V
- Accesorios

El material empleado para la viga testera es el 42 CrMo 4V o SAE 4140 con un esfuerzo de rotura,  $\sigma_R = 110$  a  $120$  [Kg/mm<sup>2</sup> ]; adicionalmente, se realiza un tratamiento térmico de temple a  $860$  °C y un revenido a  $540$  °C llegando a una dureza de  $321 - 363$  HB. De acuerdo a la norma DIN, se determina:

- i. Diámetro de la rueda:

$$D_n = \frac{R_m}{P_{lim} \times b \times C_1 \times C_2}$$

- ii. Reacción media:

$$R_m = \frac{2R_{max} + R_{min}}{2}$$

$$R_{max} = R_A + \frac{G}{4}$$

$$R_{min} = \frac{G}{4}$$

- Rmax: máxima reacción sobre la rueda con carga nominal.
- G: peso del carro o del puente grúa, [Kg]
- Rmin: reacción de la rueda sin carga y con la maquina detenida.
- Rmin=  $10780\text{kg}/4 = 2695$  kg
- Rmax =  $2695\text{kg}$
- Rm=  $4042.5$  kg

- iii. Presión límite:

Para acero SAE 4140:  $P_{lim} = 5,6$  N/mm<sup>2</sup>

Tabla 22 Presión límite<sup>30</sup>

| Tabla 1           |                    |                    |
|-------------------|--------------------|--------------------|
| Tensión de Rotura |                    | P lim              |
| Riel              | Rueda              |                    |
| N/mm <sup>2</sup> | N/ mm <sup>2</sup> | N/ mm <sup>2</sup> |
| 590               | ≤ 330              | 2,80               |
|                   | 410                | 3,60               |
|                   | 490                | 4,50               |
|                   | 590                | 5,60               |
| ≥ 690             | ≥ 740              | 7,00               |

## iv. Coeficiente C1:

Depende del tipo de servicio, tiempo de operación máximo por día y las condiciones de esfuerzos.

Tabla 23 Tiempo de Operación Diario<sup>31</sup>

| Tabla 3                            |         |            | C <sub>2</sub> |
|------------------------------------|---------|------------|----------------|
| Tiempo de Operación Diario (Horas) |         |            |                |
| Grupo DIN                          | Desde % | incluido % |                |
| M 3                                | 0       | 16         | 1,25           |
| M 4                                | 16      | 25         | 1,12           |
| M 5                                | 25      | 40         | 1,00           |
| M 6                                | 40      | 63         | 0,90           |
| M 7                                | 63      | 100        | 0,80           |

Para el proyecto se considera C1= 0.8

## v. Coeficiente C2:

Depende de la velocidad de rotación de la rueda

Tabla 24 Velocidad de rotación<sup>32</sup>

<sup>30</sup> MIGUEL ABAD . (s.f.). *Hojas Técnicas - Traslaciones y conjuntos rodantes*. Obtenido de <https://miguelabad.com.ar/wp-content/uploads/2016/12/conjuntos-de-ruedas-para-rieles.pdf>

<sup>31</sup> MIGUEL ABAD . (s.f.). *Hojas Técnicas - Traslaciones y conjuntos rodantes*. Obtenido de <https://miguelabad.com.ar/wp-content/uploads/2016/12/conjuntos-de-ruedas-para-rieles.pdf>

<sup>32</sup> MIGUEL ABAD . (s.f.). *Hojas Técnicas - Traslaciones y conjuntos rodantes*. Obtenido de <https://miguelabad.com.ar/wp-content/uploads/2016/12/conjuntos-de-ruedas-para-rieles.pdf>

| Velocidad de Rotación | C <sub>2</sub> | Velocidad de Rotación | C <sub>2</sub> |
|-----------------------|----------------|-----------------------|----------------|
| 200,0                 | 0,66           | 28,0                  | 1,02           |
| 160,0                 | 0,72           | 25,0                  | 1,03           |
| 125,0                 | 0,77           | 22,4                  | 1,04           |
| 112,0                 | 0,79           | 20,0                  | 1,06           |
| 100,0                 | 0,82           | 18,0                  | 1,07           |
| 90,0                  | 0,84           | 16,0                  | 1,09           |
| 80,0                  | 0,87           | 14,0                  | 1,10           |
| 71,0                  | 0,89           | 12,5                  | 1,11           |
| 63,0                  | 0,91           | 11,2                  | 1,12           |
| 56,0                  | 0,92           | 10,0                  | 1,13           |
| 50,0                  | 0,94           | 8,0                   | 1,14           |
| 45,0                  | 0,96           | 6,3                   | 1,15           |
| 40,0                  | 0,97           | 5,6                   | 1,16           |
| 35,5                  | 0,99           | 5,0                   | 1,17           |
| 31,5                  | 1,00           |                       |                |

Asumiendo una velocidad de 40 RPM, se selecciona C<sub>2</sub>= 0.97

vi. D<sub>m</sub>: diámetro de la rueda en banda de rodadura, [mm]

$$R_m = 4042.5 \text{ kg} = 39\,657 \text{ N}$$

$$P_{lim} = 5,6 \text{ N/mm}^2$$

$$b = 59 \text{ mm}$$

$$C_1 = 0.8$$

$$C_2 = 0.97$$

$$D_n = 154.67 \text{ mm}$$

Se selecciona el diámetro de rodadura inmediato superior, D= 250 mm de la serie MA1.

Se selecciona la viga testera MA1 250 D=250mm

Tabla 25 Viga testera serie MA<sup>33</sup>

---

<sup>33</sup> MIGUEL ABAD . (s.f.). *Hojas Técnicas - Traslaciones y conjuntos rodantes*. Obtenido de <https://miguelabad.com.ar/wp-content/uploads/2016/12/conjuntos-de-ruedas-para-rieles.pdf>

| N° SERIE | D<br>(mm)<br>h11 | RIEL | RODAMIENTO | CARGA ADM<br>(N) | D1<br>(mm) | d<br>(mm)<br>k6 | d1<br>(mm)<br>k6 | d2<br>(mm)<br>k6 | d3<br>(mm)<br>k6 |
|----------|------------------|------|------------|------------------|------------|-----------------|------------------|------------------|------------------|
| MA1 250  | 250              | A45  | 22312CW33  | 80.000           | 300        | 60              | 100              | 55               | 130              |
| MA1 315  | 315              | A55  | 22314CW33  | 150.000          | 365        | 70              | 110              | 65               | 150              |

Tabla 26 Viga testera serie MA<sup>34</sup>

| N° SERIE | A<br>(mm) | B<br>(mm) | C<br>(mm) | E<br>(mm) | F<br>(mm) | L1<br>(mm) | L2<br>(mm) | L3<br>(mm) | L4<br>(mm) |
|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|------------|------------|------------|
| MA1 250  | 85        | 110       | 135       | 20        | 22        | 90         | 300        | 155        | 130        |
| MA1 315  | 95        | 120       | 145       | 22        | 25        | 100        | 380        | 170        | 140        |

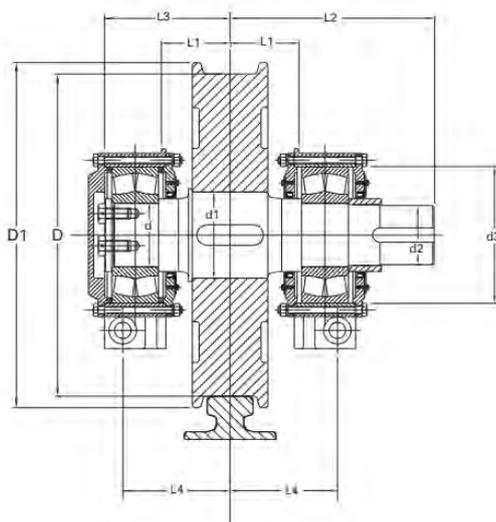


Figura 49 Sección Transversal de Viga testera<sup>35</sup>

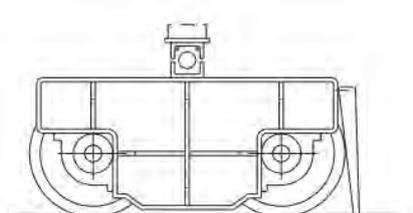


Figura 50 Ruedas de Viga testera<sup>36</sup>

<sup>34</sup> MIGUEL ABAD . (s.f.). *Hojas Técnicas - Traslaciones y conjuntos rodantes*. Obtenido de <https://miguelabad.com.ar/wp-content/uploads/2016/12/conjuntos-de-ruedas-para-rieles.pdf>

<sup>35</sup> MIGUEL ABAD . (s.f.). *Hojas Técnicas - Traslaciones y conjuntos rodantes*. Obtenido de <https://miguelabad.com.ar/wp-content/uploads/2016/12/conjuntos-de-ruedas-para-rieles.pdf>

<sup>36</sup> MIGUEL ABAD . (s.f.). *Hojas Técnicas - Traslaciones y conjuntos rodantes*. Obtenido de <https://miguelabad.com.ar/wp-content/uploads/2016/12/conjuntos-de-ruedas-para-rieles.pdf>

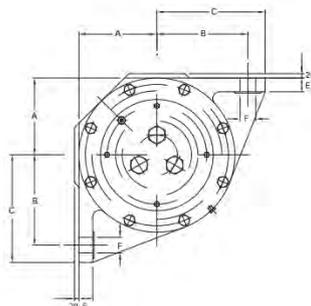


Figura 51 Dimensiones de rueda de Viga testera<sup>37</sup>

### 3.2.3. Selección de Riel:

De acuerdo con la selección de la viga testera, se selecciona el riel A45 de 3500 mm.

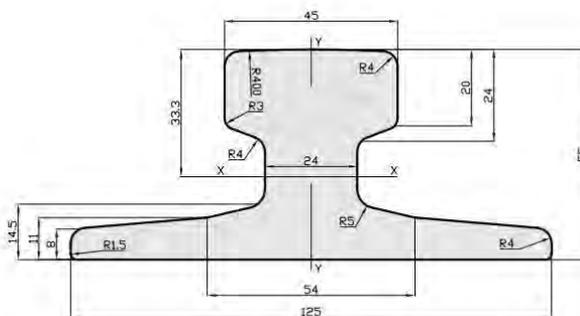


Figura 52 Sección transversal de Riel A45<sup>38</sup>

### 3.2.4. Simulación de estructura

El objetivo de la simulación es realizar un análisis de esfuerzo y deformación para comprobar que la estructura sea capaz de resistir todas las cargas.

La estructura soportará el electroimán, en cada viga tendrá dos elementos de izajes, cada uno soportará 2 695 kg. Para la simulación se asume que la fuerza total se encontrará en el

<sup>37</sup> MIGUEL ABAD . (s.f.). *Hojas Técnicas - Traslaciones y conjuntos rodantes*. Obtenido de <https://miguelabad.com.ar/wp-content/uploads/2016/12/conjuntos-de-ruedas-para-rieles.pdf>

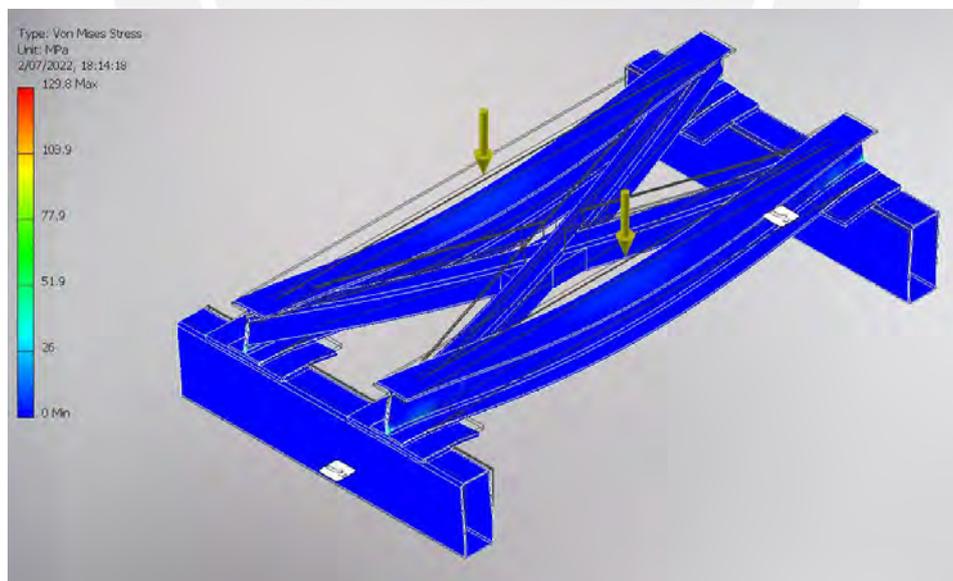
<sup>38</sup> Arcelor Mittal. (s.f.). *Rail A45*. Obtenido de <https://rails.arcelormittal.com/types-rails/crane-rails/european-standards/rail-a45>

medio y será de 5390 kg. A continuación, se desarrolla la simulación de la estructura usando elementos finitos en Autodesk Inventor:



*Figura 53 Simulación de la estructura de traslación  
Fuente propia*

### **3.2.4.1. Esfuerzo Von mises**



*Figura 54 Simulación Von mises  
Fuente propia*

### 3.2.4.2.Desplazamiento

### 3.2.4.3.Simulación de Desplazamiento

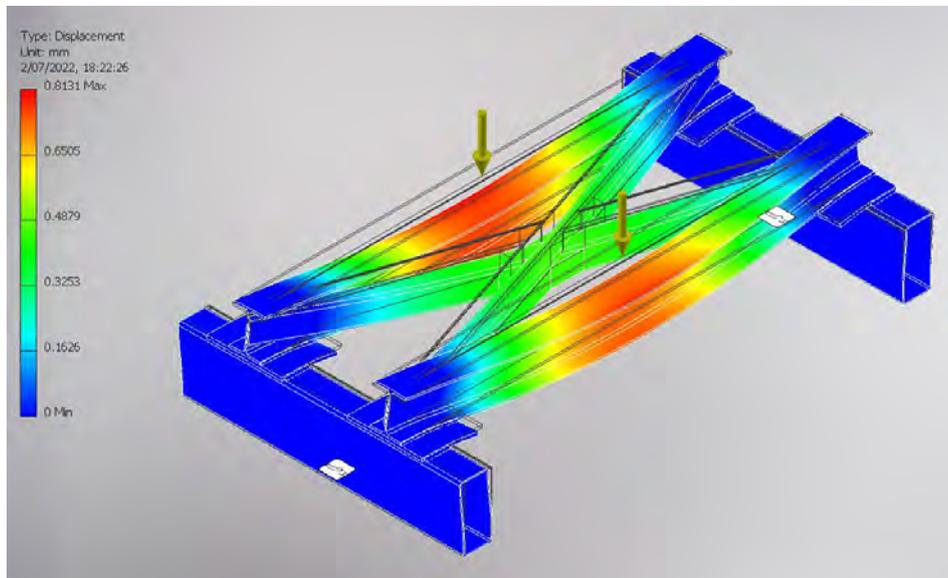


Figura 55 Simulación de Desplazamiento  
Fuente propia

### 3.2.4.4.Factor de seguridad

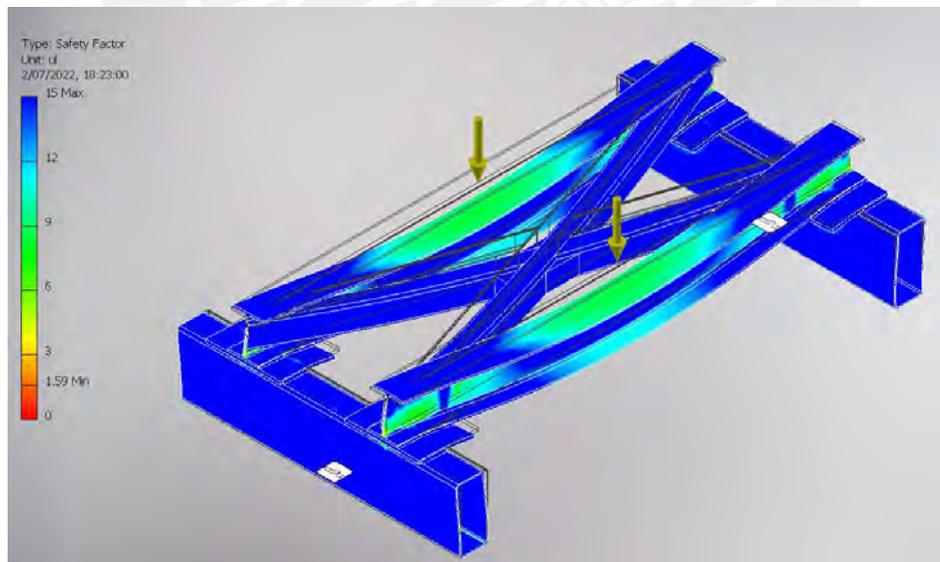


Figura 56 Simulación de Factor de Seguridad  
Fuente propia

### 3.2.4.5. Conclusiones de la simulación

El esfuerzo más crítico que soportaría la estructura sería de 34.6MPa ubicado a los extremos de la viga como se puede observar en la figura 54, que al compararse con el límite elástico del acero ASTM A-36 ,520MPa, se obtiene un factor de seguridad de 15 muy por encima de lo recomendado ( 8 por ser elemento de izaje). Por otro lado, la deformación máxima (figura 55) es de 0.8 mm y se da en la parte media de la viga lo cual es aceptable. En conclusión, la simulación cumple con los requerimientos y criterio de diseño.

### 3.2.5. Elementos de izajes

#### 3.2.5.1. Turnbuckle

Se tendrán 4 soportes que suspenderán al electroimán, cada uno soportará

$$2500 \text{ kg} * \frac{2.2 \text{ lb}}{1 \text{ kg}} = 5500 \text{ lb}$$

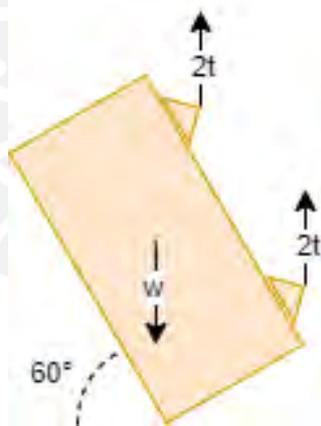


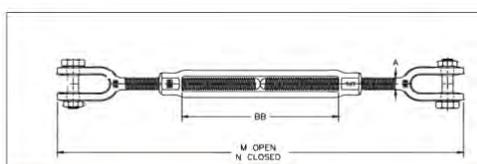
Figura 57 Diagrama de Cuerpo Libre de electroimán  
Fuente propia

Se seleccionó Galvanized Turnbuckle - Import - Jaw & Jaw - 1-1/4" x 12", el cual soporta hasta 15200lb de acuerdo a la Tabla 27.



Figura 58 Turnbuckle<sup>39</sup>

Tabla 27 Especificaciones de Turnbuckle<sup>40</sup>



| JAW&JAW     |      |       |       |       |         |
|-------------|------|-------|-------|-------|---------|
| SIZE(in)    | A    | M     | N     | BB    | WLL/lbs |
| 1/4x4"      | 0.25 | 11.90 | 7.90  | 4.00  | 500     |
| 5/16x4-1/2" | 0.31 | 13.90 | 9.40  | 4.50  | 800     |
| 3/8x6"      | 0.38 | 17.38 | 11.38 | 6.00  | 1200    |
| 1/2x6"      | 0.50 | 20.00 | 13.00 | 6.00  | 2200    |
| 1/2x9"      | 0.50 | 26.00 | 16.00 | 9.00  | 2200    |
| 1/2x12"     | 0.50 | 32.00 | 19.00 | 12.00 | 2200    |
| 5/8x6"      | 0.63 | 21.82 | 14.88 | 6.00  | 3500    |
| 5/8x9"      | 0.63 | 28.13 | 17.88 | 9.00  | 3500    |
| 5/8x12"     | 0.63 | 34.13 | 20.88 | 12.00 | 3500    |
| 3/4x6"      | 0.75 | 23.68 | 16.60 | 6.00  | 5200    |
| 3/4x9"      | 0.75 | 30.08 | 19.60 | 9.00  | 5200    |
| 3/4x12"     | 0.75 | 36.08 | 22.60 | 12.00 | 5200    |
| 3/4x18"     | 0.75 | 48.08 | 29.60 | 18.00 | 5200    |
| 7/8x12"     | 0.88 | 37.62 | 24.32 | 12.00 | 7200    |
| 7/8x18"     | 0.88 | 50.07 | 30.32 | 18.00 | 7200    |
| 1x12"       | 1.00 | 39.18 | 26.06 | 12.00 | 10000   |
| 1x18"       | 1.00 | 51.18 | 32.06 | 18.00 | 10000   |
| 1x24"       | 1.00 | 63.78 | 38.06 | 24.00 | 10000   |
| 1-1/4x12"   | 1.25 | 43.58 | 29.54 | 12.00 | 15200   |
| 1-1/4x18"   | 1.25 | 55.58 | 35.54 | 18.00 | 15200   |
| 1-1/4x24"   | 1.25 | 68.04 | 41.54 | 24.00 | 15200   |

<sup>39</sup> USCC, US CARGO CONTROL. (s.f.). *Galvanized Turnbuckle - Import - Jaw & Jaw - 1-1/4" x 12"*. Obtenido de <https://www.uscargocontrol.com/products/galvanized-turnbuckle-jaw-jaw-1-1-4-x12>

<sup>40</sup> USCC, US CARGO CONTROL. (s.f.). *Galvanized Turnbuckle - Import - Jaw & Jaw - 1-1/4" x 12"*. Obtenido de <https://www.uscargocontrol.com/products/galvanized-turnbuckle-jaw-jaw-1-1-4-x12>

Tabla 26: Especificaciones técnicas Turnbuckle<sup>41</sup>

|                       |   |
|-----------------------|---|
| Working Load Limit:   | 15,200 lbs.                                       |
| Product Weight:       | 22.8  |
| Finish:               | Galvanized  |
| Body Length:          | 12"   |
| Manufacturer Name:    | Import  |
| Shipping And Returns: | This item cannot be returned due to safety risks. |
| Length Open:          | 44.04"  |
| Length Closed:        | 29.54"  |
| Turnbuckle Size:      | 1-1/4"  |
| Product Guide:        | <a href="#">View Spec Sheet (PDF, 90 KB)</a>      |



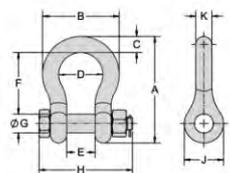
Dimensions (all measurements in inches)

|     |       |
|-----|-------|
| M:  | 43.58 |
| N:  | 29.54 |
| BB: | 12    |
| A:  | 1.25  |

### 3.2.5.2. Grilletes

Se selecciono el grillete CL-36551-FAS Forged Anchor Shackles el cual cumple con las características requeridas, soporta hasta 5 800kg (ver tabla 29).

Tabla 28 Grillete CL-36551-FAS42



\*ALL DIMENSIONS ARE REFERENCE ONLY

#### Part Specifications

| Part Number  | LOAD RATING (lbs) | NOMINAL SHACKLE SIZE | A    | B    | C   | D    | E    | F    | G DIA | H    | J    | K   |
|--------------|-------------------|----------------------|------|------|-----|------|------|------|-------|------|------|-----|
| CL-36551-FAS | 13000             | 7/8                  | 5.83 | 4.03 | .87 | 2.28 | 1.44 | 3.31 | 1.00  | 4.71 | 2.09 | 7/8 |

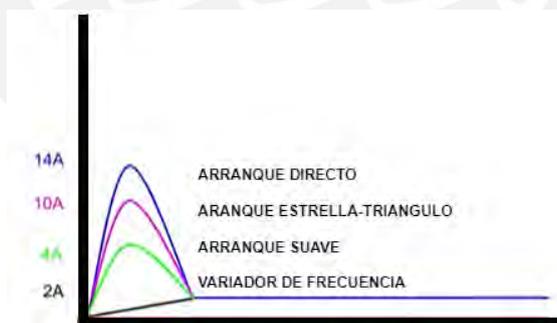
### 3.3. Motor

<sup>41</sup> USCC, US CARGO CONTROL. (s.f.). *Galvanized Turnbuckle - Import - Jaw & Jaw - 1-1/4" x 12"*. Obtenido de <https://www.uscargocontrol.com/products/galvanized-turnbuckle-jaw-1-1-4-x12>

<sup>42</sup> Carr Lane. (s.f.). *CL-36551-FAS Forged Anchor Shackles*. Obtenido de <https://www.carrlane.com/product/hoist-rings/hoist-ring-accessories/forged-anchor-shackles/cl-36551-fas>

### 3.3.1. Tipo de arranque:

- i. Arranque directo: la corriente nominal se eleva hasta 7 veces. Es el método más simple para arrancar un motor trifásico de inducción. Consiste en conectar los devanados estáticos directamente con el cierre de contactos de potencia (contactores).
- ii. Arranque estrella: la corriente nominal se eleva hasta 5 veces. Es aquel arranque que al encender se pone en marcha la configuración estrella, pasa un tiempo establecido y de forma automática pasa a la configuración de triángulo.
- iii. Arranque suave: la corriente nominal se eleva hasta 2 veces. Los arrancadores suaves controlan la tensión eficaz de entrada al motor desde cero (o un valor configurable) hasta la nominal de funcionamiento para el arranque y al contrario para la parada. Regulando la tensión de alimentación, controlamos la corriente de arranque que consume el motor y el par que se genera.
- iv. Arranque con variador de frecuencia: nos permite un inicio y detención suave.



*Figura 59 Tipo de arranques de motores  
Fuente propia*

Debido a que el electroimán tiene un peso considerable de (10 toneladas) y el trayecto es menor a 2 metros, su arranque debe ser a través de un variador de frecuencia para poder controlar la rampa de subida y su rampa de bajada.

Se selecciona de la marca Schneider Electric del modelo Altivar 320 ATV320U22N4C

- Motor: 2.2kw

- Grado de protección: IP20
- Potencia nominal: hasta 2,2kW
- Tensión nominal: 380V a 500V CA



*Figura 60 Variador Altivar 320*

Se seleccionó un servomotor SEW – EURODRIVE

FA57/G DRS80S4BE1, con las siguientes características:

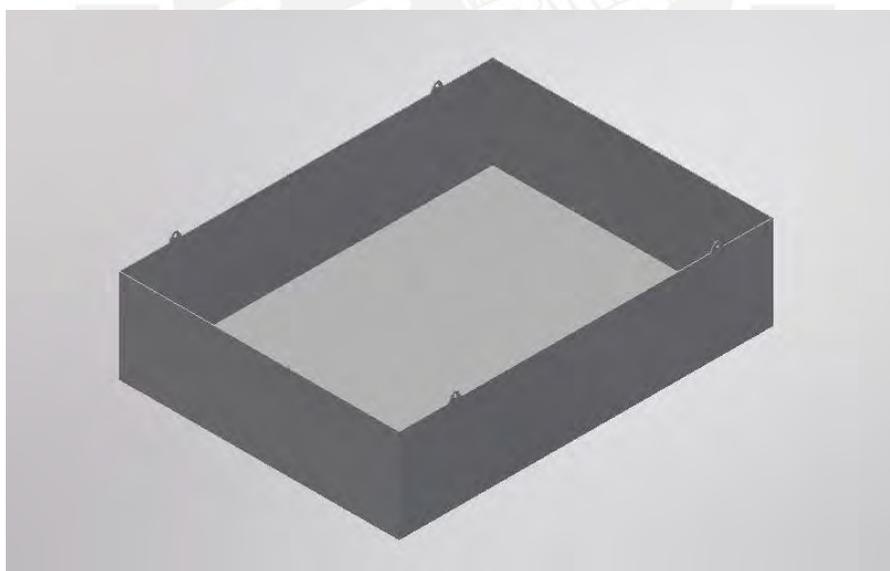
- Frecuencia: 60 Hz
- $i$  (relación de transmisión): 93.47
- Potencia: 0.75 kW
- Torque: 385 Nm
- Corriente: 1.73 A
- Voltaje: 440AC trifásica
- Protección IP55

Debido que se usará solo un variador para controlar los dos motores, se establece la siguiente configurador del variador de acuerdo con el fabricante Schneider Electric<sup>43</sup>:

- bFr [Frec.estándar motor]: 60 Hz
- nSP [Vel. Nominal Motor]: 1715RPM
- ACC [Rampa aceleración]: 2 segundos
- dEC [Rampa deceleración]: 1 segundo
- LSP [Velocidad Mínima]: 25 Hz
- HSP [Vel.máxima]: 50 Hz

### 3.4.Zona de descarga

Para la zona de descarga se empleará un chute en el cual se almacenará los metales ferrosos extraídos por el electroimán.



*Figura 61 Chute de descarga  
Elaboración propia*

---

<sup>43</sup> Schneider Electric. (s.f.). *ATV320 Manual de programación*. Obtenido de <https://www.se.com/pe/es/download/document/NVE41298/>

### 3.5. Selección de sensores fin de carrera mecánicos

Debido al gran campo magnético generado por el electroimán, los sensores inductivos no se podrán utilizar por la interferencia, por ello se empleará los sensores fin de carrera mecánicos.

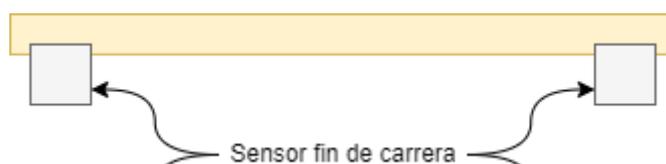


Figura 62 Posición de los 2 sensores en sistema de traslación  
Elaboración propia

También se empleará un sensor para asegurar que la puerta (limitadora del área) este cerrada. Para ello será necesario un pequeño mecanismo (figura 68) que cuando la puerta esta abierta el sensor alerte que ha ingresado una persona y automáticamente detener el movimiento de traslación.

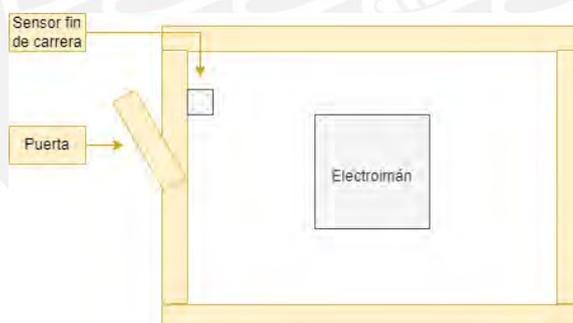
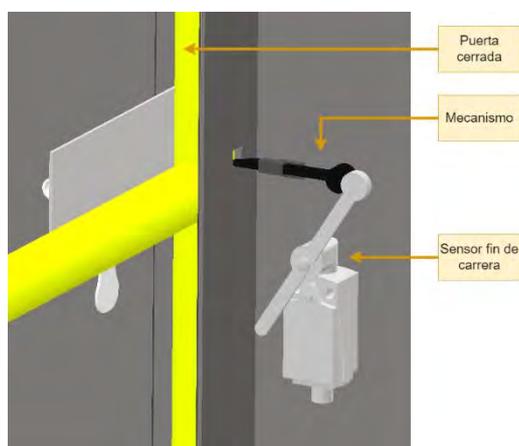


Figura 63 Posición del sensor en la puerta  
Elaboración propia



*Figura 64 Mecanismo del sensor en la puerta  
Elaboración propia*

Se seleccionaron 3 sensores con protección IP66:

Final de carrera con Palanca Telemecanique Sensors OsiSense XC, SPDT, NA/NC, 600V, 10A, IP66 (ver figura 67).



*Figura 65 Sensor palanca Telemecanique<sup>44</sup>*

*Tabla 28: Especificaciones técnicas de Telemecanique<sup>45</sup>*

Especificaciones

|                             |                              |                                      |             |
|-----------------------------|------------------------------|--------------------------------------|-------------|
| Brand                       | Telemecanique Sensors        | Tipo de actuador                     | Lever       |
| Configuración de Polo y Vía | Monopolar de dos vías (SPDT) | Configuración Normal del Estado      | NA/NC       |
| Índice de Protección IP     | IP66                         | Corriente Máxima                     | 12A         |
| Material de la Carcasa      | Metal                        | Tensión AC Máxima                    | 600 V       |
| Tensión DC Máxima           | 600 V                        | Serie                                | OsiSense XC |
| Tipo de Acción              | Acción de inserción          | Longitud                             | 77mm        |
| Profundidad                 | 44mm                         | Temperatura de Funcionamiento Mínima | -20°C       |
| Profundidad                 | 40mm                         | Máxima Temperatura de Funcionamiento | +70°C       |
| Vida Útil Mecánica          | 30000000 ciclos              |                                      |             |

<sup>44</sup> RS. (s.f.). Final de carrera con Palanca Telemecanique Sensors. Obtenido de <<https://cl.rsdelivers.com/product/telemecanique-sensors/xckj10511/final-de-carrera-con-palanca-telemecanique-sensors/nc-600v-10a-ip66/0235947>>

<sup>45</sup> RS. (s.f.). Final de carrera con Palanca Telemecanique Sensors. Obtenido de <<https://cl.rsdelivers.com/product/telemecanique-sensors/xckj10511/final-de-carrera-con-palanca-telemecanique-sensors/nc-600v-10a-ip66/0235947>>

### 3.6. Selección de sensor de peso

Se necesita que sea capaz de soportar 10 toneladas. El electroimán cuenta con 4 tensiones cada una de ellas soportaría  $W/4 = 2.5$  toneladas. Es por ello que se ha seleccionado el siguiente dinamómetro: PIAB 300040 type Q el cumple con la protección IP67 según la IEC529, el cual será capaz de soportar hasta 5000 kg.

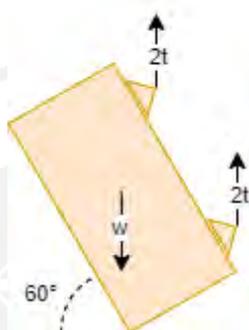


Figura 66 DCL electroimán  
Fuente propia

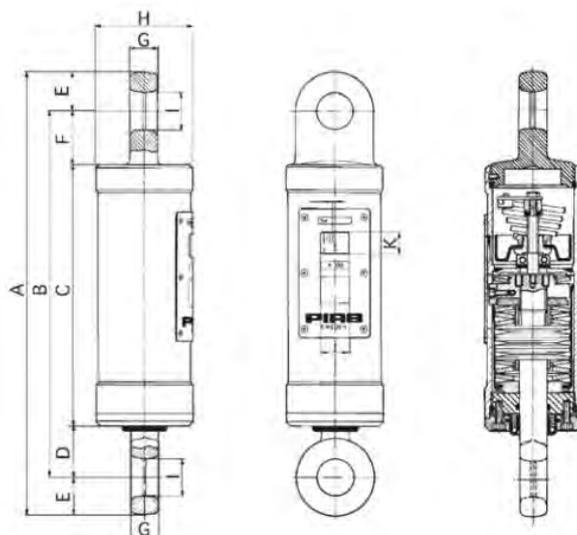


Figura 67 Especificaciones técnica de dinamómetro<sup>46</sup>

<sup>46</sup> Piab. (s.f.). *Piab Accesorios de sistema y soluciones*. Obtenido de <https://www.piab.com/es-es/accesorios-de-sistema-y-soluciones/>

Tabla 29 Medidas de dinamómetros<sup>47</sup>

| ART. NO.    | TYPE  | CAPACITY   | GRADUATION |     | DEAD WEIGHT | MEASURES IN MM |     |     |     |    |     |    |     |    |       |     |
|-------------|-------|------------|------------|-----|-------------|----------------|-----|-----|-----|----|-----|----|-----|----|-------|-----|
|             |       |            | 1          | MM  |             | A              | B   | C   | D   | E  | F   | G  | H   | I  | Jkk   |     |
| 300015      | K*    | 0-250 kg   | 5 kg       | 2,2 | 1,9 kg      | 266            | 230 | 165 | 42  | 18 | 23  | 20 | 50  | 17 | 24x20 |     |
| 300020      | A*    | 0-500kg    | 10 kg      | 2   |             |                |     |     |     |    |     |    |     |    |       |     |
| 300025      | B*    | 0-1000 kg  | 20 kg      | 2   |             |                |     |     |     |    |     |    |     |    |       |     |
| **1) 300030 | Bx1,5 | 0-1500 kg  | 50 kg      | 3,6 | 2,3 kg      | 292            | 256 | 191 | 42  | 18 | 23  | 20 | 50  | 17 |       |     |
| 300030      | M     | 0-2000 kg  | 25 kg      | 2,3 | 7,8 kg      | 395            | 327 | 234 | 45  | 34 | 48  | 25 | 86  | 33 | 26x20 |     |
| 300035      | O     | 0-3000 kg  | 50 kg      | 2,5 |             |                |     |     |     |    |     |    |     |    |       |     |
| 300040      | Q     | 0-5000 kg  | 50 kg      | 2,5 | 15 kg       | 413            | 329 | 230 | 45  | 42 | 55  | 30 | 122 | 40 |       |     |
| 300045      | S     | 0-10000 kg | 100 kg     | 3,5 | 26,5 kg     | 495            | 385 | 260 | 60  | 55 | 65  | 45 | 149 | 56 |       |     |
| 300050      | U     | 0-20000 kg | 200 kg     | 4,2 | 78 kg       | 675            | 505 | 300 | 102 | 85 | 103 | 70 | 228 | 81 | 65x23 |     |
| 300055      | G     | 0-25000 kg | 200 kg     |     |             |                |     |     |     |    |     |    |     |    |       |     |
| 300060      | E     | 0-50000 kg | 250 kg     |     |             |                |     |     |     |    |     |    |     |    |       | 2,7 |

The pull rod movement at full load is approximately 10 mm.

\*On the types K-B with built-in potentiometer the length increases by 56 mm.

We reserve the right to change the specifications without notice.

\*\*1) Safety factor 4:1

### 3.7. Selección de cámara

Se seleccionará una cámara capaz de visualizar un ángulo mayor a 50 ° para que se pueda ver desde sala de control los metales que se encuentran en el electroimán.



Figura 68 Cámara IP<sup>48</sup>

<sup>47</sup> Piab. (s.f.). *Piab Accesorios de sistema y soluciones*. Obtenido de <https://www.piab.com/es-es/accesorios-de-sistema-y-soluciones/>

<sup>48</sup> Kisi. (s.f.). *OpenEye Security Cameras: Overview*. Obtenido de <https://www.getkisi.com/best-security-camera-systems/openeye>

Tabla 30 Especificaciones técnicas de cámara<sup>49</sup>

| <b>CAMERA</b>                   |  |                     |
|---------------------------------|--|---------------------|
| <b>Part Number</b>              | <b>OE-C6413-AWR</b>                                | <b>OE-C7413-AWR</b> |
| <b>Maximum Resolution</b>       | 3MP  |                     |
| <b>Image Sensor</b>             | 1/3" Progressive CMOS                              |                     |
| <b>Video Compression</b>        | H.264 / MJPEG                                      |                     |
| <b>Frame Rate</b>               | 30FPS @ 3MP H.264                                  |                     |
| <b>ONVIF</b>                    | Profile S / G compliant                            |                     |
| <b>Streaming</b>                | Up to 3 simultaneous streams                       |                     |
| <b>Browser Support</b>          | Internet Explorer (6+) / Chrome / Firefox / Safari |                     |
| <b>Day / Night</b>              | True Day / Night                                   |                     |
| <b>Wide Dynamic Range</b>       | Shutter on / off @ 2MP                             |                     |
| <b>Lens</b>                     | 2.8-8mm autofocus                                  |                     |
| <b>Field of View</b>            | 99° (Wide), 51° (Tele)                             |                     |
| <b>White Balance</b>            | Auto / Manual / ATW / One Push                     |                     |
| <b>Auto White Balance Range</b> | 2700-7800K   |                     |
| <b>Backlight Compensation</b>   | 2500-10000K  |                     |
| <b>Auto Gain Control</b>        | Yes  |                     |
| <b>ENVIRONMENTAL</b>            |  |                     |
| <b>Operating Temp.</b>          | -4 ~ 122 °F (-20 ~ 50 °C)                          |                     |
| <b>IP Rating</b>                | N/A  | IP66 Outdoor        |
| <b>UL Listed Product</b>        | Yes  |                     |
| <b>POWER</b>                    |  |                     |
| <b>Power Consumption</b>        | 5W   |                     |
| <b>Input Voltage</b>            | PoE  |                     |
| <b>PoE Class</b>                | 3  |                     |
| <b>PHYSICAL</b>                 |  |                     |
| <b>IR Range</b>                 | Up to 25M  |                     |
| <b>IR LED</b>                   | 4 IR LEDs  |                     |
| <b>microSD Card Slot</b>        | SDXC 64GB support                                  |                     |
| <b>Camera Weight</b>            | 1.13lb (512g)                                      |                     |
| <b>Dimensions</b>               | ø 4.6 x 3.36in (117 x 83.5mm)                      |                     |
| <b>Housing / Dome</b>           | Plastic / metal housing                            |                     |
| <b>Country of Origin</b>        | Taiwan   |                     |

<sup>49</sup> Kisi. (s.f.). *OpenEye Security Cameras: Overview*. Obtenido de <https://www.getkisi.com/best-security-camera-systems/openeye>

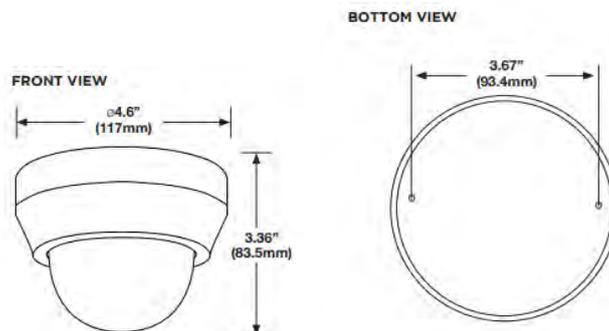


Figura 69 Dimensiones de cámara<sup>50</sup>

### 3.7.1. Protección de cámara

También es necesario que la cámara tenga una protección, se diseñó una cubierta que se pondrá encima de la cámara como se puede apreciar en la figura 72.



Figura 70 Cubierta protectora de cámara  
Elaboración propia

### 3.8.Sirena con luz estroboscópica

---

<sup>50</sup> Kisi. (s.f.). *OpenEye Security Cameras: Overview*. Obtenido de <https://www.getkisi.com/best-security-camera-systems/openeye>

La sirena se empleará cuando la puerta (el cerco delimitador) este abierta, se emitirá un indicador luminoso y auditivo. Se seleccionó una sirena con luz estroboscópica Allen Bradley.

### 3.9. Selección de módulos de entrada y salida

Las señales a emplear son las siguientes:

- Sensor de posición: 2 Entradas digitales
- Sensor de posición puerta: Entradas digitales
- Sensor de peso: 4 Entradas analógicos
- Variador: 3 Salida Digital (Fwd, Rev y Start)
- Selector manual/ automático: 1 entrada digital
- Electroimán: 1 salida digital
- Sirena con luz estroboscópica: 1 salida digital

Se necesitará:

- Salidas analógicas: 00
- Salidas digitales: 05
- Entradas analógicas: 04
- Entradas digitales: 01

En campo se tiene un tablero RIO el cual cuenta con: CI840 (ESCLAVO PROFIBUS)

Solo será necesario seleccionar los módulos de entrada y salida, los cuales se conectarán en el RIO como se visualiza en la Figura.75.

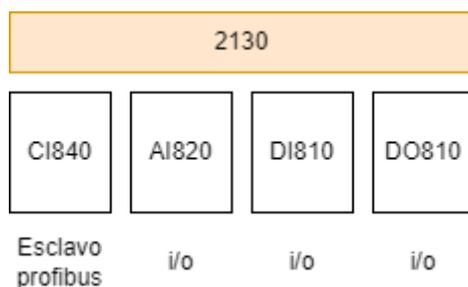


Figura 71 Esquema de controlador y dispositivos I/O

*Figura propia*

El controlador se encuentra en la sala eléctrica de chancado.

### 3.9.1. Módulo de entrada digital

Se seleccionó un modulo DI810



*Figura 72 Módulo DI810<sup>51</sup>*

*Tabla 31 Información técnica de DI810<sup>52</sup>*

|                            |                      |
|----------------------------|----------------------|
| <i>Información general</i> |                      |
| <i>Numero de articulo</i>  | <i>3BSE008508R1</i>  |
| <i>Tipo</i>                | <i>Digital Input</i> |
| <i>Señal</i>               | <i>24 V d.c.</i>     |
| <i>Numero de canales</i>   | <i>16</i>            |

### 3.9.2. Módulo de entrada analógica

Se seleccionó un módulo AI820

*Tabla 32 Información técnica del módulo AI820<sup>53</sup>*

|                           |                     |
|---------------------------|---------------------|
| <i>General info</i>       |                     |
| <i>Numero de articulo</i> | <i>3BSE008544R1</i> |

<sup>51</sup> ABB. (s.f.). *DI810 ABB*. Obtenido de <https://800xahardwareselector.com/product/di810?redirected=true>

<sup>52</sup> ABB. (s.f.). *DI810 ABB*. Obtenido de <https://800xahardwareselector.com/product/di810?redirected=true>

<sup>53</sup> ABB. (s.f.). *AI820 ABB*. Obtenido de <https://800xahardwareselector.com/product/ai820>

| <i>Tipo</i>              | <i>Analog Input</i>                                     |
|--------------------------|---|
| <i>Señal</i>             | <i>-20..+20 mA, 0(4)..20 mA, -10..+10 V, 0(2)..10 V</i> |
| <i>Numero de canales</i> | <i>4</i>  |

### 3.9.3. Módulo de salidas digitales

Se seleccionó un modulo DO810

*Tabla 33 Información técnica del módulo DO810<sup>54</sup>*

| <i>General info</i>       |   |
|---------------------------|---|
| <i>Numero de articulo</i> | <i>3BSE008510RI</i>                     |
| <i>Tipo</i>               | <i>Digital Output</i>                   |
| <i>Señal</i>              | <i>24V d.c. (12 – 32 V d.c.), 0.5 A</i> |
| <i>Numero de canales</i>  | <i>16</i>                               |

### 3.9.4. Switch

Este switch se encargará de la conexión de la cámara con la red de control. Se seleccionó el SPIDER 4TX/1FX



*Figura 73 Switch SPIDER<sup>55</sup>*

<sup>54</sup> ABB. (s.f.). *DO810 ABB*. Obtenido de <https://800xahardwareselector.com/product/do810>

<sup>55</sup> ANIXTER. (s.f.). *HIRSCHMANN | 943221001 | SPIDER 4TX/1FX*. Obtenido de [https://www.anixter.com/es\\_mx/products/943221001/HIRSCHMANN/Industrial-Communication-and-Control/p/367336](https://www.anixter.com/es_mx/products/943221001/HIRSCHMANN/Industrial-Communication-and-Control/p/367336)

### 3.9.5. Tablero de control local

Se necesitará:

- Selector de manual/automático
- Botón de parada de emergencia
- Selector de avance/retroceso
- Botón start de variador
- Botón on para energizar el electroimán
- Botón off para des energizar el electroimán

El selector manual y automático servirá para cambiar desde el tablero de control en forma local o automática, la parada de emergencia será la encargada de parar el sistema.

Para realizar el avance del del electroimán de forma local será necesario posicionar el selector en retroceso y/o avance y mantener presionado el botón start.

Para energizar el electroimán será necesario presionar el botón on y para descargar los metales se tendrá que presionar el botón off y posteriormente encenderlo.



*Figura 74 Tablero de control  
Fuente propia*

### **3.10. Diagrama de flujo**

Para el sistema se tiene tres tipos de control:

- Tablero de control en área
- Trabajo de forma automática desde sala de control
- Trabajo de manera remoto desde sala de control

#### **3.10.1. Diagrama de flujo del tablero de control – operación manual**

Para realizar la operación de forma manual, deberá estar seleccionado el selector de forma manual, si se desea realizar la traslación hacia adelante, debe seleccionarse el selector en posición forward y mantener presionado el botón start.

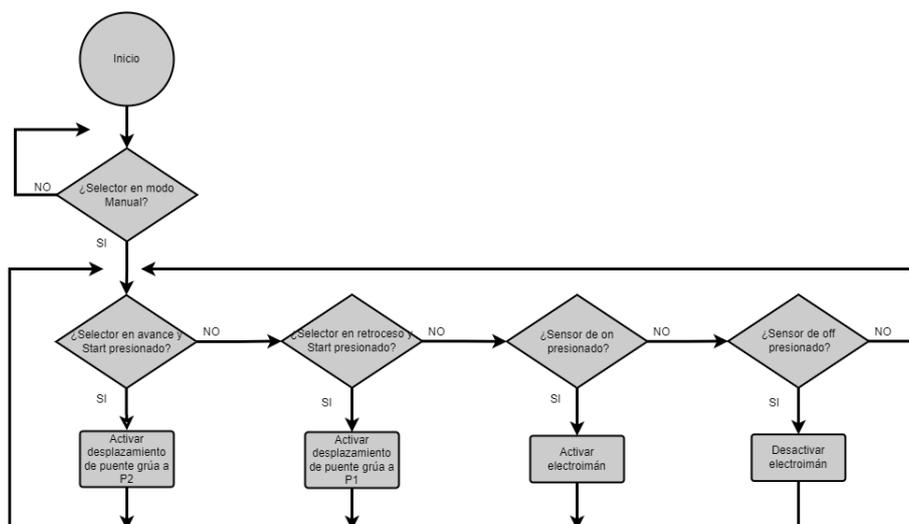


Figura 75 Diagrama de flujo del tablero de control – operación manual  
Fuente propia

### 3.10.2. Diagrama de flujo del modo automático

Deberá estar seleccionado el selector en forma automática, el control se da de acuerdo a un peso, si el peso es mayor a 8100 kg, este deberá realizar el proceso de descarga que consiste en:

- i. Traslado de la estructura a P2
- ii. Desenergizar electroimán
- iii. Esperar 10 segundos
- iv. Energizar electroimán
- v. Trasladar la estructura a P1

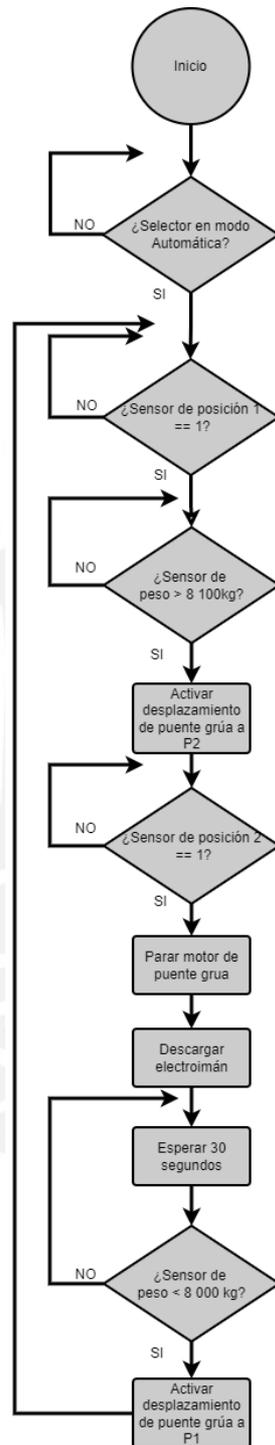


Figura 76 Diagrama de flujo del tablero de control – operación Automática  
Fuente propia

### 3.10.3. Diagrama de flujo del modo remoto

Cuando el supervisor de la sala de control visualice a través de la cámara que el electroimán esté listo para descargar y este aún no llegue a un peso mayor a 8100 kg, el podrá presionar en la interfaz un botón que permita realizar la descarga.

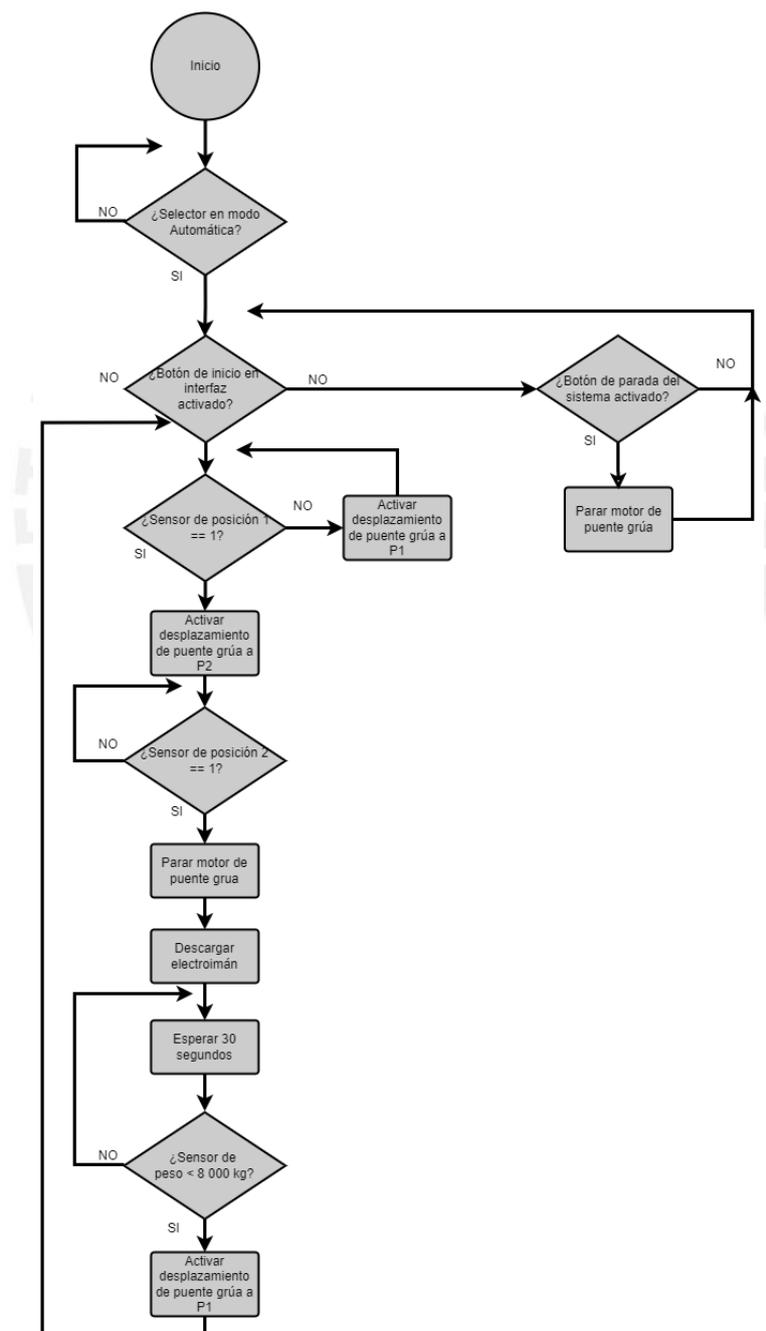


Figura 77 Diagrama de flujo del tablero de control – operación remota  
Fuente propia

### 3.11. Solución Integrada

La solución integral consta del carro de traslación el cual soporta al electroimán, además de 4 dinamómetros, uno en cada tensor los cuales medirán a tiempo real el peso. A los extremos del riel se encuentran dos sensores fines de carrera los cuales se activarán cuando el carro este en la posición de carga o descarga.



*Figura 78 Solución integral  
Fuente propia*

El funcionamiento es a través del control del peso, si este llega a pesar 100kg más del peso inicial deberá realizar el proceso de descarga de forma automática:

1. Trasladar el carro hacia la posición de descarga.
2. Desenergizar el electroimán.

3. Esperar 10 segundos para que caiga por gravedad los metales suspendidos del electroimán.
4. Trasladar el carro hacia la posición carga y energizar el electroimán.



*Figura 79 Sistema de traslación  
Fuente propia*

Debido que el funcionamiento del electroimán será de manera automática, es necesario cercar y delimitar el área, para ello se ha posicionado un sensor fin de carrera en la puerta. Cuando se abra la puerta de inmediato el movimiento de traslación se detendrá y se encenderá la sirena estroboscópica.



*Figura 80 Sistema de seguridad – puerta  
Fuente propia*

En la figura 81 se observa la ubicación de la cámara, en la Tolva ROM. Gracias a esta se podrá visualizar la cantidad y el volumen de metales que existe en tiempo real en el electroimán. Si el supervisor de sala de control detecta que el electroimán se encuentra lleno podrá activar la descarga a través de un boton en su interfaz. De igual manera si un personal se encuentra en campo y verifica que el electroimán se encuentra lleno, podrá realizar la descarga a través del panel de control de campo.



*Figura 81 Sistema de monitoreo  
Fuente propia*



Figura 82 Tablero de control en campo  
Fuente Propia

#### IV. PLANOS Y COSTOS

El presente capítulo describe los planos y costos del sistema, divididos en parte mecánica, electrónica, eléctrica y diseño.

##### 4.1.PLANOS

###### 4.1.1. PLANOS DE CONTROL

| <i>Código del plano</i> | <i>Título</i>                  |
|-------------------------|--------------------------------|
| <i>CON – A3 – 1</i>     | <i>ARQUITECTURA DE CONTROL</i> |

###### 4.1.2. PLANOS ELÉCTRICOS

| <i>Código del plano</i> | <i>Título</i>                             |
|-------------------------|---|
| <i>ELE – A4 – 1</i>     | <i>CIRCUITO DE POTENCIA</i>               |
| <i>ELE – A4 – 2</i>     | <i>CIRCUITO DE ELÉCTRICO Y DE CONTROL</i> |

###### 4.1.3. PLANOS MECÁNICOS

| <i>Código del plano</i> | <i>Título</i>                   |
|-------------------------|---------------------------------|
| <i>ME – A0 – 1</i>      | <i>ENSAMBLE GLOBAL</i>          |
| <i>ME – A3 – 1</i>      | <i>ENSABLE CARRO SUPERIOR</i>   |
| <i>ME – A3 – 2</i>      | <i>ENSAMBLE GLOBAL DE CARRO</i> |
| <i>ME – A3 – 3</i>      | <i>ENSAMBLE DEL LIMITADOR</i>   |

|                     |  |
|---------------------|--|
| <i>ME – A3 – 5</i>  | <i>ENSAMBLE CHUTE DE DESCARGA</i>          |
| <i>MD – A3 – 1</i>  | <i>SUJETADOR</i>                           |
| <i>MD – A3 – 2</i>  | <i>PALANCA – SIST TRASLACIÓN</i>           |
| <i>MD – A3 – 3</i>  | <i>SOPORTE SENSOR DE PUERTA</i>            |
| <i>MD – A3 – 4</i>  | <i>SOPORTE HORIZONTAL SENSOR DE PUERTA</i> |
| <i>MD – A3 – 5</i>  | <i>SOPORTE CERROJO</i>                     |
| <i>MD – A3 – 6</i>  | <i>LIMITADOR DE ESTRUCTURA L1</i>          |
| <i>MD – A3 – 7</i>  | <i>LIMITADOR DE ESTRUCTURA L2</i>          |
| <i>MD – A3 – 8</i>  | <i>LIMITADOR DE ESTRUCTURA CARTELA</i>     |
| <i>MD – A3 – 9</i>  | <i>LATERAL 1</i>                           |
| <i>MD – A3 – 10</i> | <i>LATERAL 2</i>                           |
| <i>MD – A3 – 11</i> | <i>BASE</i>                                |
| <i>MD – A3 – 12</i> | <i>ELEMENTO DE IZAJE</i>                   |
| <i>MD – A3 – 13</i> | <i>SOPORTE DE CERRADURA</i>                |

#### 4.2. ESTIMACIÓN DE COSTO

El costo del proyecto se dividirá en cinco ítems:

- Estructura de traslación
- Montaje de electroimán
- Componentes eléctricos y electrónicos
- Instalación de circuitos eléctricos y comisionado
- Diseño de ingeniería

Los dos primeros ítems lo realizarán una empresa contratista en la misma unidad minera, se adjunta la cotización en los anexos. Teniendo un costo total de: \$64,285.00

Los costos de los componentes eléctricos y electrónicos se detallan en la Tabla 35:

*Tabla 34: Costo de componentes eléctricos y electrónicos*

| <i>PRODUCTO</i>                       | <i>CANTIDAD</i> | <i>PRECIO UNITARIO</i> | <i>SUBTOTAL</i>   |
|---------------------------------------|-----------------|------------------------|-------------------|
| <i>Telemecanique Sensors OsiSense</i> | <i>5</i>        | <i>\$120.00</i>        | <i>\$600.00</i>   |
| <i>Camera OpenEye OE-C6413-AWR</i>    | <i>1</i>        | <i>\$305.00</i>        | <i>\$305.00</i>   |
| <i>Dinamómetro</i>                    | <i>4</i>        | <i>\$1,500.00</i>      | <i>\$6,000.00</i> |
| <i>Botoneras</i>                      | <i>1</i>        | <i>\$300.00</i>        | <i>\$300.00</i>   |
| <i>Tablero de Control</i>             | <i>1</i>        | <i>\$200.00</i>        | <i>\$200.00</i>   |
| <i>Variador altivar 320</i>           | <i>1</i>        | <i>\$600.00</i>        | <i>\$600.00</i>   |
| <i>Modulo DI810</i>                   | <i>1</i>        | <i>\$300.00</i>        | <i>\$300.00</i>   |

|                              |          |                 |                   |
|------------------------------|----------|-----------------|-------------------|
| <i>Modulo AI820</i>          | <i>1</i> | <i>\$300.00</i> | <i>\$300.00</i>   |
| <i>Modulo DO810</i>          | <i>1</i> | <i>\$300.00</i> | <i>\$300.00</i>   |
| <i>Switch SPIDER 4TX/1FX</i> | <i>1</i> | <i>\$50.00</i>  | <i>\$50.00</i>    |
| <i>Accesorios</i>            | <i>1</i> | <i>\$200.00</i> | <i>\$200.00</i>   |
| <i>TOTAL</i>                 |          |                 | <i>\$9,155.00</i> |

Para la instalación de los circuitos electrónicos, tendrá una duración de 3 días con el técnico y apoyo de 2 ayudantes.

*Tabla 35 Costo de precio de mano de obra*

| <i>PERSONAL</i>               | <i>CANTIDAD</i> | <i>PRECIO x DIA</i> | <i>DIAS</i> | <i>SUBTOTAL</i>   |
|-------------------------------|-----------------|---------------------|-------------|-------------------|
| <i>TECNICO INSTRUMENTISTA</i> | <i>1</i>        | <i>\$500.00</i>     | <i>3</i>    | <i>\$1,500.00</i> |
| <i>AYUDANTES</i>              | <i>2</i>        | <i>\$250.00</i>     | <i>3</i>    | <i>\$1,500.00</i> |
| <i>TOTAL</i>                  |                 |                     |             | <i>\$3,000.00</i> |

El diseño ingenieril del proyecto, se considera 30 días efectivos de 8 horas teniendo un costo de:

*Tabla 36 Costo de diseño*

| <i>PERSONAL</i>              | <i>CANTIDAD</i> | <i>PRECIO x DIA</i> | <i>DIAS</i> | <i>SUBTOTAL</i>    |
|------------------------------|-----------------|---------------------|-------------|--------------------|
| <i>INGENIERA MECATRÓNICA</i> | <i>1</i>        | <i>\$360.00</i>     | <i>50</i>   | <i>\$18,000.00</i> |
| <i>TOTAL</i>                 |                 |                     |             | <i>\$18,000.00</i> |

La inversión para realizar el proyecto es de \$94,440.00

*Tabla 37 Costos totales*

| <i>DESCRIPCIÓN</i>              | <i>SUBTOTAL</i>    |
|---------------------------------|--------------------|
| <i>ESTRUCTURA Y MONTAJE</i>     | <i>\$64,285.00</i> |
| <i>COMPONENTES ELECTRONICO</i>  | <i>\$9,155.00</i>  |
| <i>INSTALACION DE CIRCUITOS</i> | <i>\$3,000.00</i>  |
| <i>DISEÑO DE INGENIERÍA</i>     | <i>\$18,000.00</i> |
| <i>TOTAL</i>                    | <i>\$94,440.00</i> |

## V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- El diseño de la maquina satisface el objetivo principal de automatizar el proceso de la carga y descarga de metales en el electroimán, ello se garantiza por la selección de sensores y actuadores de acuerdo con los requerimientos del sistema, además de la verificación de la estructura por simulaciones en el software.
- Para el control en modo automático se seleccionaron 4 dinamómetros, los cuales garantizan el sensado del peso del electroimán con los metales, de acuerdo con un peso establecido, el sistema realizará el proceso de descarga en forma automática.
- Para el control en modo local, en campo se contará con un tablero de control donde se tendrán un selector para que el operador pueda maniobrar el modo local, posterior a ello cuenta con botones para proceder con el retroceso o avance, así como el energizado y des energizado del electroimán.
- Desde la sala de control, también, se podrá realizar la descarga a través de un botón en la interfaz, si se detectara a través de la cámara que el electroimán se encuentra listo para su descarga.
- El costo estimado total del proyecto es de \$94,440.00, donde el costo de la estructura y del ensamblaje es de \$64,285.00, y el costo de componentes electrónicos de \$9,155.00 y el costo de la instalación de los circuitos \$3,000.00.
- El sistema ha sido diseñado para trabajar en climas cálidos como fríos (temperaturas alrededor de  $-15^{\circ}$  a  $40^{\circ}$ ); además de tener una interfaz para el usuario sencillo y fácil de comprender el funcionamiento.
- El sistema utiliza tensión trifásica de 440V a 60 Hz, cumpliendo los requerimientos de la lista de exigencia.

- Gracias a la automatización de este sistema, se evitarán constantes cortes de la faja transportadoras que no solo es el daño físico, sino que implica una parada de más de 2 horas de planta, ocasionando grandes pérdidas económicas.



## BIBLIOGRAFÍA

- ABB. (s.f.). *AI820 ABB*. Obtenido de <https://800xahardwareselector.com/product/ai820>
- ABB. (s.f.). *DI810 ABB*. Obtenido de <https://800xahardwareselector.com/product/di810?redirected=true>
- ABB. (s.f.). *DO810 ABB*. Obtenido de <https://800xahardwareselector.com/product/do810>
- ANIXTER. (s.f.). *HIRSCHMANN | 943221001 | SPIDER 4TX/1FX*. Obtenido de [https://www.anixter.com/es\\_mx/products/943221001/HIRSCHMANN/Industrial-Communication-and-Control/p/367336](https://www.anixter.com/es_mx/products/943221001/HIRSCHMANN/Industrial-Communication-and-Control/p/367336)
- Arcelor Mittal. (s.f.). *Rail A45*. Obtenido de <https://rails.arcelormittal.com/types-rails/crane-rails/european-standards/rail-a45>
- Carr Lane. (s.f.). *CL-36551-FAS Forged Anchor Shackles*. Obtenido de <https://www.carrlane.com/product/hoist-rings/hoist-ring-accessories/forged-anchor-shackles/cl-36551-fas>
- De Negri, M. &. (Mayo de 2021). *DESIGN METHODOLOGY FOR MECHATRONIC SYSTEMS*. Obtenido de <http://laship.ufsc.br/site/wp-content/uploads/2021/10/Mechatronic-design-methodology-Digital-Ebook.pdf.pdf>
- ERIEZ. (s.f.). *ERIEZ - ELECTROIMÁN*. Obtenido de <https://www.eriez.com/>
- gnc Caledrería. (2016). *QUÉ ES UN PUENTE GRÚA*. Obtenido de <https://www.gnccaldereria.es/que-es-un-puente-grua/>
- INEI. (2022). *Instituto Nacional de Estadística e Informática*. Obtenido de <https://m.inei.gov.pe/estadisticas/indice-tematico/mining1/>
- Inmaculada, Minera Ares - UO. (2015). *MEMORIA DESCRIPTIVA DE LOS PROCESOS DE PLANTA*.
- Instrumentacionycontrol. (2011). Obtenido de <https://instrumentacionycontrol.net/introduccion-a-la-arquitectura-de-un-dcs-conociendo-su-estructura-tipica/>
- Kisi. (s.f.). *OpenEye Security Cameras: Overview*. Obtenido de <https://www.getkisi.com/best-security-camera-systems/openeye>
- METSO. (s.f.). *Apron feeders*. Obtenido de <https://www.mogroup.com/products-and-services/plants-and-capital-equipment/feeders/apron-feeders/>
- MIGUEL ABAD . (s.f.). *Hojas Técnicas - Traslaciones y conjuntos rodantes*. Obtenido de <https://miguelabad.com.ar/wp-content/uploads/2016/12/conjuntos-de-ruedas-para-rieles.pdf>
- Omega. (s.f.). *Introducción a las celdas de carga*. Obtenido de <https://mx.omega.com/prodinfo/celdas-de-carga.html>
- PCE. (s.f.). *Dinamómetro de tracción PCE-DDM 5WI*. Obtenido de [https://www.pce-instruments.com/peru/instrumento-medida/medidor/dinamometro-pce-instruments-dinam\\_metro-de-tracci\\_n-pce-ddm-5wi-det\\_5899732.htm?\\_list=kat&\\_listpos=32](https://www.pce-instruments.com/peru/instrumento-medida/medidor/dinamometro-pce-instruments-dinam_metro-de-tracci_n-pce-ddm-5wi-det_5899732.htm?_list=kat&_listpos=32)
- Piab. (s.f.). *Piab Accesorios de sistema y soluciones*. Obtenido de <https://www.piab.com/es-es/accesorios-de-sistema-y-soluciones/>
- PODEM. (s.f.). *Componentes para puentes grúa*. Obtenido de <http://www.dorance.biz/catalogos/Podemspanol.pdf>

- RS. (s.f.). *Final de carrera con Palanca Telemecanique Sensors*. Obtenido de <<https://cl.rsdelivers.com/product/telemecanique-sensors/xckj10511/final-de-carrera-con-palanca-telemecanique-sensors/nc-600v-10a-ip66/0235947>>
- Rumbo Minero. (7 de noviembre de 2019). *Automatización en minería: Control, Eficiencia e Integración en Operaciones*. Obtenido de <https://www.rumbominero.com/revista/informes/automatizacion-en-mineria-control-eficiencia-e-integracion-en-operaciones/>
- Schneider Electric. (s.f.). *Altivar 320 - Variador de velocidad ATV320-2.2kW-380...500V-3 fase-compacto*. Obtenido de <https://www.se.com/es/es/product/ATV320U22N4C/altivar-320-variador-de-velocidad-atv3202-2kw380-500v3-fasecompacto>
- Schneider Electric. (s.f.). *ATV320 Manual de programación*. Obtenido de <https://www.se.com/pe/es/download/document/NVE41298/>
- USCC, US CARGO CONTROL. (s.f.). *Galvanized Turnbuckle - Import - Jaw & Jaw - 1-1/4" x 12"*. Obtenido de <https://www.uscargocontrol.com/products/galvanized-turnbuckle-jaw-jaw-1-1-4-x12>
- Wikipedia. (s.f.). *Dinamómetro*. Obtenido de <https://es.wikipedia.org/wiki/Dinam%C3%B3metro>



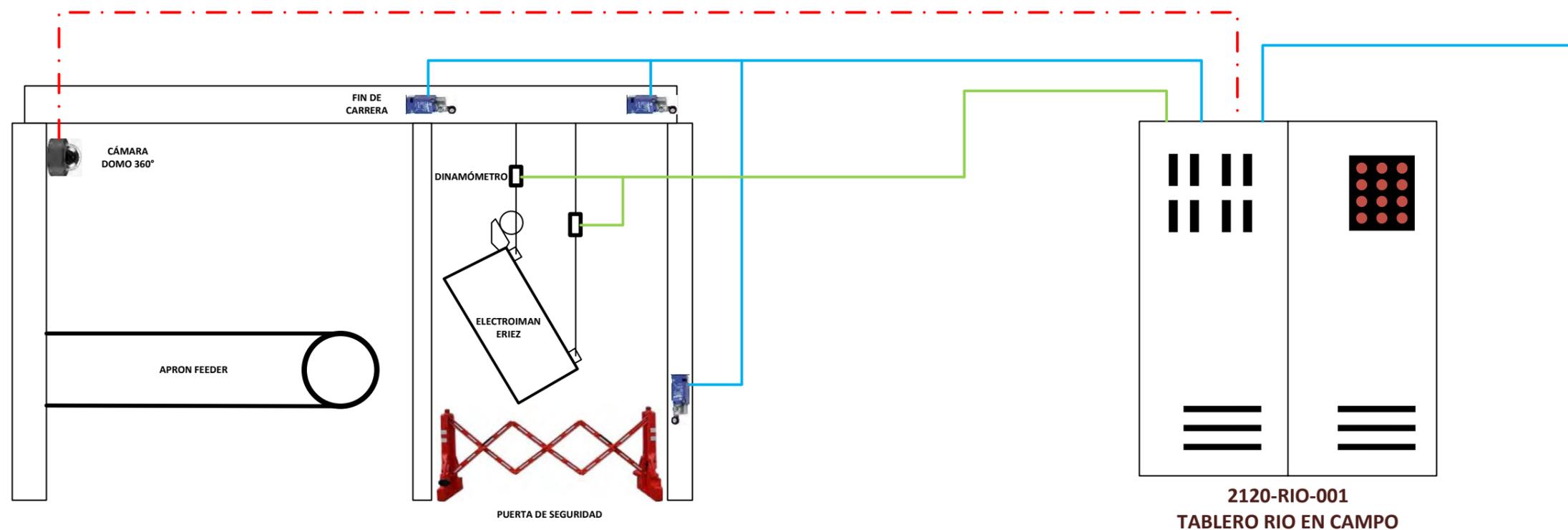
## INDICE DE ANEXOS

|             |  |           |
|-------------|--|-----------|
| <b>I.</b>   | <b>ARQUITECTURA DE CONTROL.....</b>      | <b>1</b>  |
| <b>II.</b>  | <b>LISTA DE SEÑALES .....</b>            | <b>3</b>  |
| <b>III.</b> | <b>PLANO DE CONTROL Y POTENCIA .....</b> | <b>7</b>  |
| <b>IV.</b>  | <b>PLANOS MECÁNICOS.....</b>             | <b>10</b> |



## **I. ARQUITECTURA DE CONTROL**





**LEYENDA**

|               |  |
|---------------|--|
| ETHERNET IP   |  |
| SEÑAL 4-20 mA |  |
| CABLE CONTROL |  |

| NOTAS | REV | DESCRIPCIÓN   | FECHA      | DIBUJADO POR: | FECHA DIBUJO:   | APROBACIÓN DEL CLIENTE      | PROPIETARIO:   |
|-------|-----|---------------|------------|---------------|-----------------|-----------------------------|--|
|       | A   | PARA REVISIÓN | 29/06/2022 | I. NUÑEZ      | 29/06/2022      | APROBADO POR:               |  |
|       |     |               |            | DISEÑADO POR: | FECHA DISEÑO:   | FECHA:                      | PROYECTO: AUTOMATIZACIÓN DE PROCESO DE CARGA Y DESCARGA DE ELECTROIMAN |
|       |     |               |            | REVISADO POR: | FECHA REVISIÓN: | ESCALA: S/E                 | PLANO: ARQUITECTURA DE CONTROL   |
|       |     |               |            | APROBADO POR: | FECHA APROB.:   | DISCIPLINA: INSTRUMENTACIÓN | N° PLANO: REV: A   |

## II. LISTA DE SEÑALES





**PROYECTO : Automatización del proceso de carga y descarga de metales en un electroimán de una planta minera**

**DOCUMENTO : Lista de Señales**

|                 |          |                               |  |
|-----------------|----------|-------------------------------|--|
| Elaborado:      | I. Nuñez | 30/06/2022                    | DOCUMENTO:<br><br>Lista de Señales   |
| Revisado:       | I. Nuñez | 30/06/2022                    |  |
| Supervisado:    |          | -                             |  |
| Aprobado:       |          |                               |  |
| PROYECTO:       |          |                               | Automatización del proceso de carga y descarga de metales en un electroimán de una planta minera |
| Cód. documento: |          | INST001-2100-02-LS-2120_Rev.A | Revisión:<br>A   |

## Automatización del proceso de carga y descarga del electroimán

| ÁREA:     |   | 2120 - Almacenamiento y Clasificación de Mineral ROM |          |         |     |              |                  |                                   |            |
|-----------|---|--|----------|---------|-----|--------------|------------------|-----------------------------------|------------|
| GABINETE: |   | 2120-RIO-001   |          |         |     |              |                  |                                   |            |
| MÓDULO:   |   | DI 810 – TU 830 V1                                   |          |         |     |              |                  |                                   |            |
| DESCRIP:  |   | DI – Entradas digitales 24 VDC                       |          |         |     |              |                  |                                   |            |
| R         | S | CH   | I/O      | Bornera |     | Señal        | Tipo de conexión | Descripción                       | Rango      |
| 20        | 2 | IX2.20.2.1   | Input 1  | B1      | C1  | 2120-LR-001  | Transistor       | SELECTOR MANUAL/AUTO DEL SISTEMA  | True/False |
| 20        | 2 | IX2.20.2.2   | Input 2  | B2      | C2  | 2120-ZSC-001 | Transistor       | Sensor de posición carga          | True/False |
| 20        | 2 | IX2.20.2.3   | Input 3  | B3      | C3  | 2120-ZSO-001 | Transistor       | Sensor de posición descarga       | True/False |
| 20        | 2 | IX2.20.2.4   | Input 4  | B4      | C4  | 2120-ZSC-002 | Transistor       | Sensor de contacto para la puerta | True/False |
| 20        | 2 | IX2.20.2.5   | Input 5  | B5      | C5  | SPARE        | Transistor       | SPARE (24 VDC)                    |            |
| 20        | 2 | IX2.20.2.6   | Input 6  | B6      | C6  | SPARE        | Transistor       | SPARE (24 VDC)                    |            |
| 20        | 2 | IX2.20.2.7   | Input 7  | B7      | C7  | SPARE        | Transistor       | SPARE (24 VDC)                    |            |
| 20        | 2 | IX2.20.2.8   | Input 8  | B8      | C8  | SPARE        | Transistor       | SPARE (24 VDC)                    |            |
| 20        | 2 | IX2.20.2.9   | Input 9  | B9      | C9  | SPARE        | Transistor       | SPARE (24 VDC)                    |            |
| 20        | 2 | IX2.20.2.10  | Input 10 | B10     | C10 | SPARE        | Transistor       | SPARE (24 VDC)                    |            |
| 20        | 2 | IX2.20.2.11  | Input 11 | B11     | C11 | SPARE        | Transistor       | SPARE (24 VDC)                    |            |
| 20        | 2 | IX2.20.2.12  | Input 12 | B12     | C12 | SPARE        | Transistor       | SPARE (24 VDC)                    |            |
| 20        | 2 | IX2.20.2.13  | Input 13 | B13     | C13 | SPARE        | Transistor       | SPARE (24 VDC)                    |            |
| 20        | 2 | IX2.20.2.14  | Input 14 | B14     | C14 | SPARE        | Transistor       | SPARE (24 VDC)                    |            |
| 20        | 2 | IX2.20.2.15  | Input 15 | B15     | C15 | SPARE        | Transistor       | SPARE (24 VDC)                    |            |
| 20        | 2 | IX2.20.2.16  | Input 16 | B16     | C16 | SPARE        | Transistor       | SPARE (24 VDC)                    |            |

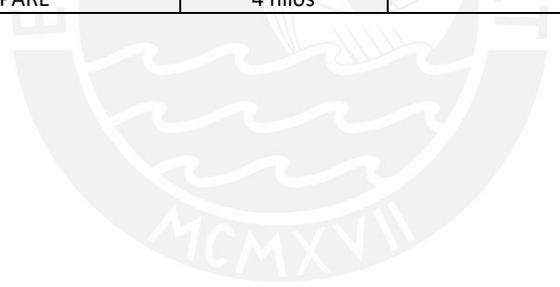
| ÁREA:     |   | 2120 - Almacenamiento y Clasificación de Mineral ROM |           |         |     |             |                  |                                     |            |
|-----------|---|--|-----------|---------|-----|-------------|------------------|-------------------------------------|------------|
| GABINETE: |   | 2120-RIO-001   |           |         |     |             |                  |                                     |            |
| MÓDULO:   |   | DO 810 – TU 830 V1                                   |           |         |     |             |                  |                                     |            |
| DESCRIP:  |   | DO – Salidas digitales 24 VDC                        |           |         |     |             |                  |                                     |            |
| R         | S | CH   | I/O       | Bornera |     | Señal       | Tipo de conexión | Descripción                         | Rango      |
| 20        | 3 | QX2.20.3.1   | Output 1  | C1      | A1  | 2120-RC-001 | Transistor       | Variador Start                      | True/False |
| 20        | 3 | QX2.20.3.2   | Output 2  | C2      | A2  | 2120-RC-002 | Transistor       | Comando Forward                     | True/False |
| 20        | 3 | QX2.20.3.3   | Output 3  | C3      | A3  | 2120-RC-003 | Transistor       | Comando Reverse                     | True/False |
| 20        | 3 | QX2.20.3.4   | Output 4  | C4      | A4  | 2120-RC-004 | Transistor       | Comando de encendido de Electroimán | True/False |
| 20        | 3 | QX2.20.3.5   | Output 5  | C5      | A5  | SPARE       | Transistor       | SPARE (24 VDC)                      |            |
| 20        | 3 | QX2.20.3.6   | Output 6  | C6      | A6  | SPARE       | Transistor       | SPARE (24 VDC)                      |            |
| 20        | 3 | QX2.20.3.7   | Output 7  | C7      | A7  | SPARE       | Transistor       | SPARE (24 VDC)                      |            |
| 20        | 3 | QX2.20.3.8   | Output 8  | C8      | A8  | SPARE       | Transistor       | SPARE (24 VDC)                      |            |
| 20        | 3 | QX2.20.3.9   | Output 9  | C9      | A9  | SPARE       | Transistor       | SPARE (24 VDC)                      |            |
| 20        | 3 | QX2.20.3.10  | Output 10 | C10     | A10 | SPARE       | Transistor       | SPARE (24 VDC)                      |            |
| 20        | 3 | QX2.20.3.11  | Output 11 | C11     | A11 | SPARE       | Transistor       | SPARE (24 VDC)                      |            |

Lista de Señales

INST001-2100-02-LS-2120\_Rev.A

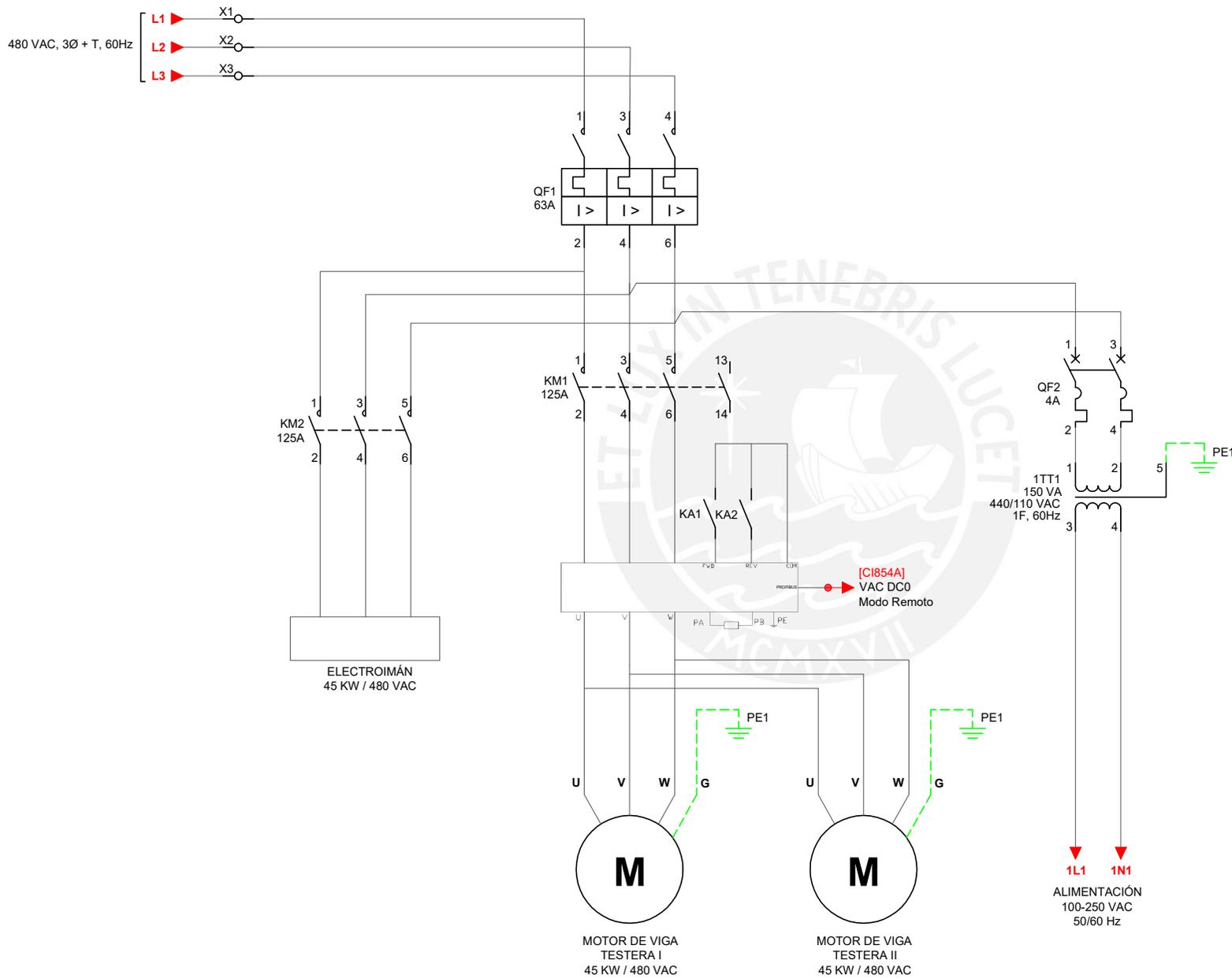
|    |   |             |           |     |     |       |            |                |  |
|----|---|-------------|-----------|-----|-----|-------|------------|----------------|--|
| 20 | 3 | QX2.20.3.12 | Output 12 | C12 | A12 | SPARE | Transistor | SPARE (24 VDC) |  |
| 20 | 3 | QX2.20.3.13 | Output 13 | C13 | A13 | SPARE | Transistor | SPARE (24 VDC) |  |
| 20 | 3 | QX2.20.3.14 | Output 14 | C14 | A14 | SPARE | Transistor | SPARE (24 VDC) |  |
| 20 | 3 | QX2.20.3.15 | Output 15 | C15 | A15 | SPARE | Transistor | SPARE (24 VDC) |  |
| 20 | 3 | QX2.20.3.16 | Output 16 | C16 | A16 | SPARE | Transistor | SPARE (24 VDC) |  |

| <b>ÁREA:</b>     |   | <b>2120 - Almacenamiento y Clasificación de Mineral ROM</b> |         |         |     |               |                  |                        |           |
|------------------|---|---|---------|---------|-----|---------------|------------------|------------------------|-----------|
| <b>GABINETE:</b> |   | <b>2120-RIO-001</b>   |         |         |     |               |                  |                        |           |
| <b>MÓDULO:</b>   |   | <b>AI 815 – TU 838</b>                                      |         |         |     |               |                  |                        |           |
| <b>DESCRIP:</b>  |   | <b>AI – Entradas analógicas</b>                             |         |         |     |               |                  |                        |           |
| R                | S | CH  | I/O     | Bornera |     | Señal         | Tipo de conexión | Descripción            | Rango     |
| 20               | 5 | IW2.20.5.1  | Input 1 | A1      | B2  | 2120-AIT-001  | 2 hilos          | Sensor de peso cable 1 | 4 a 20 mA |
| 20               | 5 | IW2.20.5.2  | Input 2 | A3      | B4  | 2120- AIT-002 | 2 hilos          | Sensor de peso cable 2 | 4 a 20 mA |
| 20               | 5 | IW2.20.5.3  | Input 3 | A5      | B6  | 2120- AIT-003 | 2 hilos          | Sensor de peso cable 3 | 4 a 20 mA |
| 20               | 5 | IW2.20.5.4  | Input 4 | A7      | B8  | 2120- AIT-004 | 2 hilos          | Sensor de peso cable 4 | 4 a 20 mA |
| 20               | 5 | IW2.20.5.5  | Input 5 | B10     | A10 | SPARE         | 4 hilos          | SPARE                  |           |
| 20               | 5 | IW2.20.5.6  | Input 6 | B12     | A12 | SPARE         | 4 hilos          | SPARE                  |           |
| 20               | 5 | IW2.20.5.7  | Input 7 | B14     | A14 | SPARE         | 4 hilos          | SPARE                  |           |
| 20               | 5 | IW2.20.5.8  | Input 8 | B16     | A16 | SPARE         | 4 hilos          | SPARE                  |           |

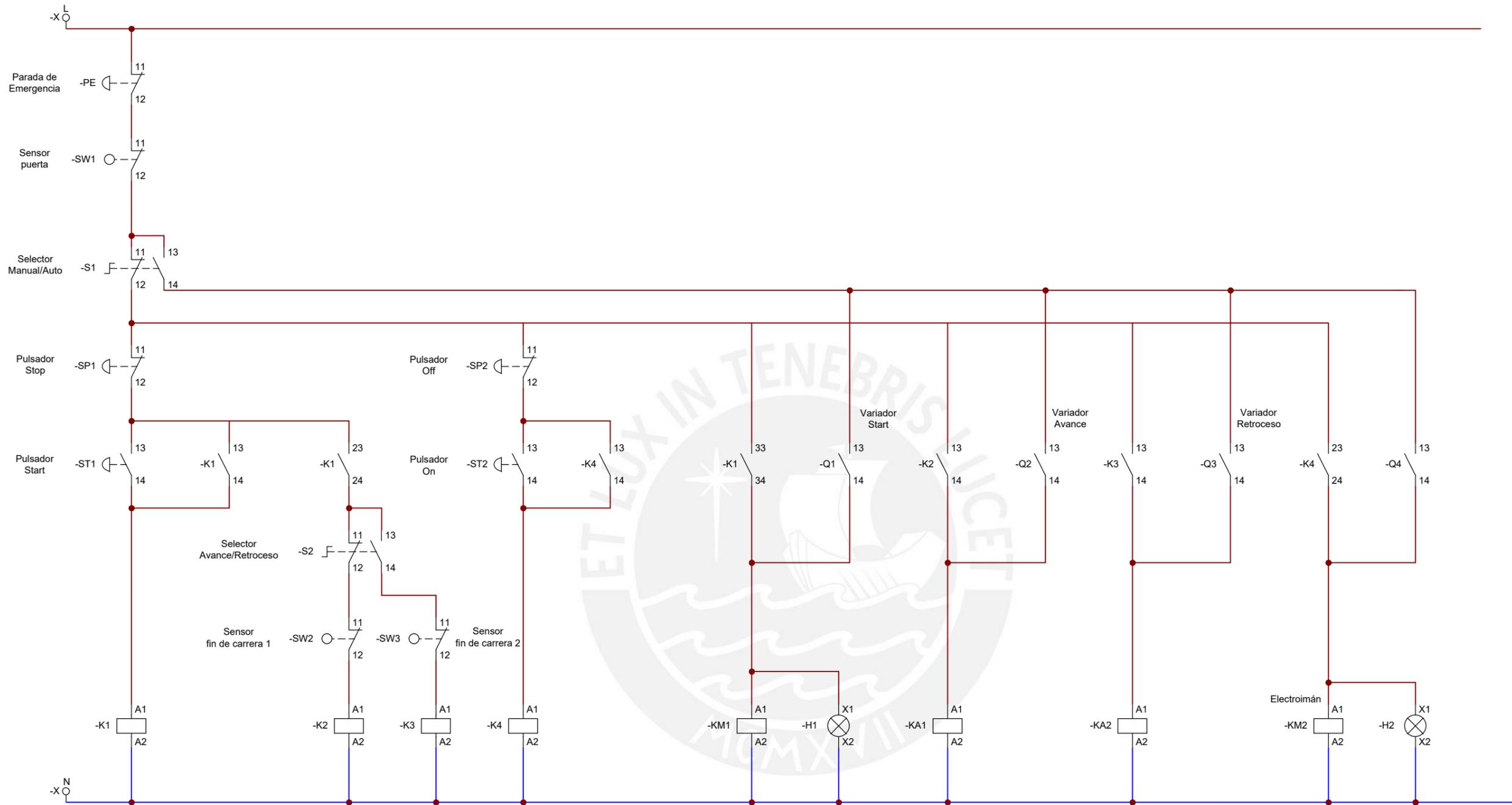


### III. PLANO DE CONTROL Y POTENCIA





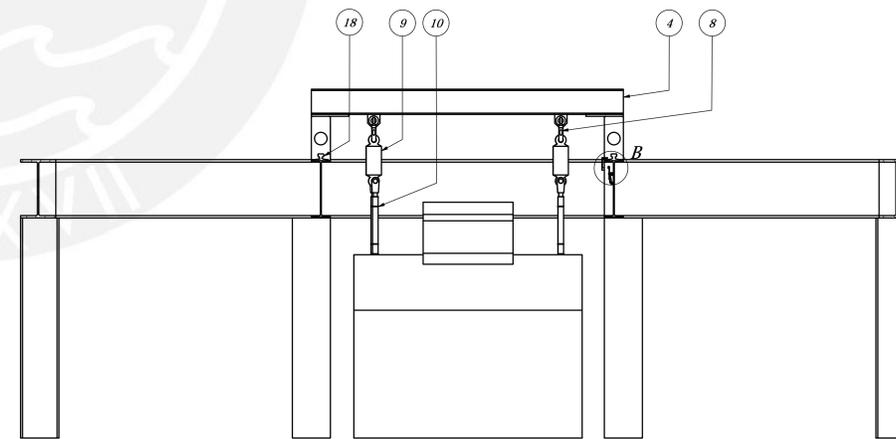
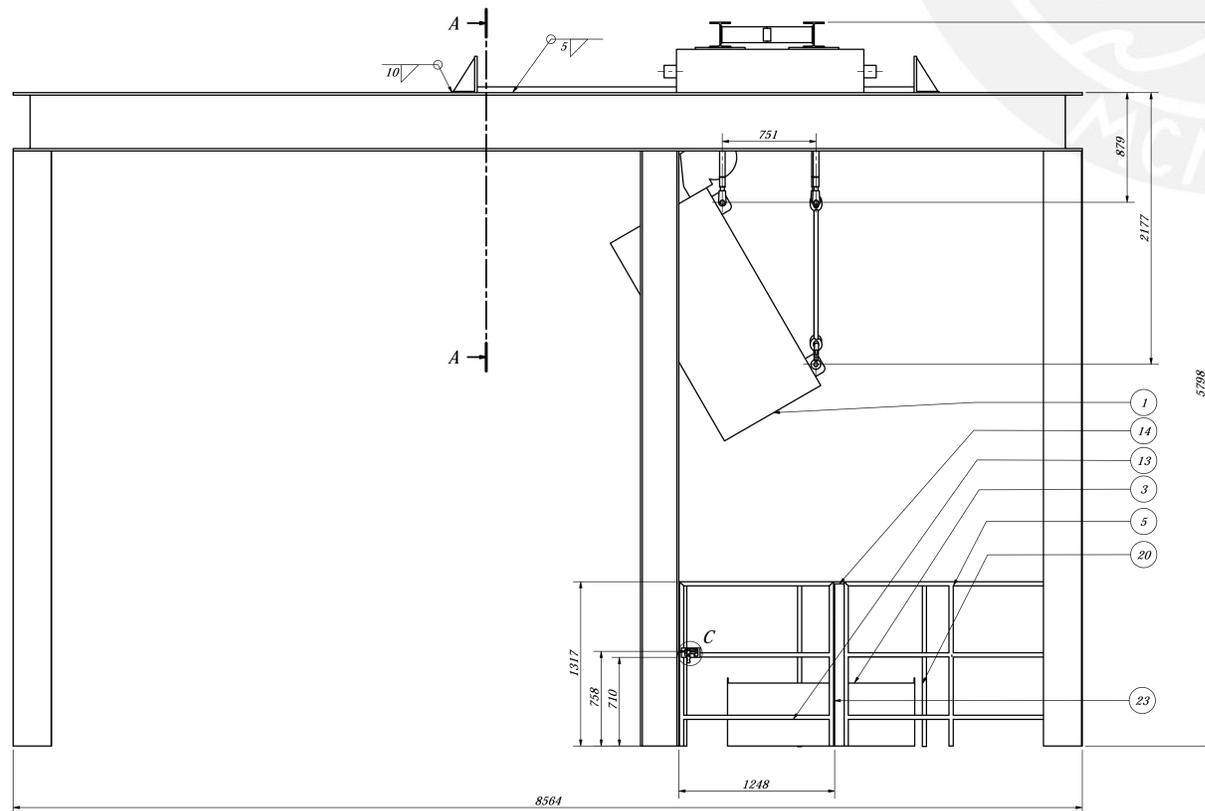
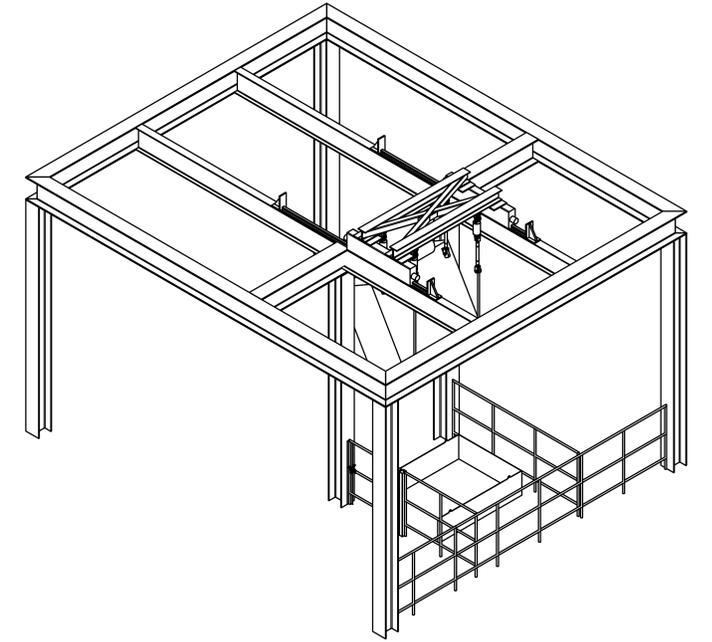
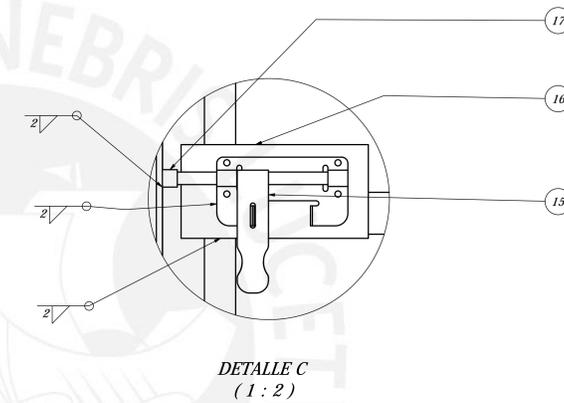
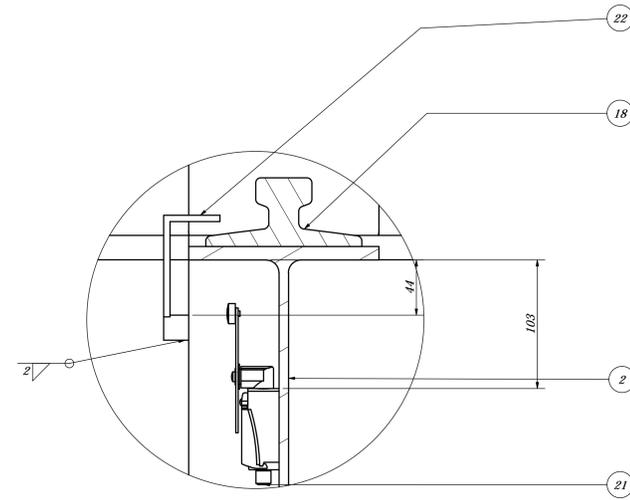
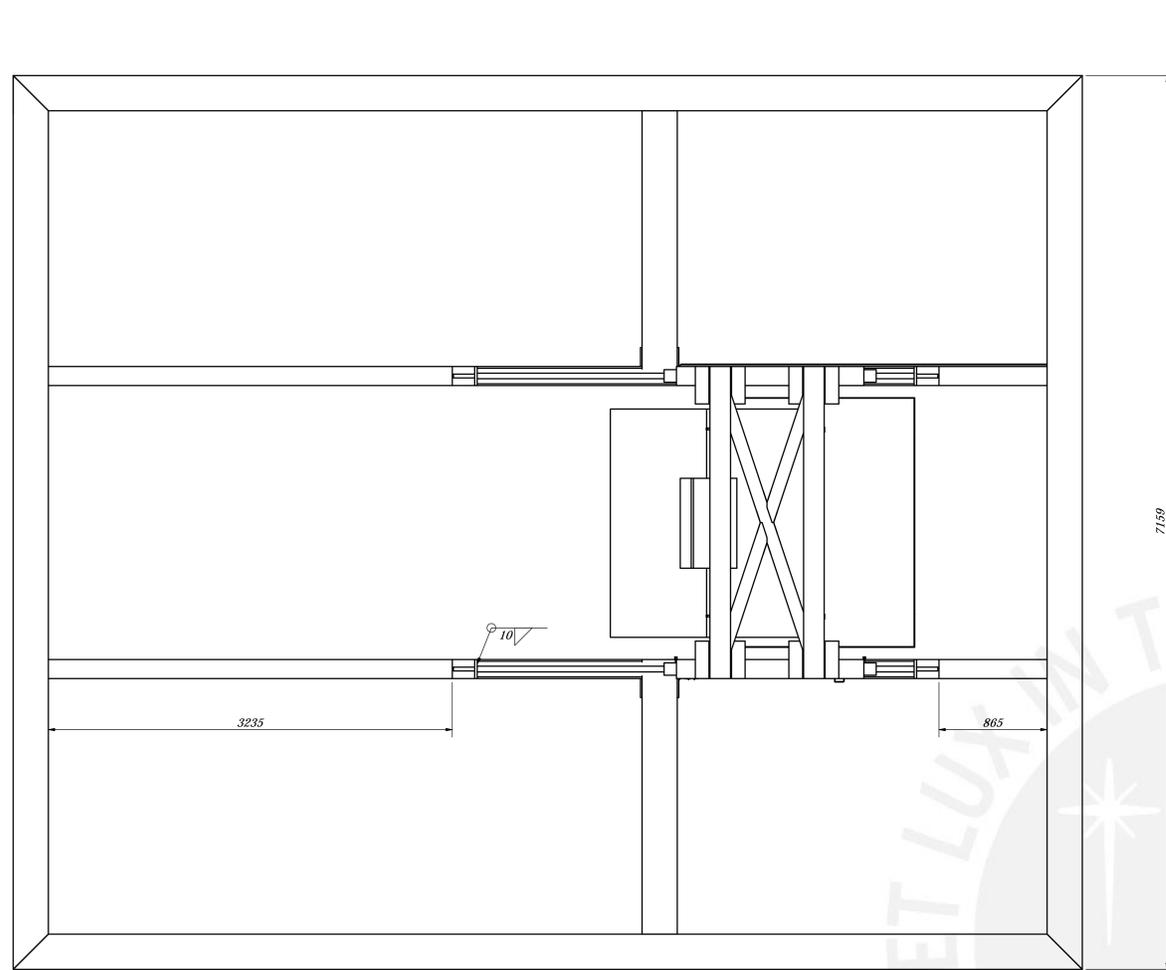
|      |            |                    |               |          |      |   |   |   |         |   |                           |    |           |      |      |    |    |    |    |
|------|------------|--------------------|---------------|----------|------|---|---|---|---------|---|---------------------------|----|-----------|------|------|----|----|----|----|
| 1    | 2          | 3                  | 4             | 5        | 6    | 7 | 8 | 9 | 10      | 11                                      | 12                        | 13 | 14        | 15   | 16   | 17 | 18 | 19 | 20 |
| REV: | FECHA:     | REVISIONES:        | DIBUJADO POR: | I. NUNEZ | PUCP |   |   |   | ESCALA: | DESCRIPCION:                            | PROYECTO:                 |    |           |      | REV: |    |    |    |    |
| 0    | 18/06/2022 | Emitido p/revision | DISEÑADO POR: | I. NUNEZ |      |   |   |   |         | TABLERO DE FUERZA Y CONTROL             | AUTOMATIZACIÓN DE PROCESO |    |           |      | 0    |    |    |    |    |
|      |            |                    | REVISADO POR: | I. NUNEZ |      |   |   |   |         | DIAGRAMA DE FUERZA Y CONTROL 480/110VAC | PLANO N°:                 |    | ÁREA:     | PAG: |      |    |    |    |    |
|      |            |                    | APROBADO POR: | I. NUNEZ |      |   |   |   |         |   | CDP003-2003-10-PME-001    |    | PROYECTOS | 1    |      |    |    |    |    |



|          | Fecha      | Nombre   | Firmas | Entidad   | Título   | Fecha       | Núm:   |
|----------|------------|----------|--------|---|--|-------------|--------|
| Dibujado | 01/07/2022 | I. Nuñez |        |  | Automatización del proceso de carga y descarga del electroimán | 01-Jul-2022 | 1 de 1 |

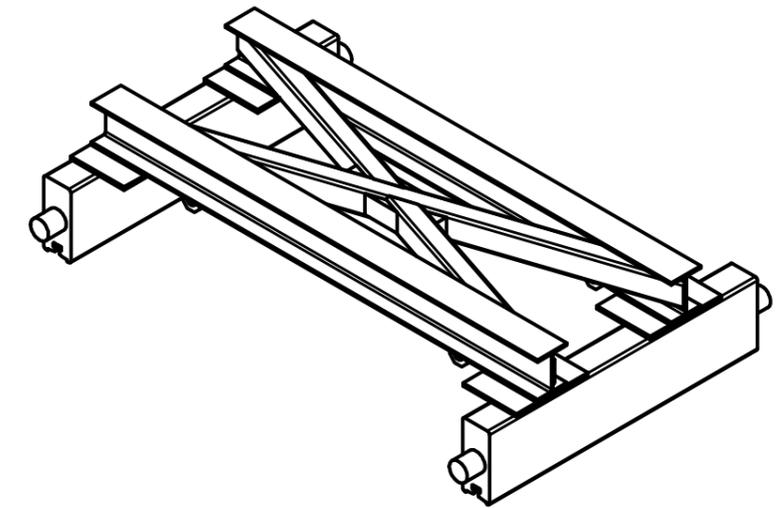
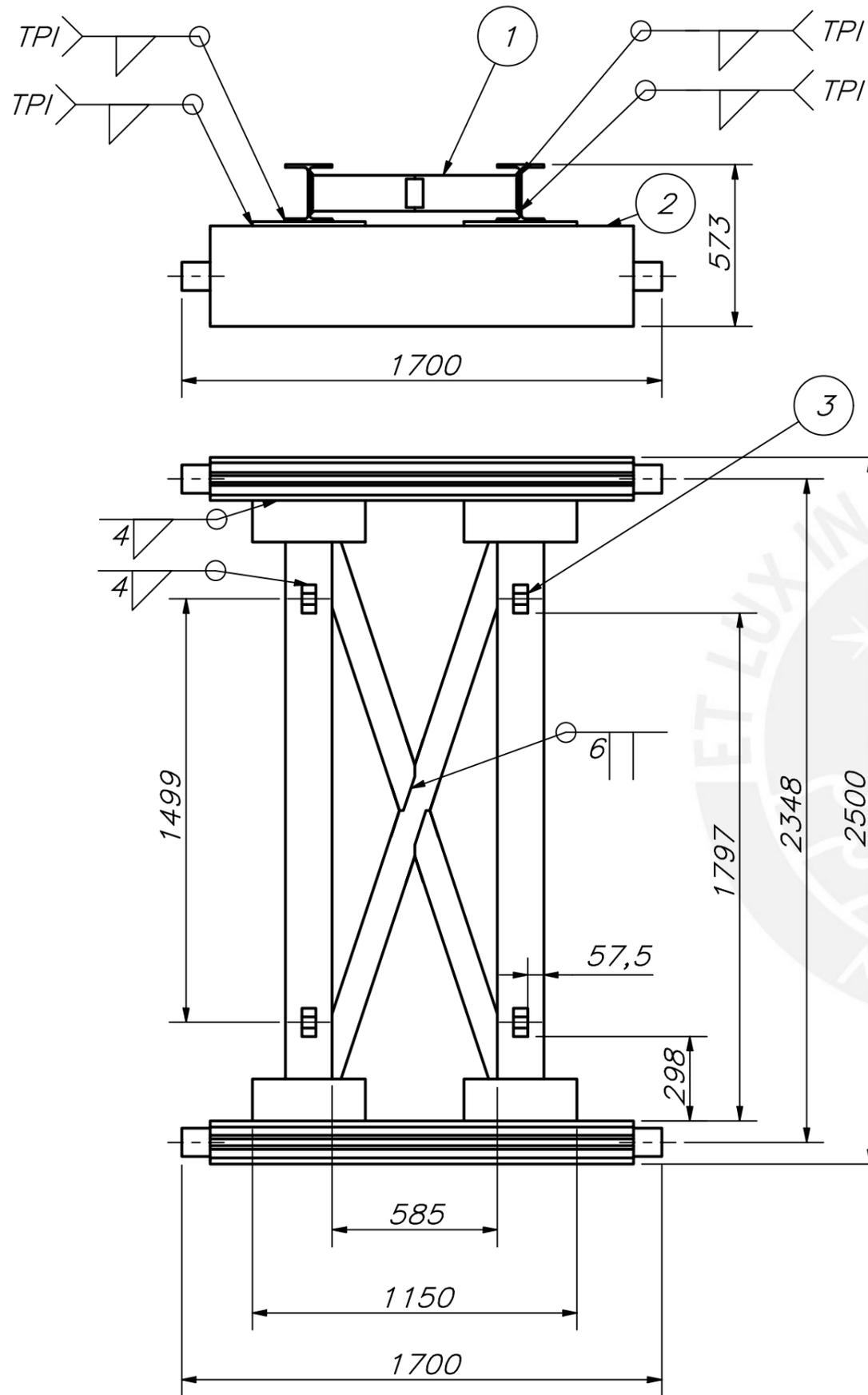
**IV. PLANOS MECÁNICOS**



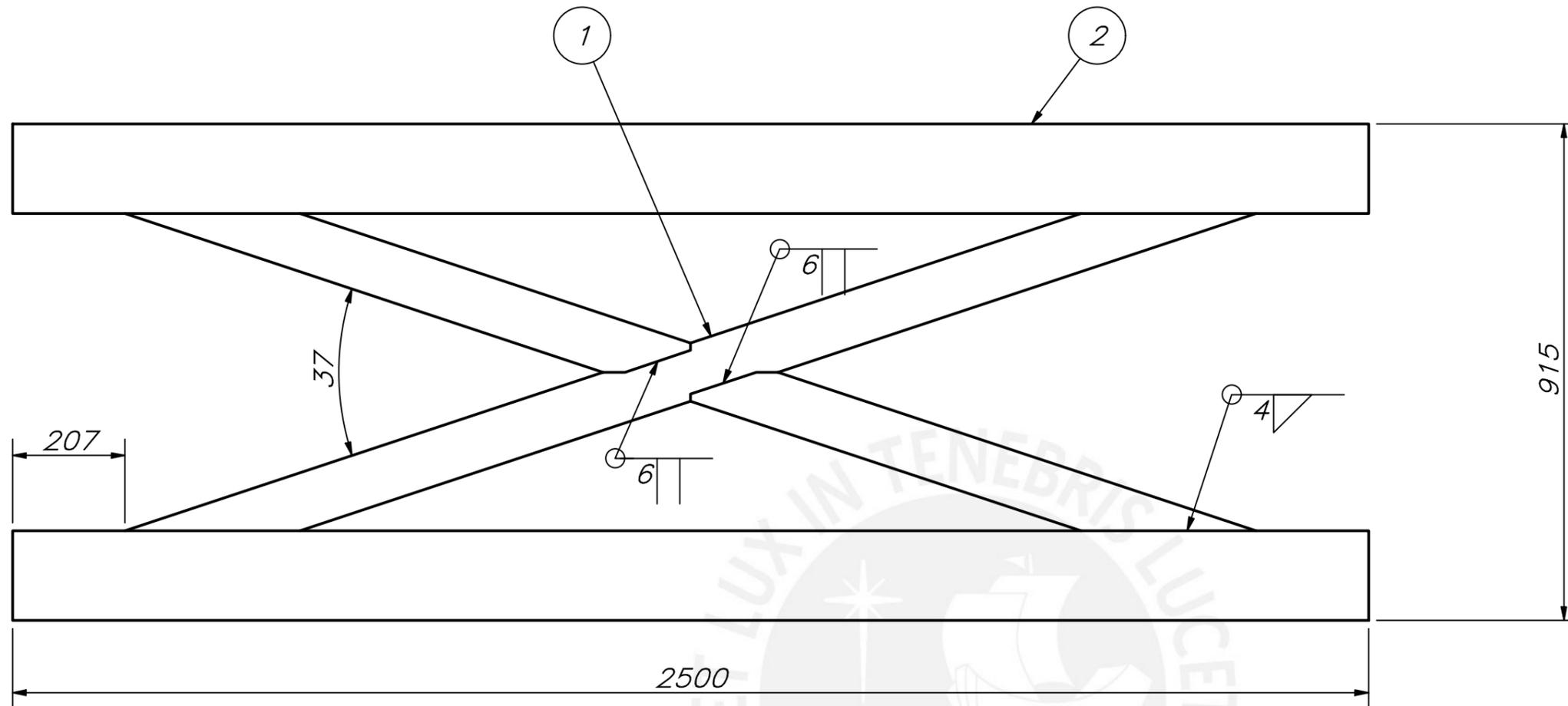


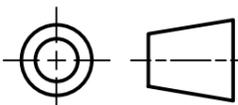
| PARTS LIST |       |  |           |                   |               |
|------------|-------|--|-----------|-------------------|---------------|
| POS.       | CANT. | DESCRIPCIÓN  | NORMA     | MATERIAL          | OBSERVACIONES |
| 1          | 1     | Electrolman ERIEZ SE 7930 MC - 1                             |           |                   |               |
| 2          | 1     | Estructura   | A36       |                   |               |
| 3          | 1     | Bandeja de descarga  | A36       | PLANO MD-A3-7     |               |
| 4          | 1     | Ensamble global de carro                                     |           | PLANO ME-A3-3     |               |
| 5          | 1     | Baranda  | SCH40     | PLANO MB-A3-1     |               |
| 6          | 1     | Soporte de baranda   |           |                   |               |
| 8          | 6     | Grillete Forged Anchor Shackles CL-36551                     |           |                   |               |
| 9          | 4     | Dinamometro PIAB 300040 type Q                               |           |                   |               |
| 11         | 2     | Wire Rope 5 ton  |           |                   |               |
| 12         | 1     | Baranda 2  | SCH40     | PLANO MB-A3-2     |               |
| 13         | 1     | Baranda 3  | SCH40     | PLANO MB-A3-3     |               |
| 14         | 1     | Soporte  | A36       |                   |               |
| 15         | 1     | Cerradura Yale   |           |                   |               |
| 16         | 1     | Soporte cerrojo  | A36       | PLANO MD-A3-5     |               |
| 17         | 1     | Soporte de cerradura   | AISI 1045 | PLANO MD-A3-13    |               |
| 18         | 2     | Biel A45   | DIN 536   | Acero L = 3500 mm |               |
| 19         | 4     | Límitador de estructura                                      | A36       | PLANO ME-A3-3     |               |
| 20         | 1     | Baranda 4  | SCH40     | PLANO MB-A3-4     |               |
| 21         | 2     | Sensor fin de carrera Telemecanique Sensors OsSense XC, SPDT |           |                   |               |
| 22         | 2     | Palanca - Sisi TraslacCB                                     | AISI 1045 | PLANO MD-A3-2     |               |
| 23         | 2     | Bisagra FRONTISSA 60x60                                      |           |                   |               |
| 24         | 1     | Soporte Sensor de Puerta                                     | AISI 1045 | PLANO MD-A3-3     |               |
| 25         | 1     | Sensor fin de carrera Telemecanique Sensors OsSense XC, SPDT |           |                   |               |
| 26         | 1     | Soporte Horizontal Sensor de Puerta                          | A36       | PLANO MD-A3-4     |               |

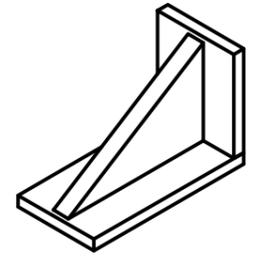
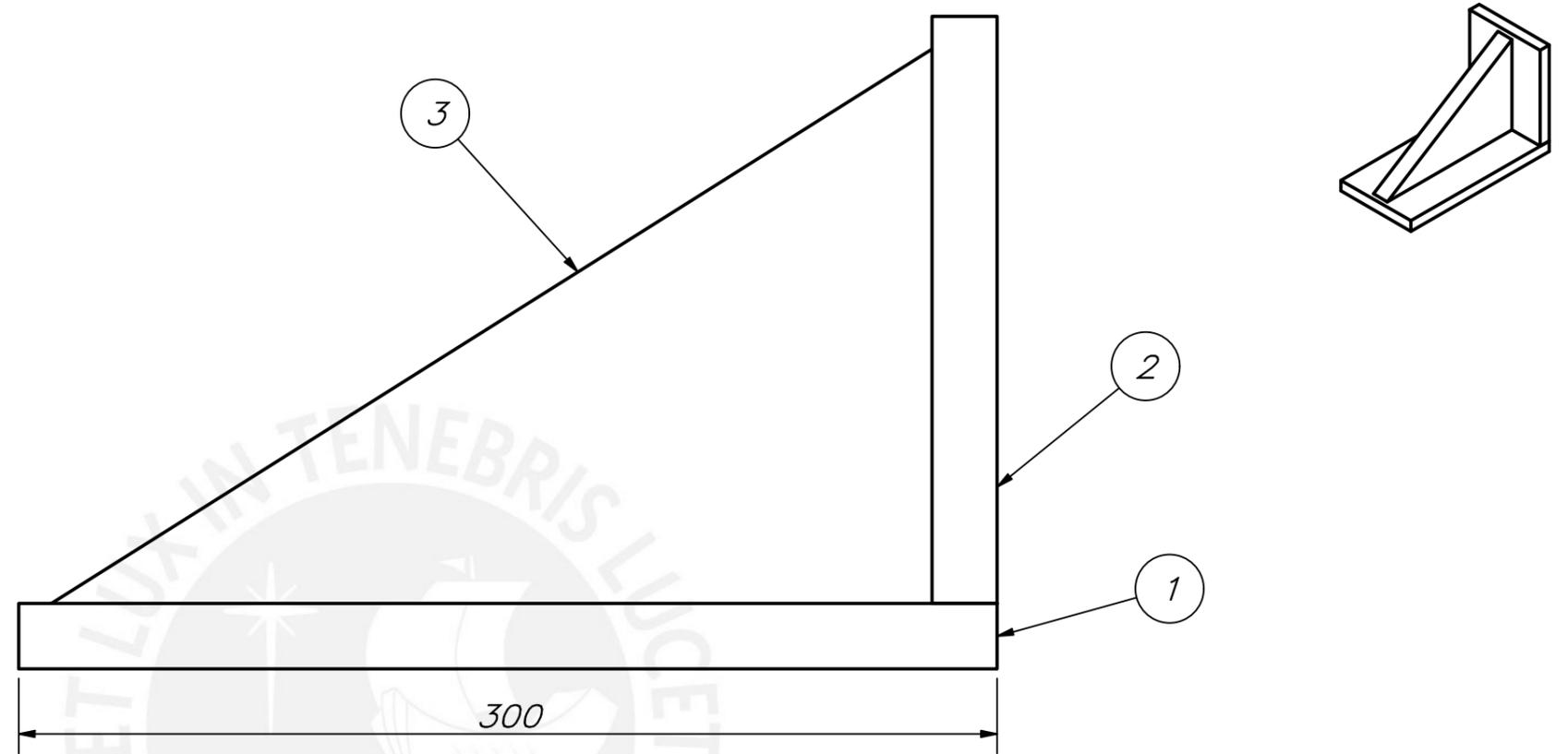
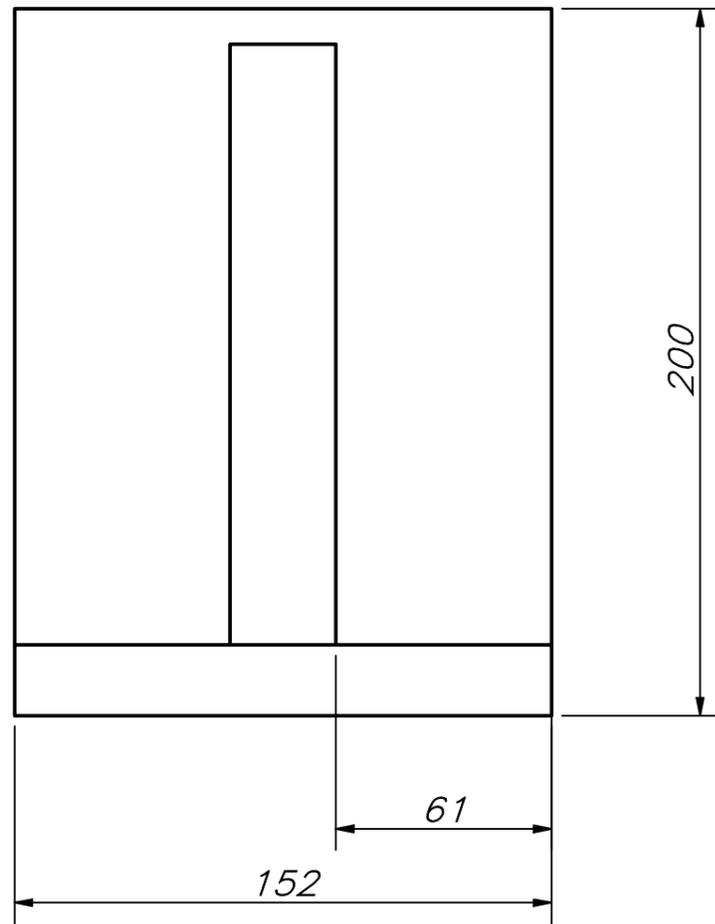
|   |                              |                      |
|---|------------------------------|----------------------|
| PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ<br>CIENCIAS E INGENIERÍA |                              |                      |
| METODO DE PROYECCIÓN  | ESCALA                       |                      |
|   | ENSAMBLE GLOBAL              | 1:20                 |
| 20130001  | NUREZ CORNEJO, IVANOVA GRACE | FECHA:<br>2022.07.09 |
|   |                              | LÁMINA:<br>ME-AG-1   |

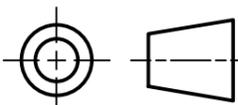


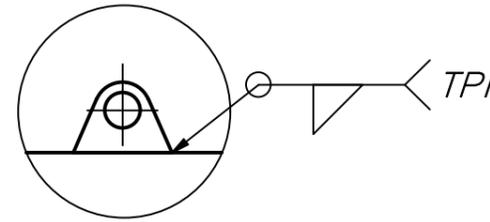
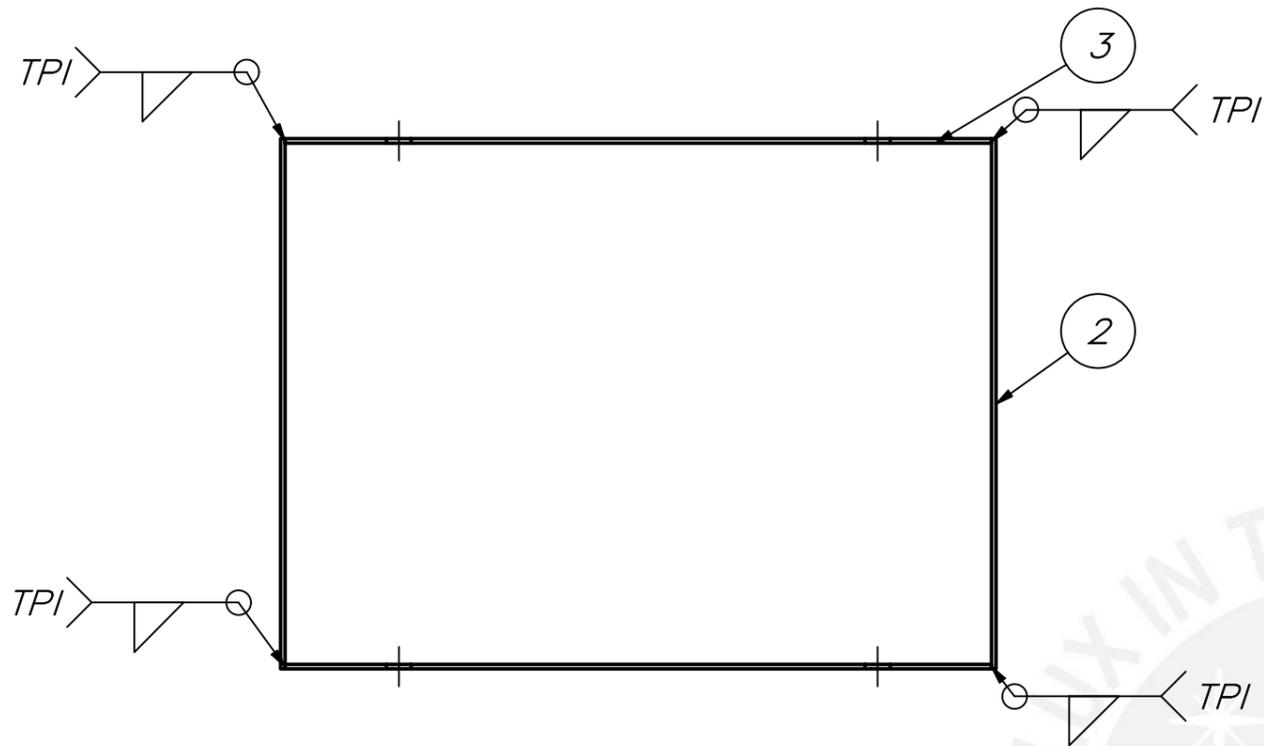
| PARTS LIST  |       |   |       |          |                      |
|---|-------|---|-------|----------|----------------------|
| POS.  | CANT. | DESCRIPCIÓN                               | NORMA | MATERIAL | OBSERVACIONES        |
| 3   | 4     | SUJETADOR                                 |       | VCN150   | PLANO MD-A4-1        |
| 2   | 2     | VIGA TESTERA MA1 250 -<br>Longitud 1700mm |       |          | Marca Miguel Abad    |
| 1   | 1     | ENSAMBLE CARRO SUPERIOR                   |       |          | PLANO ME-A4-1        |
| PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ<br>CIENCIAS E INGENIERÍA |       |   |       |          |                      |
| MÉTODO DE PROYECCIÓN  |       | ENSAMBLE GLOBAL DE<br>CARRO               |       |          | ESCALA<br>1:20       |
| 20130001  |       | NUÑEZ CORNEJO, IVANOVHA GRACE             |       |          | FECHA:<br>2022.07.08 |
|   |       |   |       |          | LÁMINA:<br>ME-A3-2   |



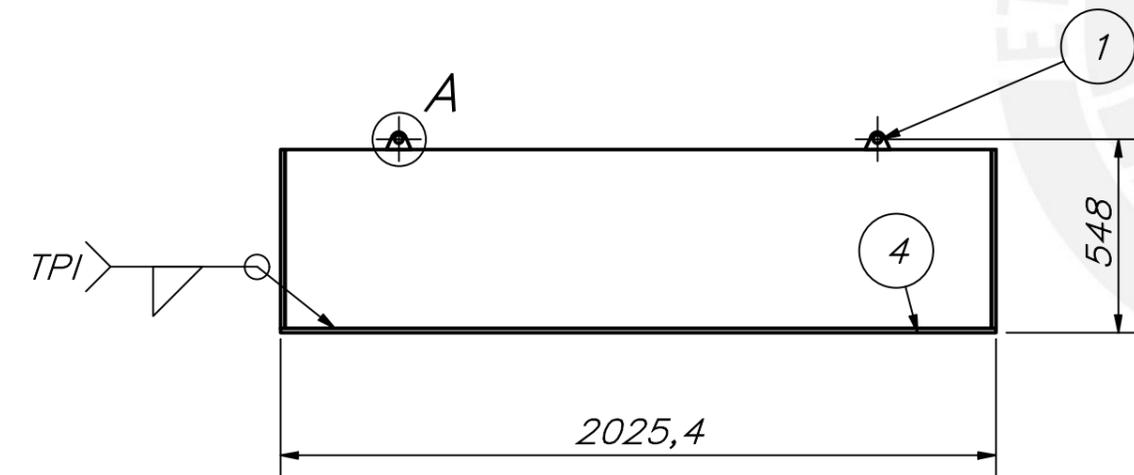
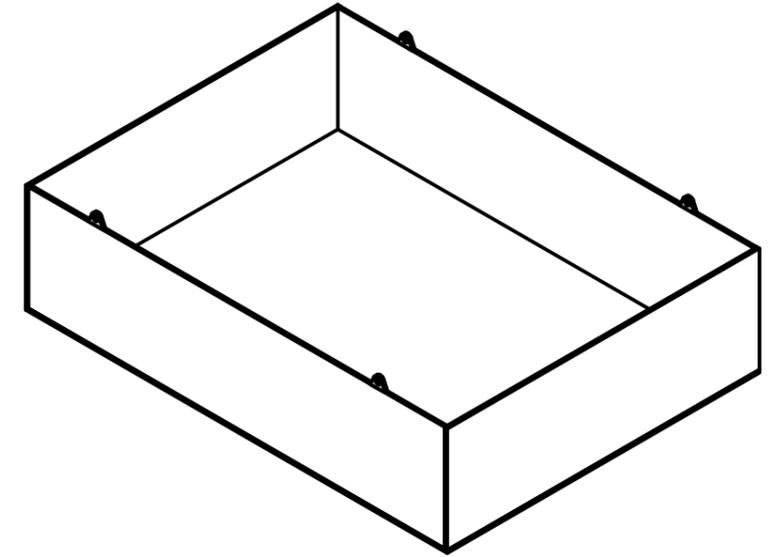
| PARTS LIST  |          |   |          |          |   |
|---|----------|---|----------|----------|---|
| 2   | 5.2<br>m | PERFIL W 8x24 - 98.425                      | ASTM A36 | ACERO    |   |
| 1   | 5 m      | PERFIL RECTANGULAR 5 x 4 x<br>1/4 - 102.639 | ASTM A36 | ACERO    |   |
| POS.  | CANT.    | DESCRIPCIÓN                                 | NORMA    | MATERIAL | OBSERVACIONES   |
| PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ<br>CIENCIAS E INGENIERÍA                     |          |   |          |          |   |
| MÉTODO DE PROYECCIÓN  |          | ENSABLE CARRO<br>SUPERIOR                   |          |          | ESCALA<br>1:10  |
|  |          | 20130001                                    |          |          | NUÑEZ CORNEJO, IVANOVHA GRACE<br>FECHA:<br>2022.07.08 |
|   |          |   |          |          | LÁMINA:<br>ME-A3-1                                    |



| PARTS LIST  |       |                                 |       |          |                      |
|---|-------|---------------------------------|-------|----------|----------------------|
| POS.  | CANT. | DESCRIPCIÓN                     | NORMA | MATERIAL | OBSERVACIONES        |
| 3   | 1     | Limitador de estructura cartela |       | A36      | PLANO MD-A3-8        |
| 2   | 1     | Limitador de estructura L2      |       | A36      | PLANO MD-A3-7        |
| 1   | 1     | Limitador de estructura L1      |       | A36      | PLANO MD-A3-6        |
| PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ<br>INGENIERÍA MECATRÓNICA                    |       |                                 |       |          |                      |
| MÉTODO DE PROYECCIÓN  |       | ENSAMBLE DEL<br>LIMITADOR       |       |          | ESCALA               |
|  |       |                                 |       |          | 1:2                  |
| 20130001  |       | NUÑEZ CORNEJO, IVANOVHA GRACE   |       |          | FECHA:<br>2022.08.19 |
|   |       |                                 |       |          | LÁMINA:<br>ME-A3-3   |



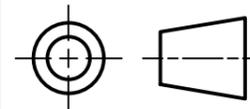
DETALLE A  
( 1 : 5 )



| PARTS LIST |       |                   |       |          |               |
|------------|-------|-------------------|-------|----------|---------------|
| POS.       | CANT. | DESCRIPCIÓN       | NORMA | MATERIAL | OBSERVACIONES |
| 4          | 1     | Base              |       | A36      | MD-A3-12      |
| 3          | 2     | Lateral 2         |       | A36      | MD-A3-10      |
| 2          | 2     | Lateral 1         |       | A36      | MD-A3-9       |
| 1          | 4     | Elemento de izaje |       | A36      | MD-A3-11      |

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ  
INGENIERÍA MECATRÓNICA

MÉTODO DE PROYECCIÓN



ENSAMBLE CHUTE DE  
DESCARGA

ESCALA

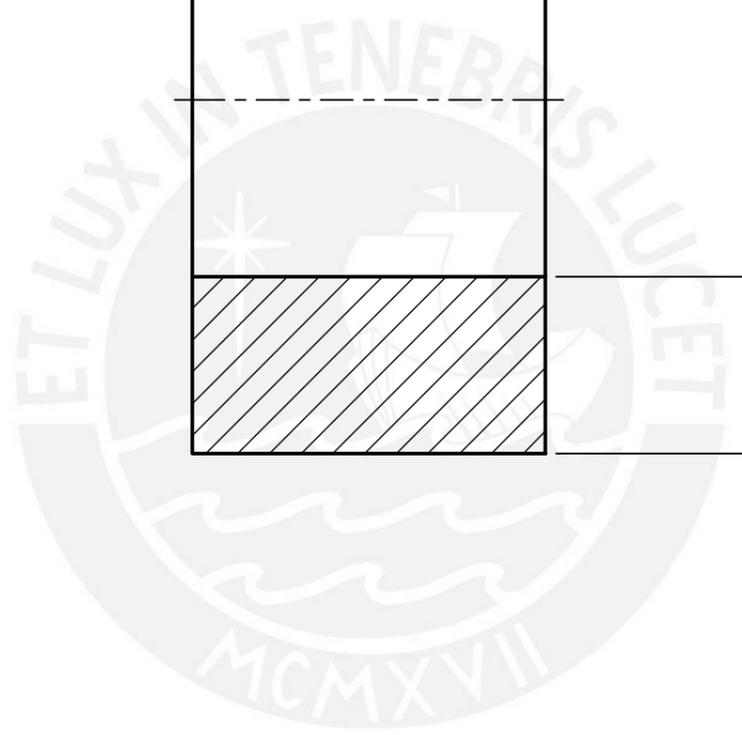
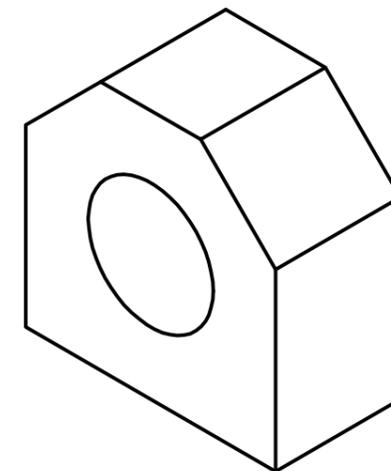
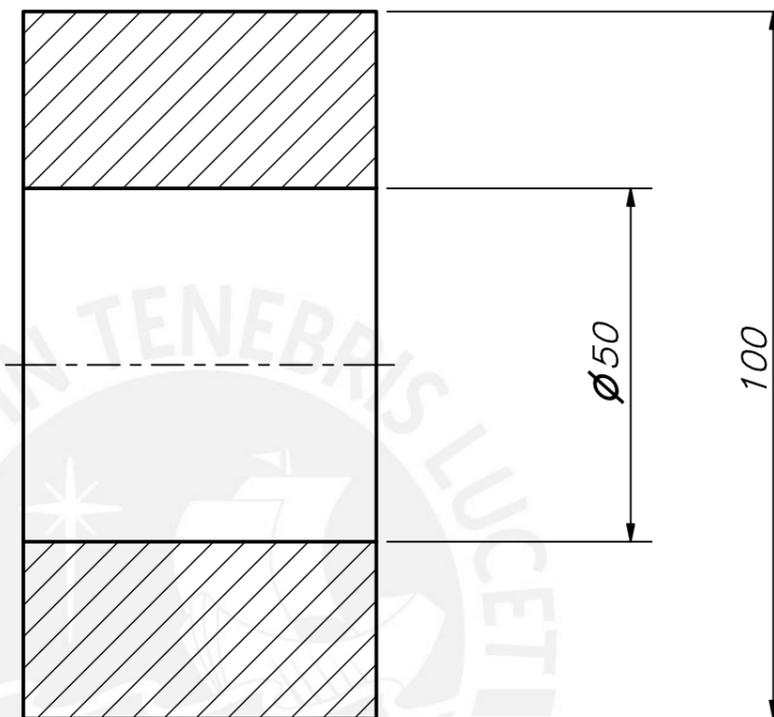
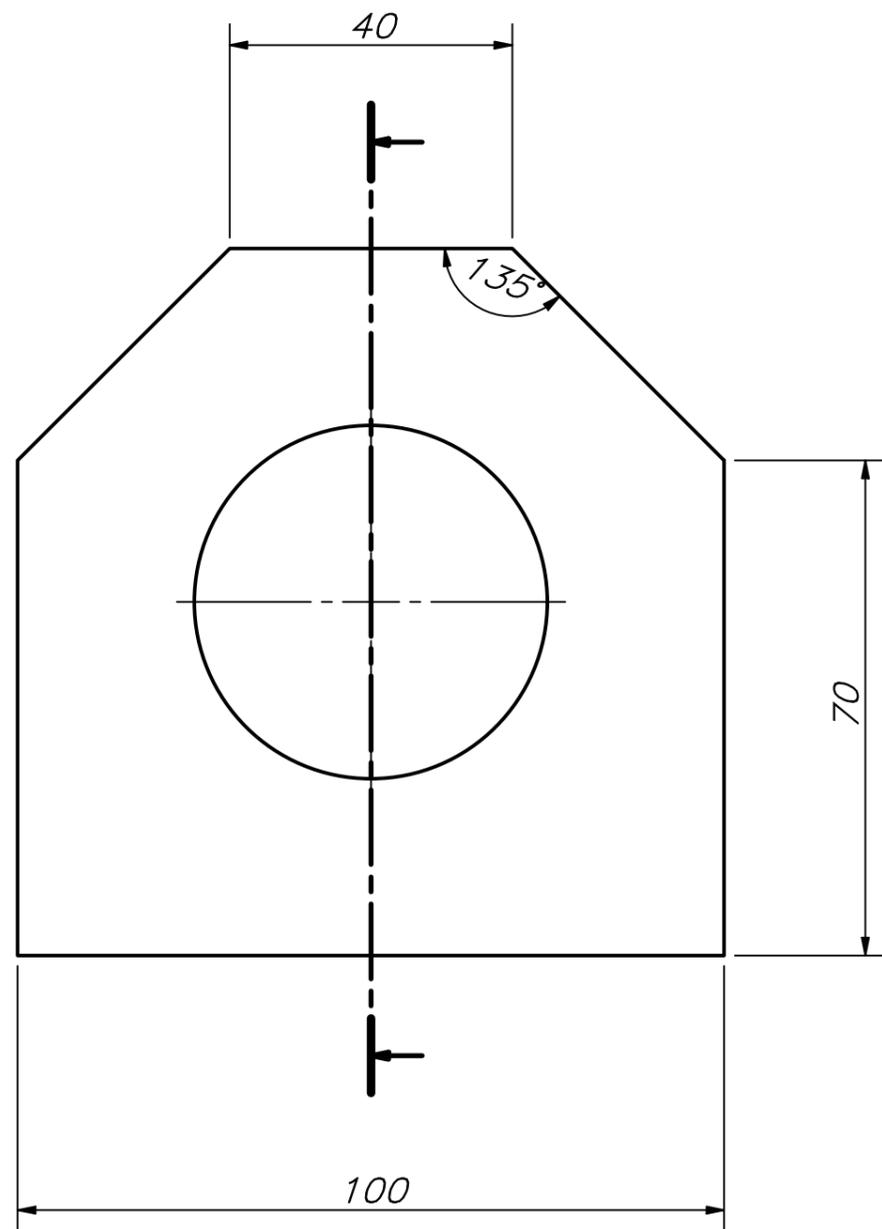
1.20

20130001

NUÑEZ CORNEJO, IVANOVHA GRACE

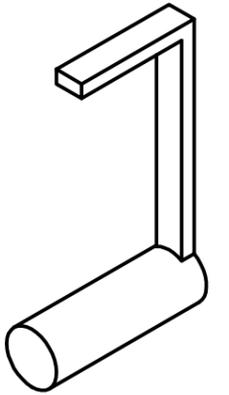
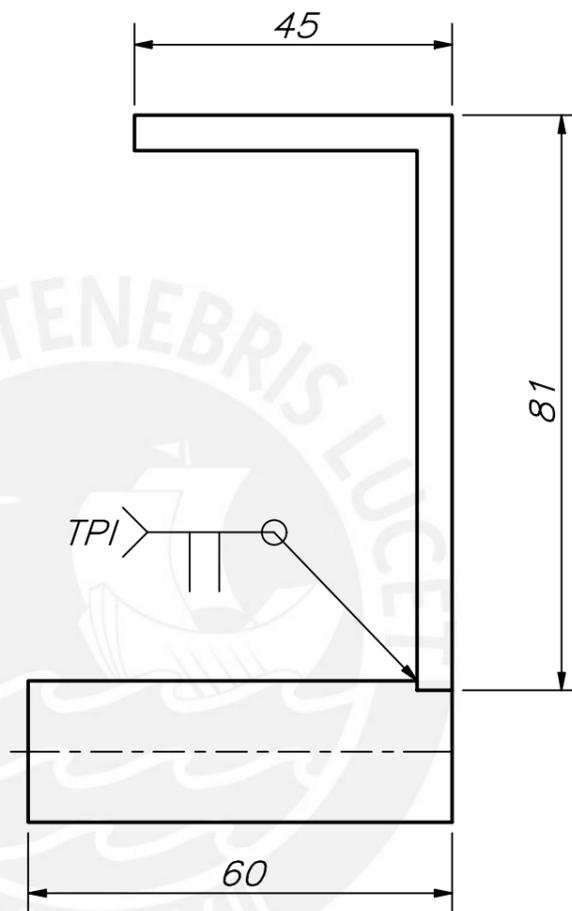
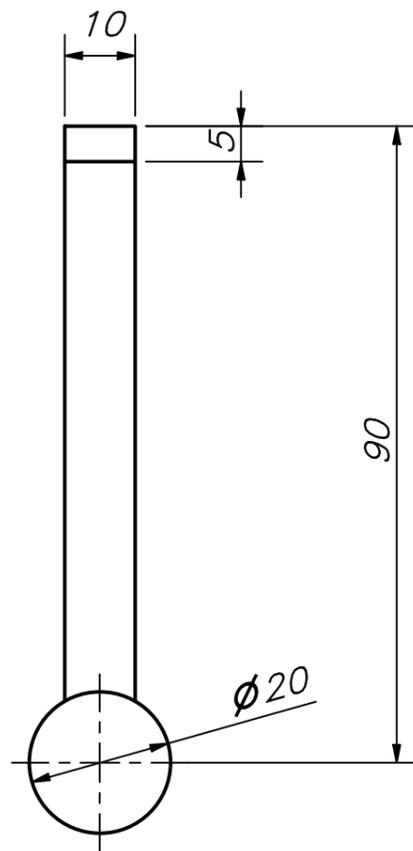
FECHA:  
2022.08.16

LÁMINA:  
ME-A3-5



| TOLERANCIAS DIMENSIONALES<br>SEGÚN ISO 2768-1 |                    |                  |                   |                     |                      |
|---|--------------------|------------------|-------------------|---------------------|----------------------|
| GRADO DE EXACTITUD                            | Más de 0,5 hasta 3 | Más de 3 hasta 6 | Más de 6 hasta 30 | Más de 30 hasta 120 | Más de 120 hasta 400 |
| MEDIO   | ±0,1               | ±0,1             | ±0,2              | ±0,3                | ±0,5                 |

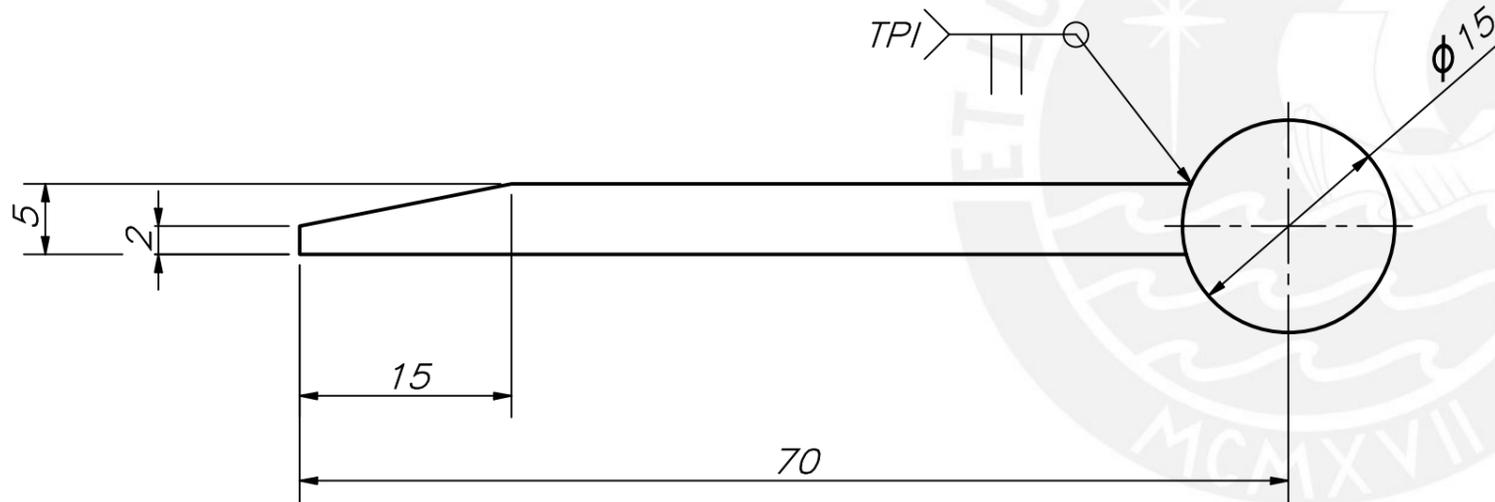
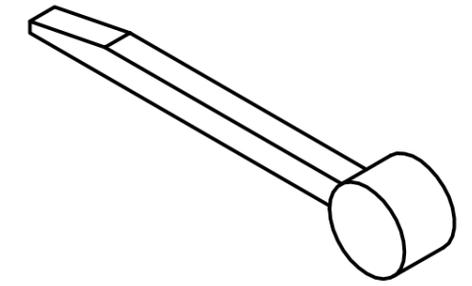
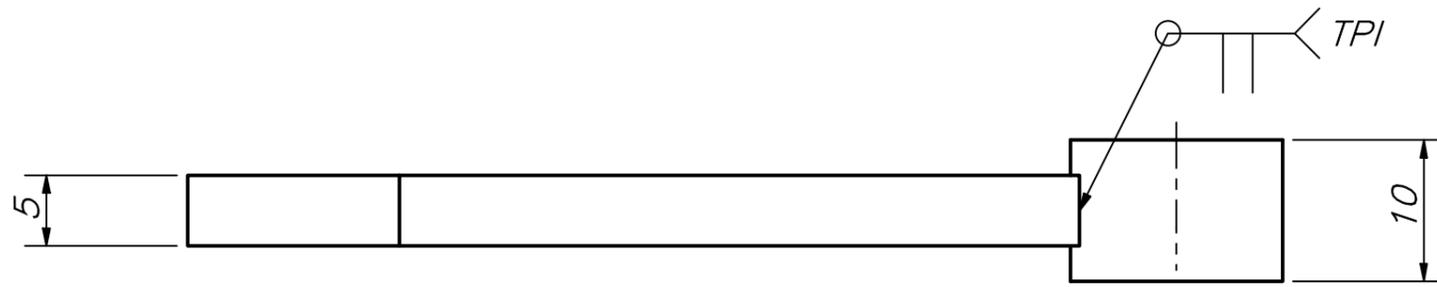
|   |   |                      |
|---|---|----------------------|
| ACABADO SUPERFICIAL<br>3.2 (✓)                                    | TOLERANCIA GENERAL<br>MEDIO-SEGUN<br>ISO 2768-1 | MATERIAL<br>AISI1045 |
| PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ<br>CIENCIAS E INGENIERÍA |   |                      |
| MÉTODO DE PROYECCIÓN<br>  | SUJETADOR                                       | ESCALA<br>1:1        |
| 20130001  | NUÑEZ CORNEJO, IVANOVHA GRACE                   | FECHA:<br>2022.07.08 |
|   |   | LÁMINA:<br>MD-A3-1   |



**TOLERANCIAS DIMENSIONALES**  
SEGÚN ISO 2768-1

| GRADO DE EXACTITUD | Más de 0,5 hasta 3 | Más de 3 hasta 6 | Más de 6 hasta 30 | Más de 30 hasta 120 |
|--------------------|--------------------|------------------|-------------------|---------------------|
| MEDIO              | ±0,1               | ±0,1             | ±0,2              | ±0,3                |

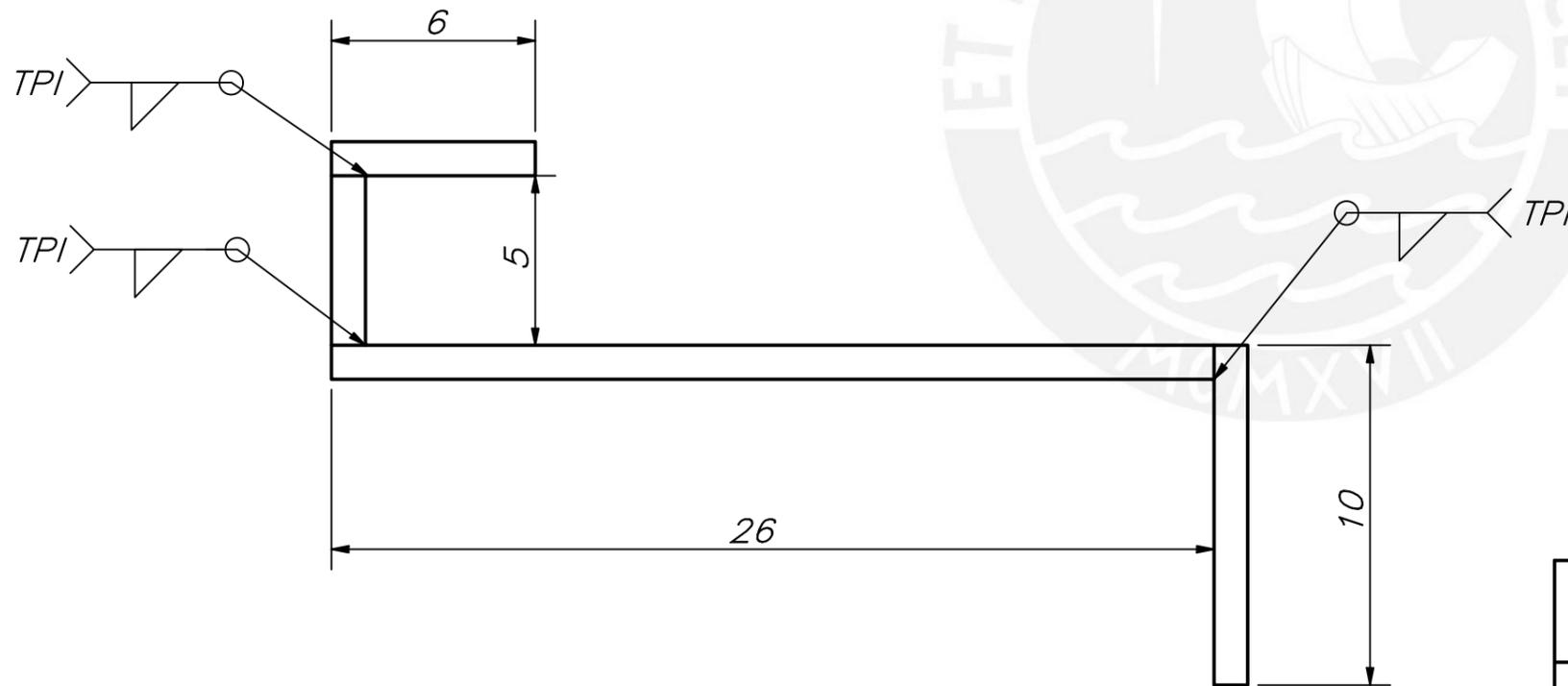
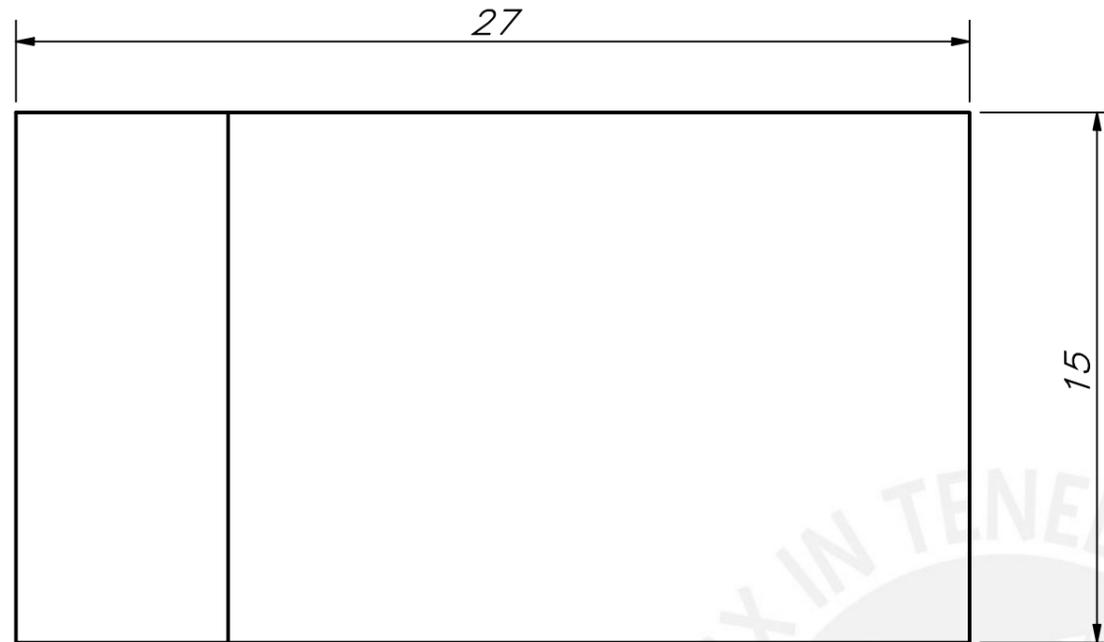
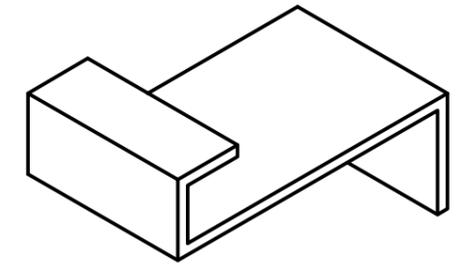
|   |   |                      |
|---|---|----------------------|
| ACABADO SUPERFICIAL<br>3.2/ (✓)                                   | TOLERANCIA GENERAL<br>MEDIO-SEGUN<br>ISO 2768-1 | MATERIAL<br>AISI1045 |
| PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ<br>CIENCIAS E INGENIERÍA |   |                      |
| MÉTODO DE PROYECCIÓN<br>  | PALANCA - SIST.<br>TRASLACIÓN                   | ESCALA<br>1:1        |
| 20130001  | NUÑEZ CORNEJO, IVANOVHA GRACE                   | FECHA:<br>2022.07.08 |
|   |   | LÁMINA:<br>MD-A3-2   |



**TOLERANCIAS DIMENSIONALES**  
SEGÚN ISO 2768-1

| GRADO DE EXACTITUD | Más de 0,5 hasta 3 | Más de 3 hasta 6 | Más de 6 hasta 30 | Más de 30 hasta 120 |
|--------------------|--------------------|------------------|-------------------|---------------------|
| MEDIO              | ±0,1               | ±0,1             | ±0,2              | ±0,3                |

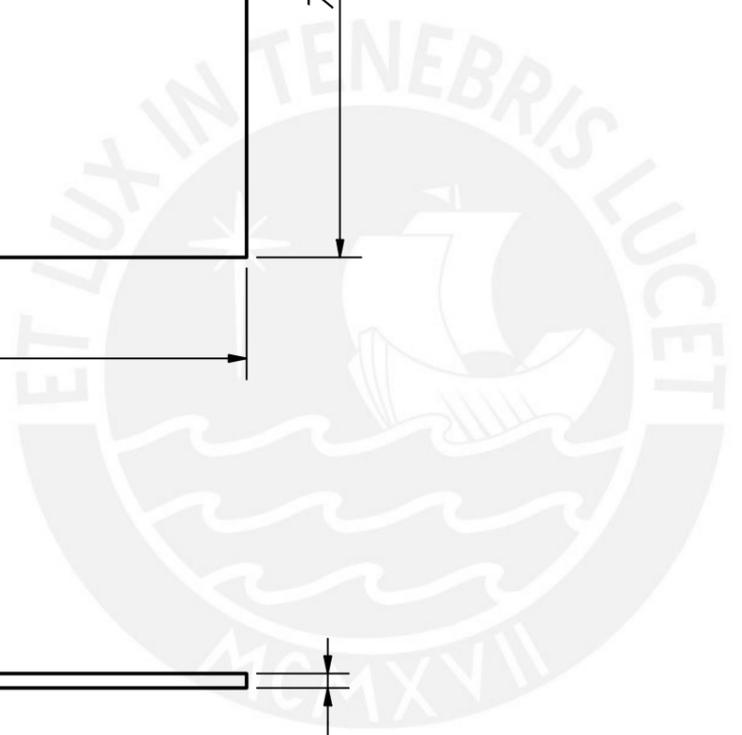
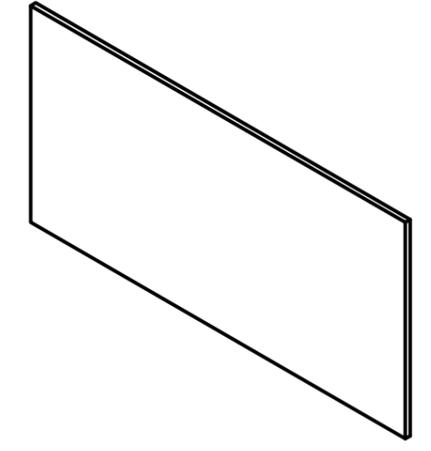
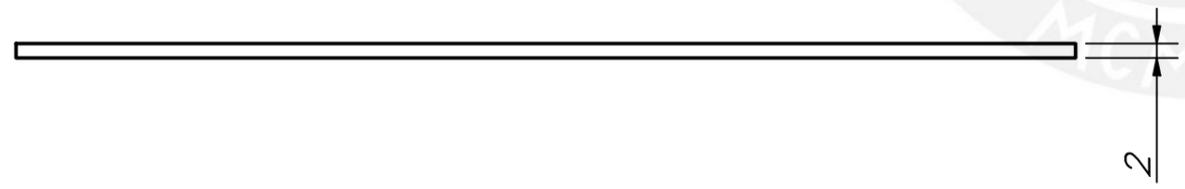
|   |   |                      |
|---|---|----------------------|
| ACABADO SUPERFICIAL<br>3.2 / (✓)                                  | TOLERANCIA GENERAL<br>MEDIO-SEGUN<br>ISO 2768-1 | MATERIAL<br>AISI1045 |
| PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ<br>CIENCIAS E INGENIERÍA |   |                      |
| MÉTODO DE PROYECCIÓN<br>  | SOPORTE SENSOR DE<br>PUERTA                     | ESCALA<br>2:1        |
| 20130001  | NUÑEZ CORNEJO, IVANOVHA GRACE                   | FECHA:<br>2022.07.08 |
|   |   | LÁMINA:<br>MD-A3-3   |



Nota: Espesor 1/2"

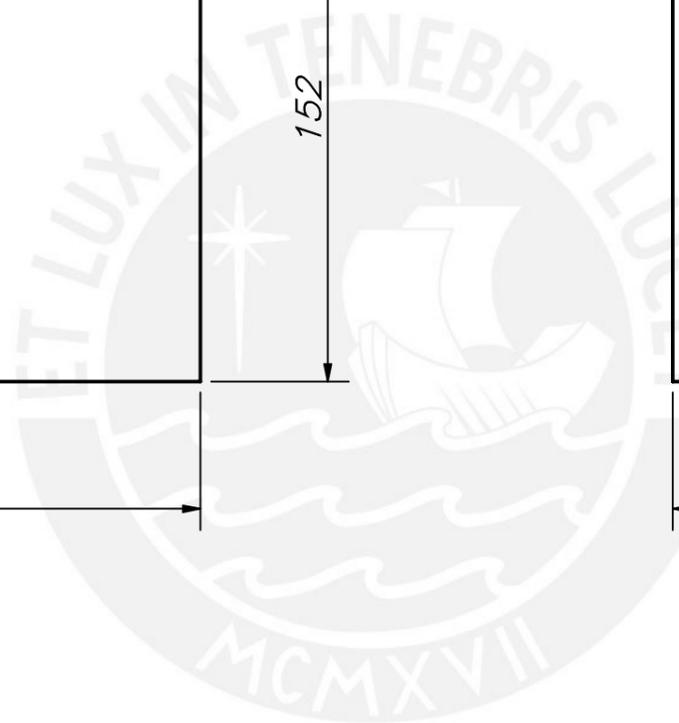
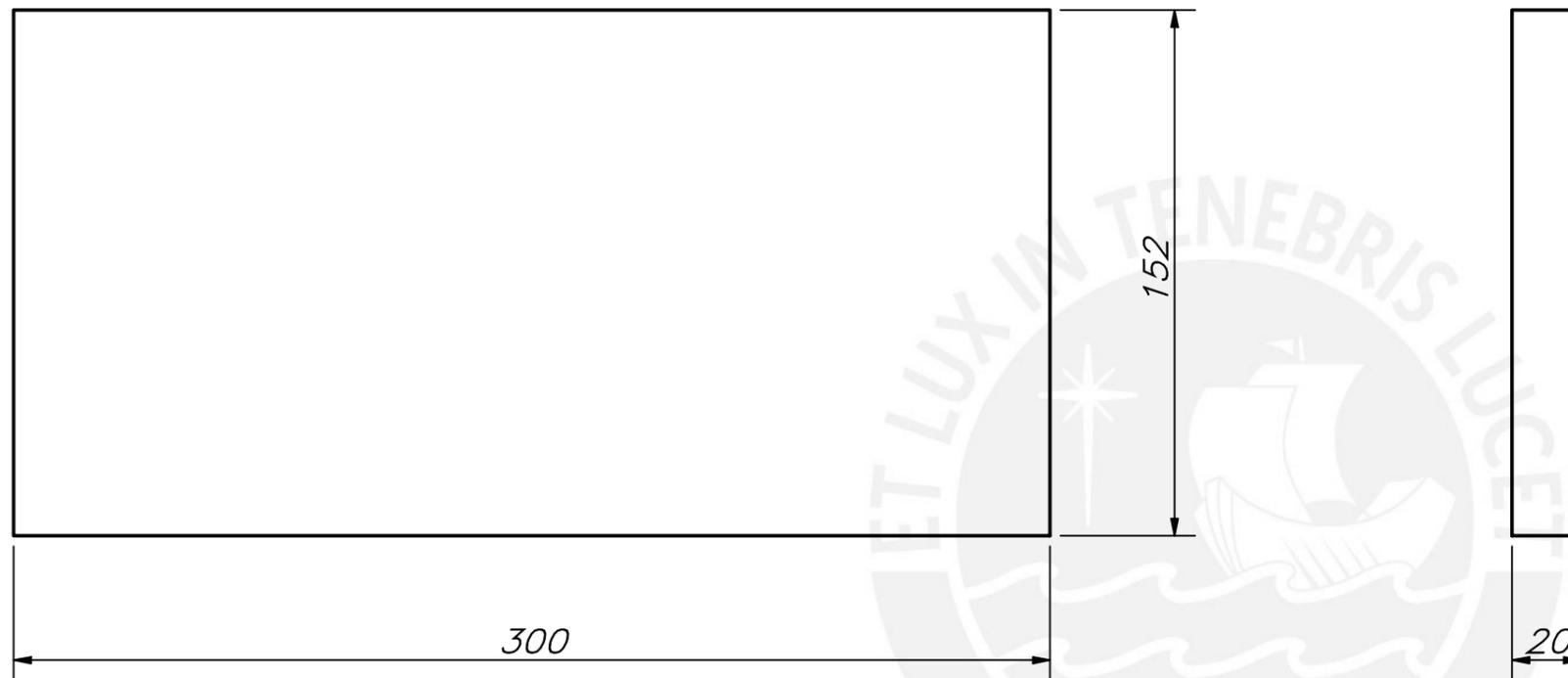
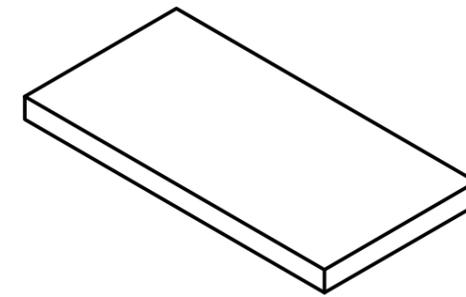
|   |   |                      |
|---|---|----------------------|
| ACABADO SUPERFICIAL<br>3.2/ (✓)                                   | TOLERANCIA GENERAL<br>MEDIO-SEGUN<br>ISO 2768-1 | MATERIAL<br>A36      |
| PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ<br>CIENCIAS E INGENIERÍA |   |                      |
| MÉTODO DE PROYECCIÓN<br>  | SOPORTE HORIZONTAL<br>SENSOR DE PUERTA          | ESCALA<br>5:1        |
| 20130001  | NUÑEZ CORNEJO, IVANOVHA GRACE                   | FECHA:<br>2022.07.08 |
|   |   | LÁMINA:<br>MD-A3-4   |

| TOLERANCIAS DIMENSIONALES<br>SEGÚN ISO 2768-1 |                    |                  |                   |                     |
|---|--------------------|------------------|-------------------|---------------------|
| GRADO DE EXACTITUD                            | Más de 0,5 hasta 3 | Más de 3 hasta 6 | Más de 6 hasta 30 | Más de 30 hasta 120 |
| MEDIO   | ±0,1               | ±0,1             | ±0,2              | ±0,3                |



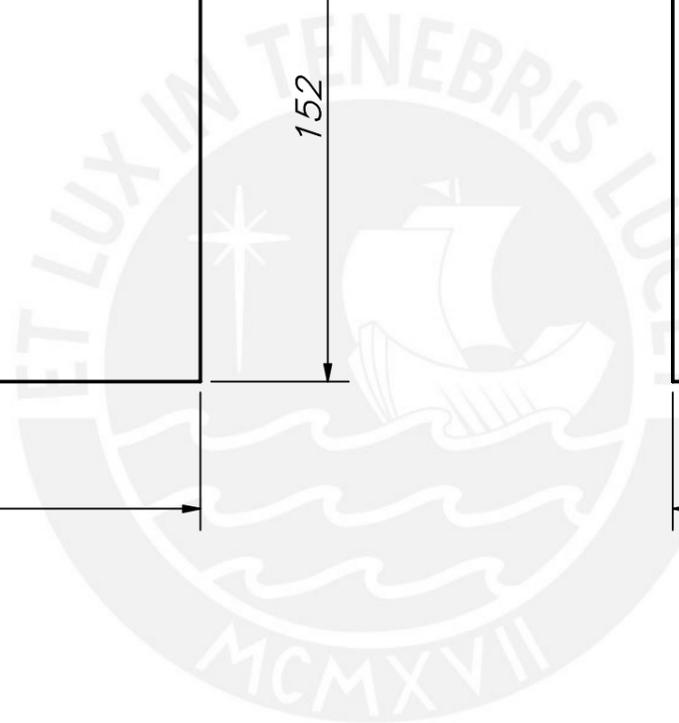
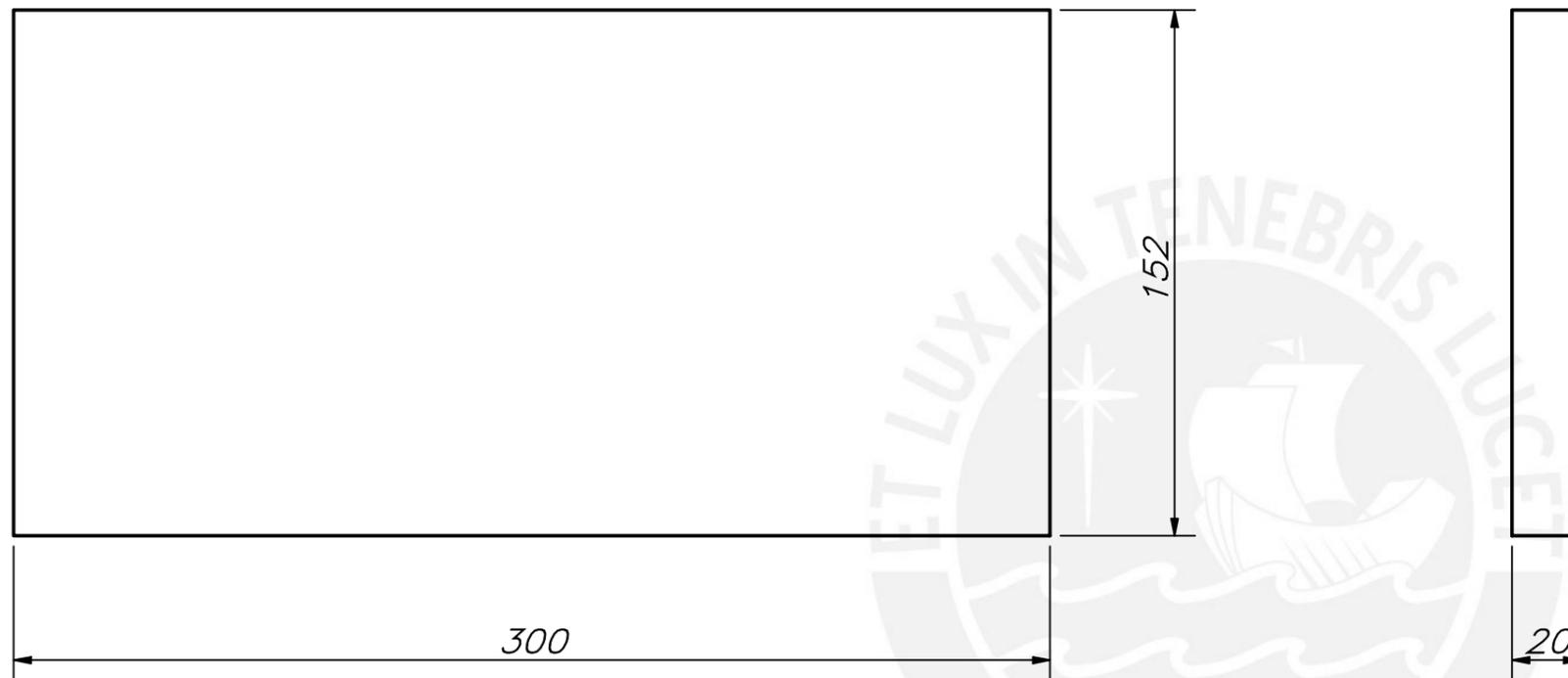
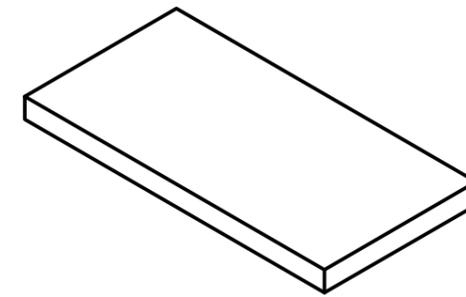
| TOLERANCIAS DIMENSIONALES<br>SEGÚN ISO 2768-1 |                    |                  |                   |                     |                      |
|---|--------------------|------------------|-------------------|---------------------|----------------------|
| GRADO DE EXACTITUD                            | Más de 0,5 hasta 3 | Más de 3 hasta 6 | Más de 6 hasta 30 | Más de 30 hasta 120 | Más de 120 hasta 400 |
| MEDIO   | ±0,1               | ±0,1             | ±0,2              | ±0,3                | ±0,5                 |

|   |   |                      |
|---|---|----------------------|
| ACABADO SUPERFICIAL<br>3.2 / (✓)                                  | TOLERANCIA GENERAL<br>MEDIO-SEGUN<br>ISO 2768-1 | MATERIAL<br>A36      |
| PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ<br>CIENCIAS E INGENIERÍA |   |                      |
| MÉTODO DE PROYECCIÓN<br>  | SOPORTE CERROJO                                 | ESCALA<br>1:1        |
| 20130001  | NUÑEZ CORNEJO, IVANOVHA GRACE                   | FECHA:<br>2022.07.08 |
|   |   | LÁMINA:<br>MD-A3-5   |



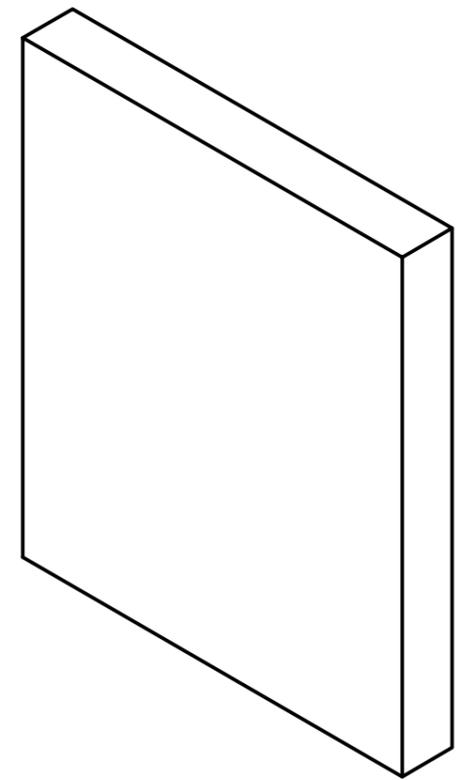
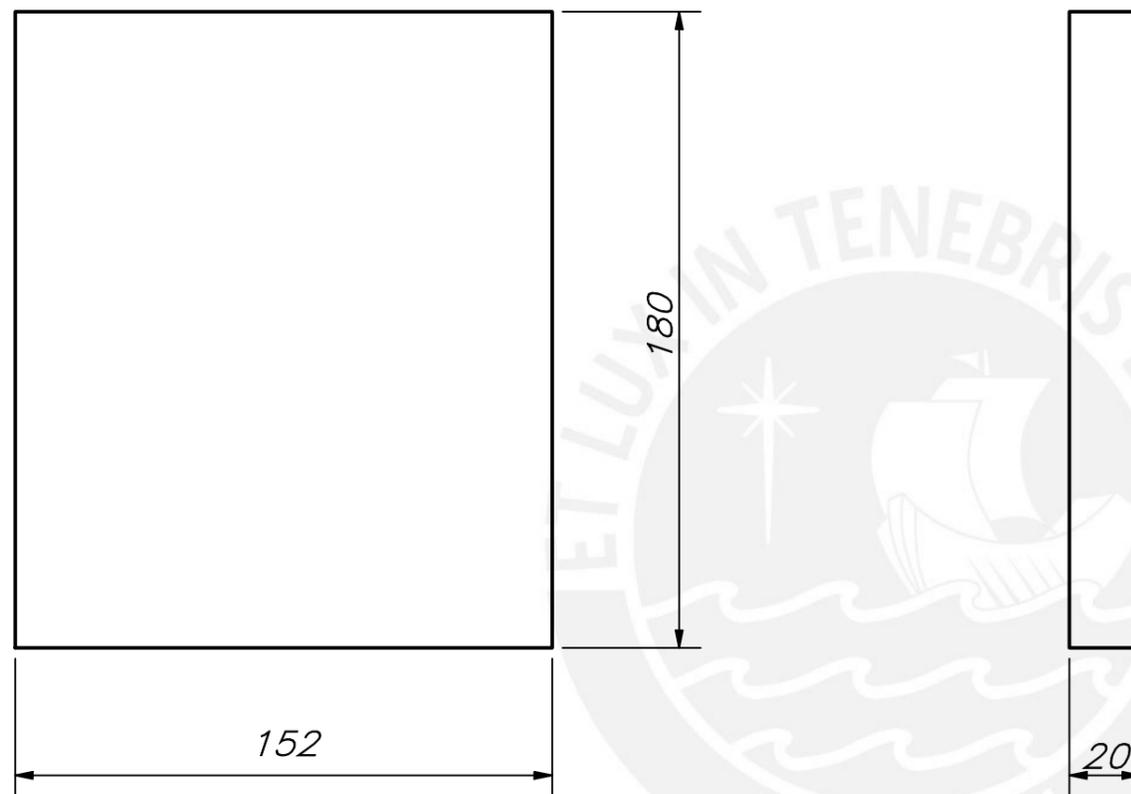
| TOLERANCIAS DIMENSIONALES<br>SEGÚN ISO 2768-1 |                    |                  |                   |                     |                      |
|---|--------------------|------------------|-------------------|---------------------|----------------------|
| GRADO DE EXACTITUD                            | Más de 0,5 hasta 3 | Más de 3 hasta 6 | Más de 6 hasta 30 | Más de 30 hasta 120 | Más de 120 hasta 400 |
| MEDIO   | ±0,1               | ±0,1             | ±0,2              | ±0,3                | ±0,5                 |

|  |   |                      |
|--|---|----------------------|
| ACABADO SUPERFICIAL<br>3.2/ (✓)                                  | TOLERANCIA GENERAL<br>MEDIO-SEGUN<br>ISO 2768-1 | MATERIAL<br>A36      |
| PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ<br>CIENCIA E INGENIERÍA |   |                      |
| MÉTODO DE PROYECCIÓN<br>   | LIMITADOR DE ESTRUCTURA L1                      | ESCALA<br>1:2        |
| 20130001   | NUÑEZ CORNEJO, IVANOVHA NUÑEZ                   | FECHA:<br>2022.07.08 |
|  |   | LÁMINA:<br>MD-A3-6   |



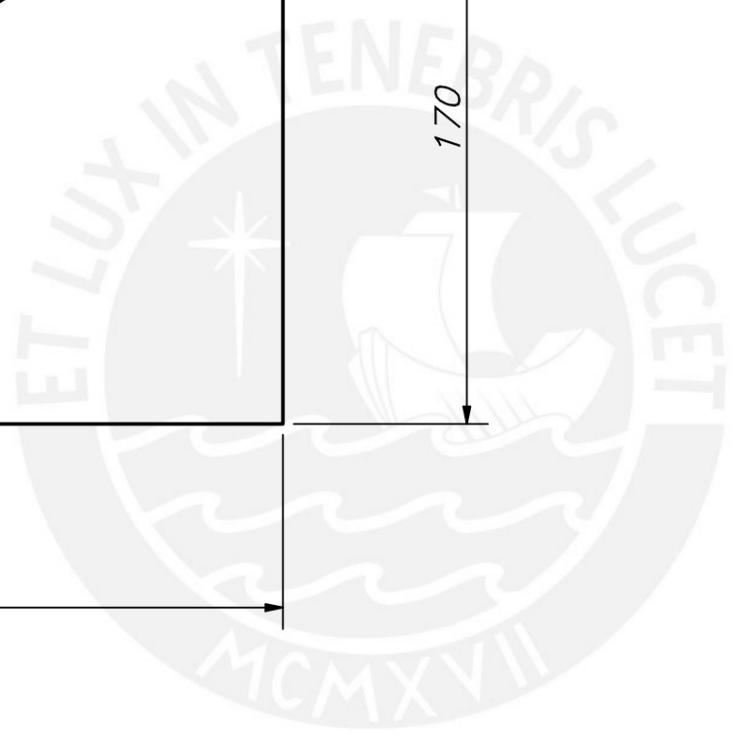
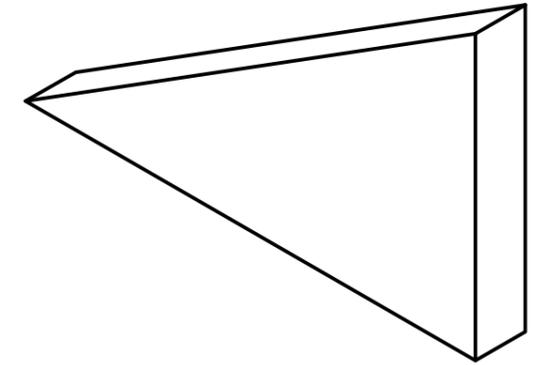
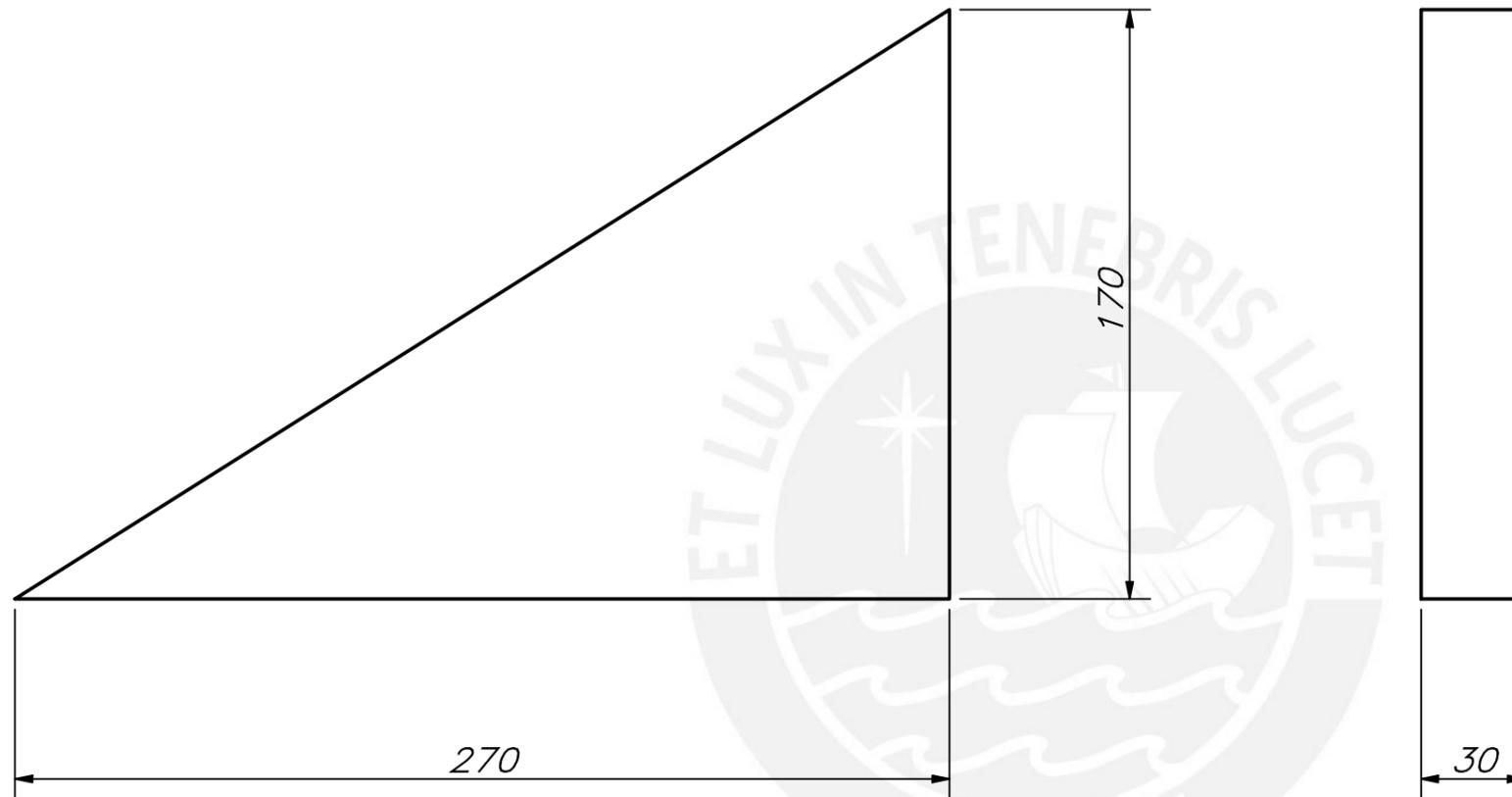
| TOLERANCIAS DIMENSIONALES<br>SEGÚN ISO 2768-1 |                    |                  |                   |                     |                      |
|---|--------------------|------------------|-------------------|---------------------|----------------------|
| GRADO DE EXACTITUD                            | Más de 0,5 hasta 3 | Más de 3 hasta 6 | Más de 6 hasta 30 | Más de 30 hasta 120 | Más de 120 hasta 400 |
| MEDIO   | ±0,1               | ±0,1             | ±0,2              | ±0,3                | ±0,5                 |

|  |   |                      |
|--|---|----------------------|
| ACABADO SUPERFICIAL<br>3.2/ (✓)                                  | TOLERANCIA GENERAL<br>MEDIO-SEGUN<br>ISO 2768-1 | MATERIAL<br>A36      |
| PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ<br>CIENCIA E INGENIERÍA |   |                      |
| MÉTODO DE PROYECCIÓN<br>   | LIMITADOR DE ESTRUCTURA L1                      | ESCALA<br>1:2        |
| 20130001   | NUÑEZ CORNEJO, IVANOVHA NUÑEZ                   | FECHA:<br>2022.07.08 |
|  |   | LÁMINA:<br>MD-A3-6   |

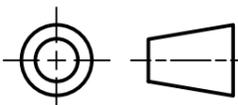


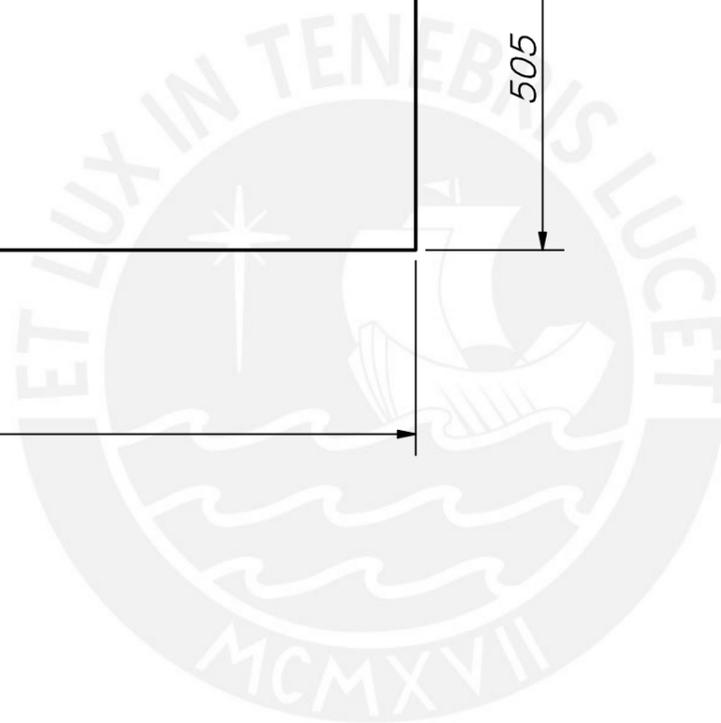
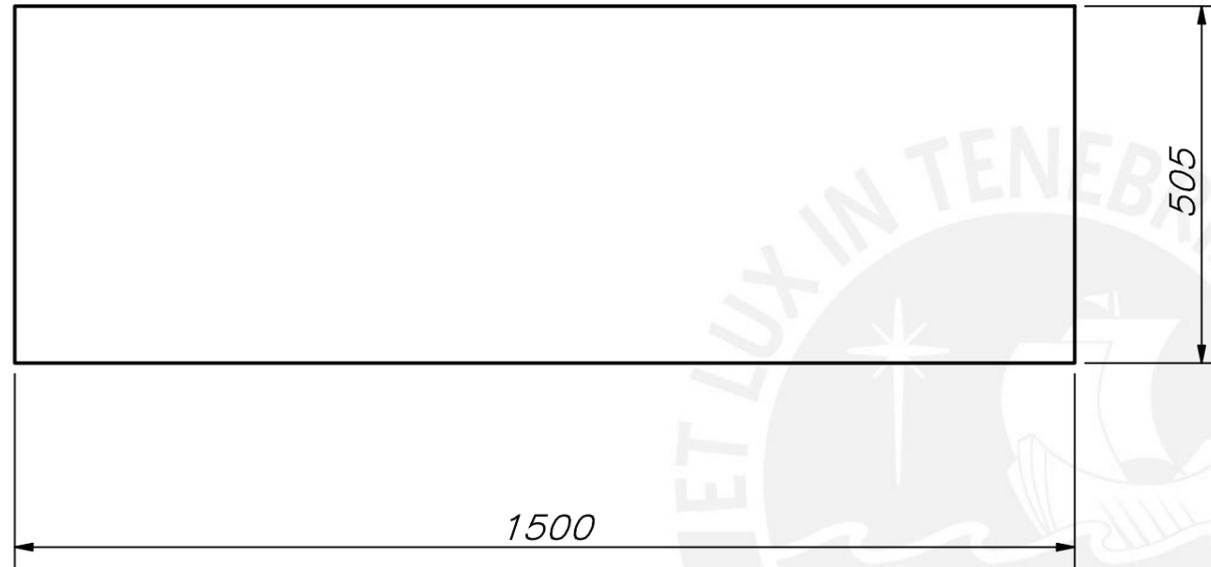
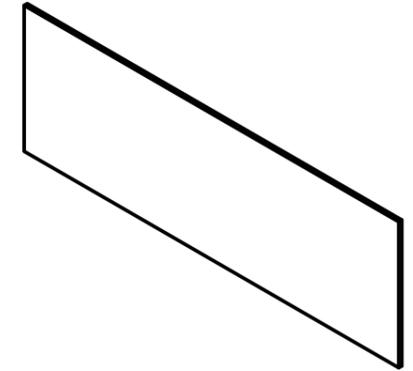
| TOLERANCIAS DIMENSIONALES<br>SEGÚN ISO 2768-1 |                    |                  |                   |                     |                      |
|---|--------------------|------------------|-------------------|---------------------|----------------------|
| GRADO DE EXACTITUD                            | Más de 0,5 hasta 3 | Más de 3 hasta 6 | Más de 6 hasta 30 | Más de 30 hasta 120 | Más de 120 hasta 400 |
| MEDIO   | ±0,1               | ±0,1             | ±0,2              | ±0,3                | ±0,5                 |

|  |   |                      |
|--|---|----------------------|
| ACABADO SUPERFICIAL<br>3.2/ (✓)                                  | TOLERANCIA GENERAL<br>MEDIO-SEGUN<br>ISO 2768-1 | MATERIAL<br>A36      |
| PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ<br>CIENCIA E INGENIERÍA |   |                      |
| MÉTODO DE PROYECCIÓN<br>   | LIMITADOR DE ESTRUCTURA L2                      | ESCALA<br>1:2        |
| 20130001   | NUÑEZ CORNEJO, IVANOVHA NUÑEZ                   | FECHA:<br>2022.07.08 |
|  |   | LÁMINA:<br>MD-A3-7   |



| TOLERANCIAS DIMENSIONALES<br>SEGÚN ISO 2768-1 |                    |                  |                   |                     |                      |
|---|--------------------|------------------|-------------------|---------------------|----------------------|
| GRADO DE EXACTITUD                            | Más de 0,5 hasta 3 | Más de 3 hasta 6 | Más de 6 hasta 30 | Más de 30 hasta 120 | Más de 120 hasta 400 |
| MEDIO   | ±0,1               | ±0,1             | ±0,2              | ±0,3                | ±0,5                 |

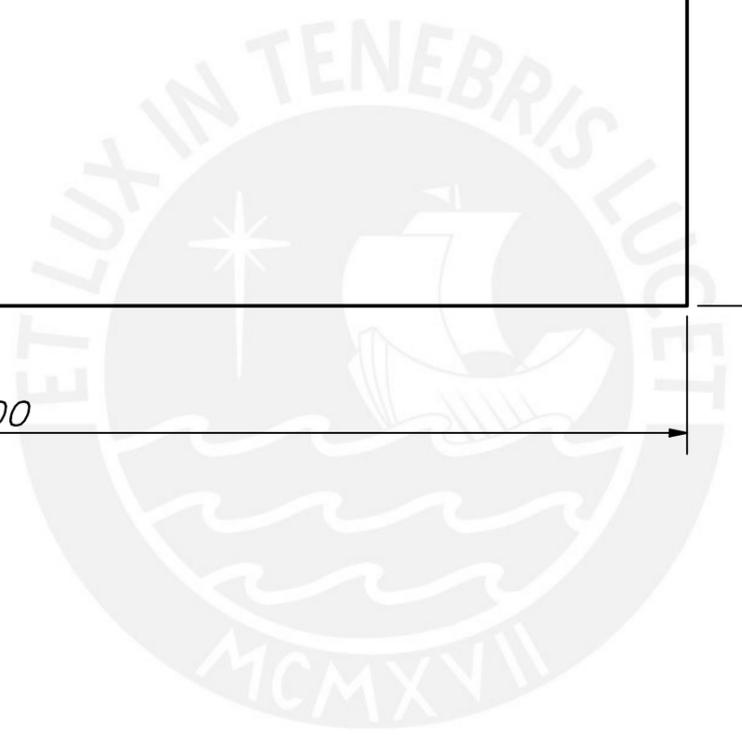
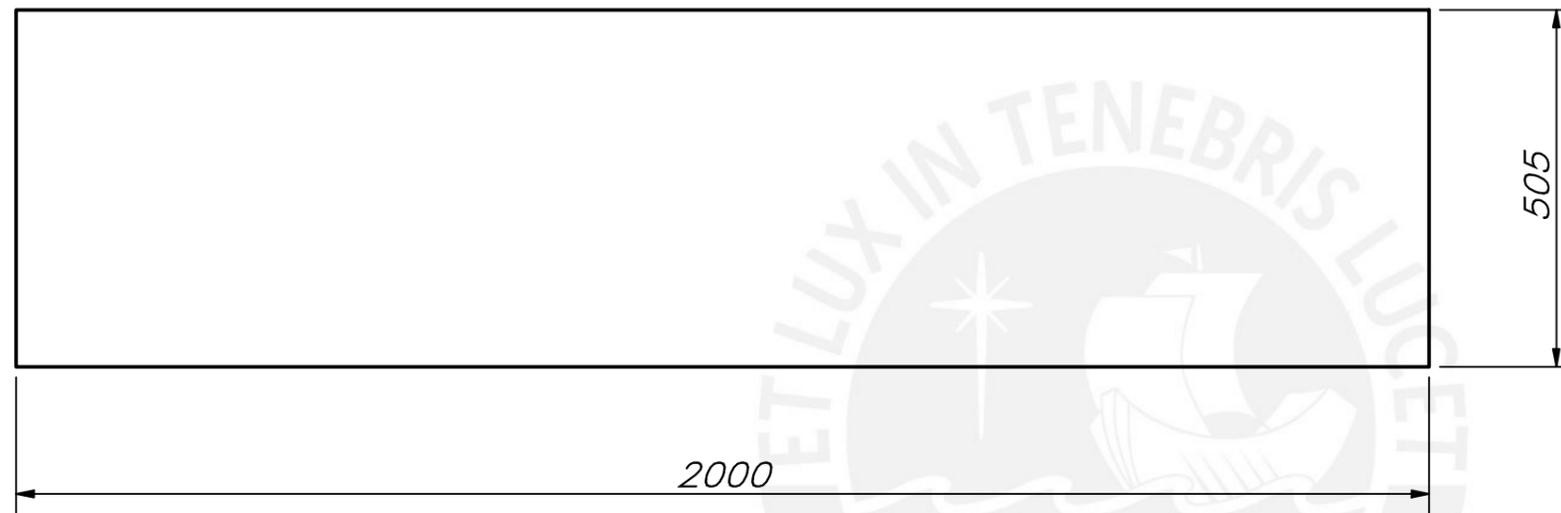
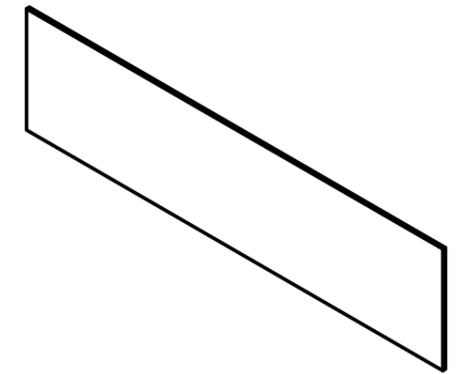
|   |   |                      |
|---|---|----------------------|
| ACABADO SUPERFICIAL<br>3.2/ (✓)   | TOLERANCIA GENERAL<br>MEDIO-SEGUN<br>ISO 2768-1 | MATERIAL<br>A36      |
| PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ<br>CIENCIA E INGENIERÍA  |   |                      |
| MÉTODO DE PROYECCIÓN<br> | CARTELA   | ESCALA<br>1:2        |
| 20130001  | NUÑEZ CORNEJO, IVANOVHA NUÑEZ                   | FECHA:<br>2022.07.08 |
|   |   | LÁMINA:<br>MD-A3-8   |



Nota: Espesor 1/2"

|   |   |                      |
|---|---|----------------------|
| ACABADO SUPERFICIAL<br>3.2<br>  | TOLERANCIA GENERAL<br>MEDIO-SEGUN<br>ISO 2768-1 | MATERIAL<br>A36      |
| PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ<br><i>Ingeniería mecatrónica</i> |   |                      |
| MÉTODO DE PROYECCIÓN<br>  | Lateral 1                                       | ESCALA<br>1:10       |
| 20130001  | Nuñez Cornejo, Ivanovha Grace                   | FECHA:<br>2022.08.16 |
|   |   | LÁMINA:<br>MD-A3-9   |

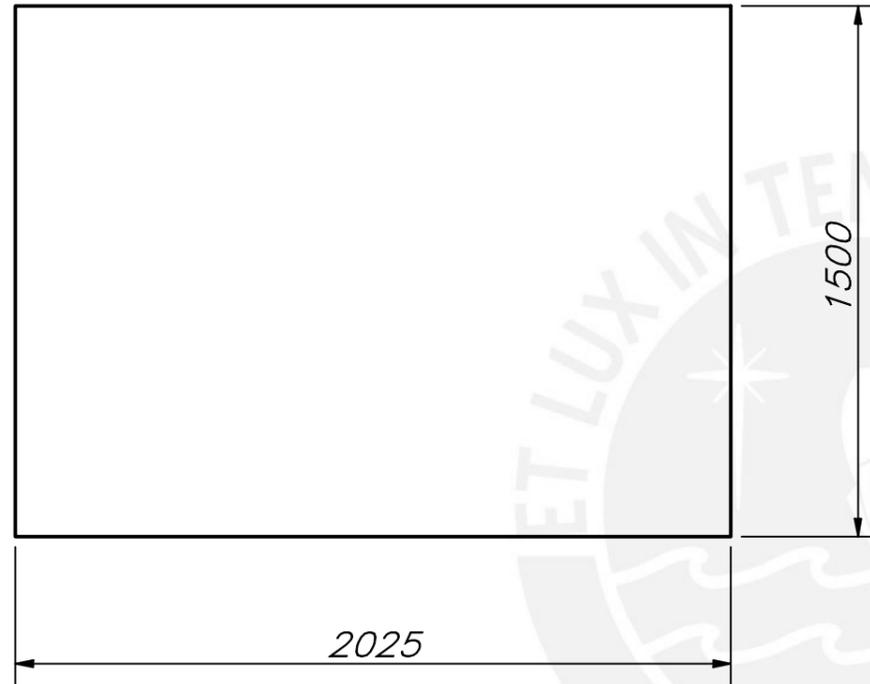
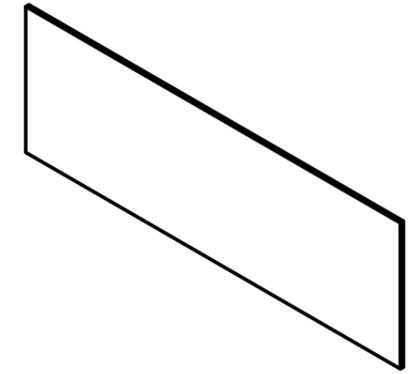
| TOLERANCIAS DIMENSIONALES<br>SEGÚN ISO 2768-1 |                    |                  |                   |                     |                      |                       |                        |                        |
|---|--------------------|------------------|-------------------|---------------------|----------------------|-----------------------|------------------------|------------------------|
| GRADO DE EXACTITUD                            | Más de 0,5 hasta 3 | Más de 3 hasta 6 | Más de 6 hasta 30 | Más de 30 hasta 120 | Más de 120 hasta 400 | Más de 400 hasta 1000 | Más de 1000 hasta 2000 | Más de 2000 hasta 4000 |
| MEDIO   | ±0,1               | ±0,1             | ±0,2              | ±0,3                | ±0,5                 | ±0,3                  | ±0,5                   | ±0,3                   |



Nota: Espesor 1/2"

|   |   |                      |
|---|---|----------------------|
| ACABADO SUPERFICIAL<br>3.2<br>  | TOLERANCIA GENERAL<br>MEDIO-SEGUN<br>ISO 2768-1 | MATERIAL<br>A36      |
| PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ<br><i>Ingeniería mecatrónica</i> |   |                      |
| MÉTODO DE PROYECCIÓN<br>  | Lateral 2                                       | ESCALA<br>1:10       |
| 20130001  | Nuñez Cornejo, Ivanovha Grace                   | FECHA:<br>2022.08.16 |
|   |   | LÁMINA:<br>MD-A3-10  |

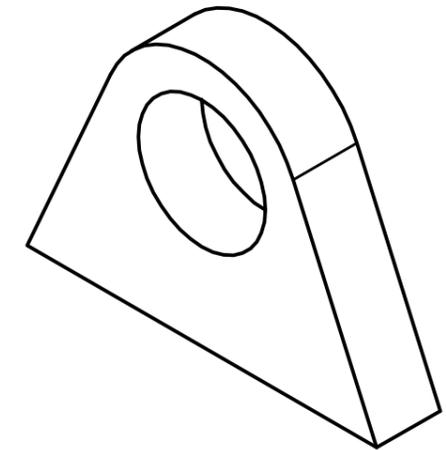
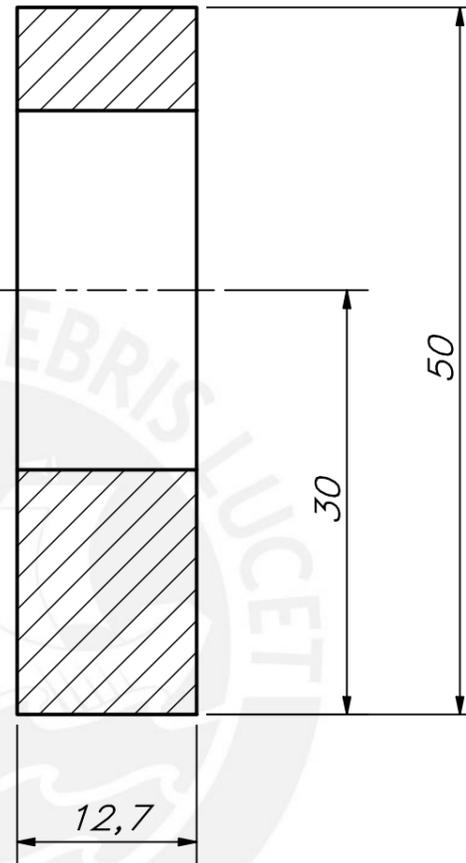
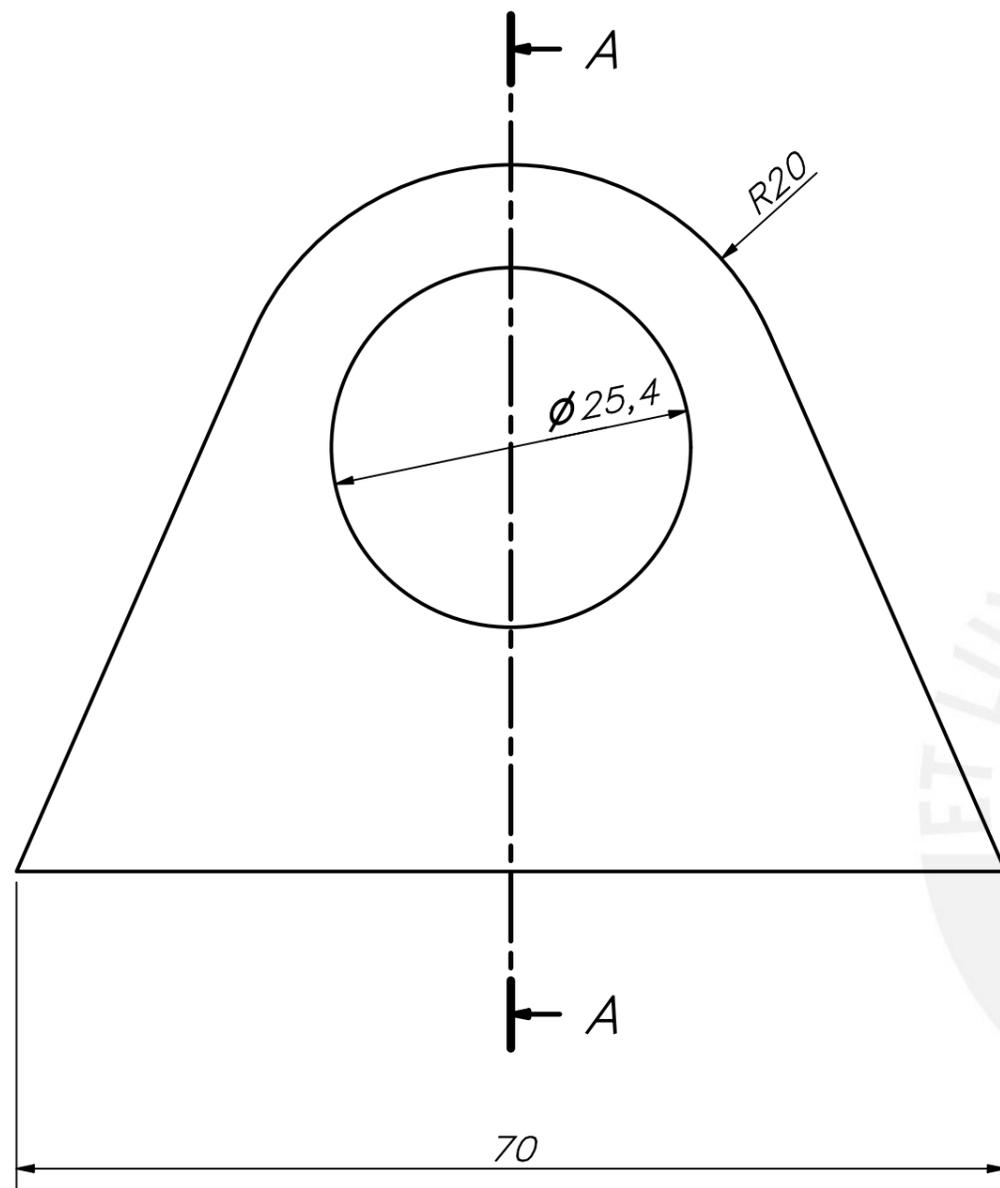
| TOLERANCIAS DIMENSIONALES<br>SEGÚN ISO 2768-1 |                    |                  |                   |                     |                      |                       |                        |                        |
|---|--------------------|------------------|-------------------|---------------------|----------------------|-----------------------|------------------------|------------------------|
| GRADO DE EXACTITUD                            | Más de 0,5 hasta 3 | Más de 3 hasta 6 | Más de 6 hasta 30 | Más de 30 hasta 120 | Más de 120 hasta 400 | Más de 400 hasta 1000 | Más de 1000 hasta 2000 | Más de 2000 hasta 4000 |
| MEDIO   | ±0,1               | ±0,1             | ±0,2              | ±0,3                | ±0,5                 | ±0,3                  | ±0,5                   | ±0,3                   |



Nota: Espesor 1/2"

|   |   |                      |
|---|---|----------------------|
| ACABADO SUPERFICIAL<br>3.2<br>  | TOLERANCIA GENERAL<br>MEDIO-SEGUN<br>ISO 2768-1 | MATERIAL<br>A36      |
| PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ<br><i>Ingeniería mecatrónica</i> |   |                      |
| MÉTODO DE PROYECCIÓN<br>  | Base  | ESCALA<br>1:20       |
| 20130001  | Núñez Cornejo, Ivanovha Grace                   | FECHA:<br>2022.08.16 |
|   |   | LÁMINA:<br>MD-A3-11  |

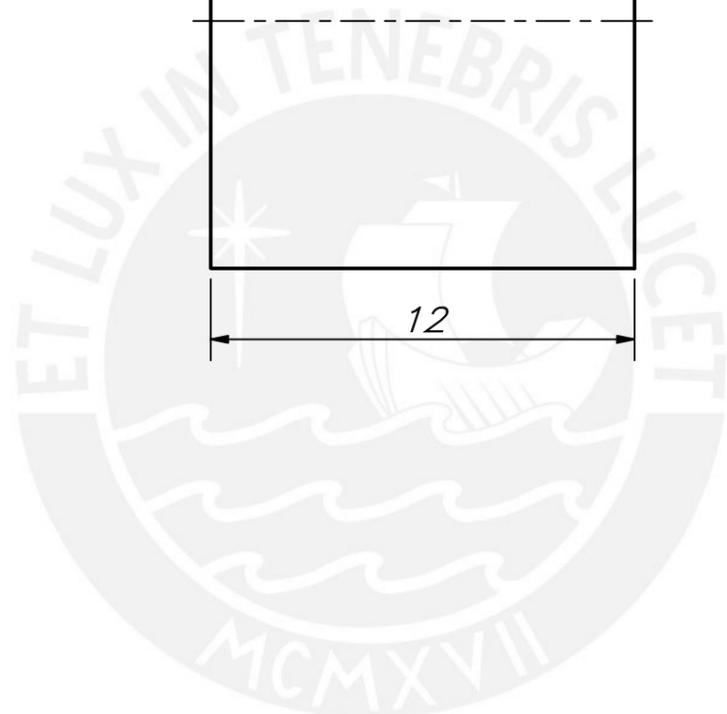
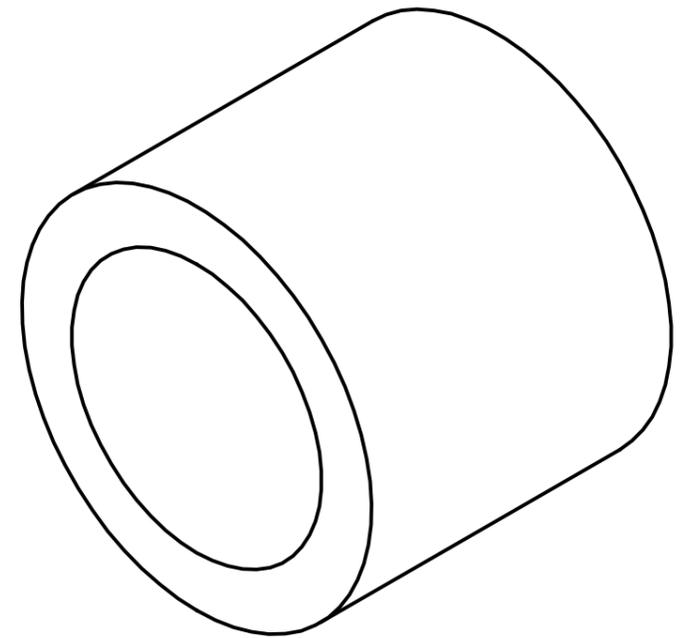
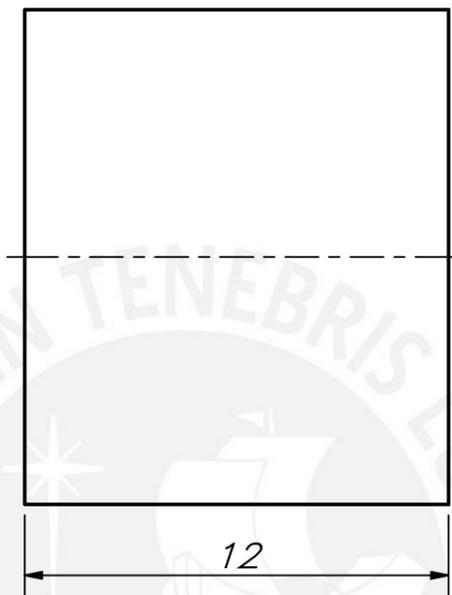
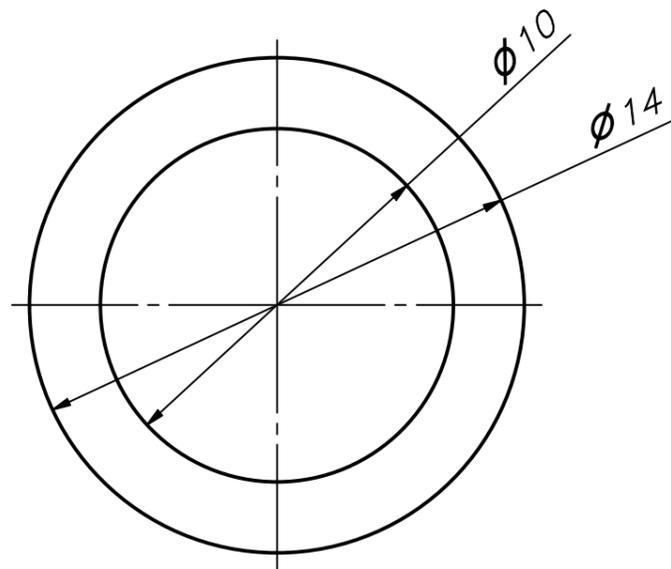
| TOLERANCIAS DIMENSIONALES<br>SEGÚN ISO 2768-1 |                    |                  |                   |                     |                      |                       |                        |                        |
|---|--------------------|------------------|-------------------|---------------------|----------------------|-----------------------|------------------------|------------------------|
| GRADO DE EXACTITUD                            | Más de 0,5 hasta 3 | Más de 3 hasta 6 | Más de 6 hasta 30 | Más de 30 hasta 120 | Más de 120 hasta 400 | Más de 400 hasta 1000 | Más de 1000 hasta 2000 | Más de 2000 hasta 4000 |
| MEDIO   | ±0,1               | ±0,1             | ±0,2              | ±0,3                | ±0,5                 | ±0,3                  | ±0,5                   | ±0,3                   |



TOLERANCIAS DIMENSIONALES  
SEGÚN ISO 2768-1

| GRADO DE EXACTITUD | Más de 0,5 hasta 3 | Más de 3 hasta 6 | Más de 6 hasta 30 | Más de 30 hasta 120 |
|--------------------|--------------------|------------------|-------------------|---------------------|
| MEDIO              | ±0,1               | ±0,1             | ±0,2              | ±0,3                |

|   |   |                      |
|---|---|----------------------|
| ACABADO SUPERFICIAL<br>3.2 (✓)  | TOLERANCIA GENERAL<br>MEDIO-SEGUN<br>ISO 2768-1 | MATERIAL<br>A36      |
| PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ<br><i>Ingeniería mecatrónica</i> |   |                      |
| MÉTODO DE PROYECCIÓN<br>  | Elemento de Izaje                               | ESCALA<br>2:1        |
| 20130001  | Núñez Cornejo, Ivanovha Grace                   | FECHA:<br>2022.08.16 |
|   |   | LÁMINA:<br>MD-A3-12  |



| TOLERANCIAS DIMENSIONALES<br>SEGÚN ISO 2768-1 |                    |                  |                   |
|---|--------------------|------------------|-------------------|
| GRADO DE EXACTITUD                            | Más de 0,5 hasta 3 | Más de 3 hasta 6 | Más de 6 hasta 30 |
| MEDIO   | $\pm 0,1$          | $\pm 0,1$        | $\pm 0,2$         |

|  |   |                       |
|--|---|-----------------------|
| ACABADO SUPERFICIAL<br>3.2<br>                                   | TOLERANCIA GENERAL<br>MEDIO-SEGUN<br>ISO 2768-1 | MATERIAL<br>AISI 1045 |
| PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ<br>CIENCIA E INGENIERÍA |   |                       |
| MÉTODO DE PROYECCIÓN<br>   | SOPORTE DE<br>CERRADURA                         | ESCALA<br>5:1         |
| 20130001   | NUÑEZ CORNEJO, IVANOVHA GRACE                   | FECHA:<br>2022.07.09  |
|  |   | LÁMINA:<br>MD-A3-13   |