

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



**Diseño de un sistema automatizado alimentador de bolas de 4.5” y 5” para
molino SAG**

Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Mecatrónico

AUTOR/A:

Renzo Fernando Gutiérrez Blanco

ASESOR:

Jhon Manuel Portella Delgado

Lima, Julio del 2022

RESUMEN

En la actualidad, la industria minera se encuentra migrando hacia el uso de nuevas tecnologías para la automatización de casi todos sus procesos debido a que permite obtener un ahorro significativo de costos operativos, mano de obra, planificación, tiempo, seguridad para el operador y toma de decisiones inmediata para la mejora de procesos. Por ello la automatización de procesos en áreas donde existen una mayor demanda de costos como lo es la molienda es de mucha importancia para la planta de procesamiento de mineral.

En el proceso de molienda, los gastos de activos que demandan mayor cantidad de dinero al año son el consumo de bolas. Por ello, el automatizar este proceso para optimizar el consumo de bolas, sin afectar el rendimiento en un molino, representan un gran ahorro en cualquier planta de procesamiento de mineral, por consiguiente, se espera controlar el flujo de bolas en una molienda SAG que, por lo general, cuenta con diámetros de 4.5" y 5".

Entonces, el presente trabajo involucra el diseño de un sistema automatizado alimentador de bolas de 4.5" y 5" para molino SAG, con características particulares que satisfacen los requerimientos de un alimentador de molinos SAG convencional existentes.

Finalmente, el diseño del sistema propuesto garantiza un flujo constante de bolas el cual consiste en una tolva de almacenamiento de bolas que son descargadas, de manera controlada, mediante una compuerta accionada por un pistón neumático hacia un dosificador accionado por un motor eléctrico. Este dosificador permite regular la velocidad de descarga de las bolas dirigiéndolas hacia un sensor para que sean contabilizadas y analizadas al final de su recorrido previo al ingreso del molino. El sensor, el motor eléctrico y la compuerta de descarga son controlados mediante un panel de control.

DEDICATORIA

A Dios por la sabiduría y la salud; a mis padres, en especial a mi madre Ayna Blanco Calderón, por su apoyo incondicional; a mi esposa que fue mi soporte durante la última etapa académica y a mi hijo por ser mi fortaleza y me inspira a ser cada vez mejor persona.

A mis amigos que conocí durante mi etapa universitaria y profesores que supieron orientarme de manera correcta.

Les agradezco infinitamente.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi familia, a mis asesores, a mis colegas que conocí durante toda mi etapa universitaria, a mis profesores, a mis colegas de trabajo y en especial a mi madre y a mi esposa que siempre me apoyaron durante todo este proyecto. Fue una etapa difícil con subidas y bajadas, pero gracias a la buena predisposición de todas las buenas personas que conocí durante mi etapa profesional, me ayudaron a descubrir ideas que permitieron el desarrollo del presente proyecto. Asimismo, los viajes a operaciones mineras y conocer a muchas personas de diferentes especialidades me ayudaron a entender cuáles son los problemas más críticos que ocurren en una operación minera, así como los problemas que lidian día a día. Finalmente, agradecer a la universidad por darme la oportunidad de poder plasmar lo aprendido en este proyecto, así como nutrirme de conocimientos y buenos valores que cada uno de los profesores me transmitieron en cada curso.



INDICE

RESUMEN.....	i
DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTOS.....	iii
INDICE DE TABLAS.....	vi
INDICE DE FIGURAS.....	viii
LISTA DE SIMBOLOS.....	ix
1. CAPÍTULO I: ANTECEDENTES Y MARCO TEÓRICO.....	1
1.1. Antecedentes.....	1
1.2. Marco teórico.....	5
1.2.1. Principales procesos para la producción en mina.....	5
1.2.2. Componentes del sistema alimentación de bolas del molino.....	6
1.2.3. Bolas de acero para molienda.....	7
1.3. Objetivo general.....	7
1.4. Objetivos específicos.....	8
1.5. Metodología.....	8
2. CAPITULO II: DISEÑO CONCEPTUAL.....	11
2.1. Requerimientos del sistema.....	11
2.2. Estructura de funciones.....	12
2.2.1. Mecánica.....	13
2.2.2. Electrónica.....	14
2.2.3. Control.....	15
2.3. Matriz morfológica.....	15
2.3.1. Matriz morfológica del dominio mecánico.....	16
2.3.2. Matriz morfológica del dominio electrónico.....	17
2.3.3. Matriz morfológica del dominio de control.....	18
2.4. Concepto solución.....	19
2.4.1. Concepto solución 1.....	19
2.4.2. Concepto solución 2.....	19
2.4.3. Concepto solución 3.....	20
2.5. Evaluación de conceptos solución.....	21
2.5.1. Evaluación técnica.....	21
2.5.2. Evaluación económica.....	22
2.5.3. Evaluación de soluciones.....	23
3. CAPITULO III: DISEÑO DEL SISTEMA MECATRÓNICO.....	25
3.1. Diseño mecánico.....	25
3.2. Cálculos mecánicos.....	26

3.2.1. Cálculo de la capacidad de la tolva de almacenamiento.....	26
3.2.2. Cálculo de la plancha base la tolva de alimentación.....	28
3.2.3. Cinemática del movimiento de las bolas.....	29
3.2.4. Cálculo de las reacciones en rieles guía para la compuerta.....	32
3.2.5. Cálculos para los actuadores de las compuertas.....	35
3.2.6. Cálculo de la resistencia de la compuerta.....	36
3.2.7. Análisis de resistencia del acople entre actuador y compuerta.....	38
3.2.8. Diseño del dosificador.....	38
3.2.9. Cálculo de potencia en el eje del dosificador.....	42
3.3. Selección de componentes.....	43
3.3.1. Selección de los rieles para las compuertas.....	43
3.3.2. Selección del actuador para la compuerta neumática.....	43
3.3.3. Selección de la válvula para el cilindro neumático.....	44
3.3.4. Selección del motor AC y variador de frecuencia (VFD).....	45
3.3.5. Selección del sensor láser para medición de bolas.....	47
3.3.6. Selección del controlador.....	48
3.3.7. Selección de rodamientos.....	50
3.4. Selección de materiales.....	50
3.5. Diagrama de flujo del sistema.....	51
3.6. Esquema neumático.....	55
3.7. Planos eléctricos.....	55
3.7.1. Diagrama del PLC.....	55
3.7.2. Esquemas eléctricos y de conexiones.....	56
4. CAPÍTULO VI: COSTOS.....	58
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	59
BIBLIOGRAFÍA.....	61
ANEXOS.....	63

INDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Tabla comparativa sobre bolas de acero laminado y forjado.....	1
Tabla 1.2. Nivel de llenado	2
Tabla 1.3. Uso de medios de molienda	3
Tabla 1.4. Características de la tolva actual.....	7
Tabla 1.5. Ficha técnica de bolas de acero Moly-Cop con sus pesos	7
Tabla 2.1. Evaluación técnica	22
Tabla 2.2. Evaluación económica	23
Tabla 2.3. Evaluación de soluciones.....	23
Tabla 3.1. Lista de componentes principales	26
Tabla 3.2. Peso de bolas para bolas de 4.5” y 5”	27
Tabla 3.3. Parámetros del Material de la base del sistema (FEA)	28
Tabla 3.4. Resultados de la base del sistema	29
Tabla 3.5. Modelo de las cargas aproximadas en la compuerta.....	31
Tabla 3.6. Modelo de las cargas aproximadas en la compuerta simplificado.....	37
Tabla 3.7. Resultados de la compuerta	37
Tabla 3.8. Resultados del acople.....	38
Tabla 3.9. Descripción del tipo de tubo flexible, racor y válvula de estrangulamiento.....	45
Tabla 3.10. Descripción del motor SEW	46
Tabla 3.11. Descripción del variador de frecuencia SEW	47
Tabla 3.12. Sensor de sección de luz para medición de objetos del sensor Keyence	48
Tabla 3.13. Descripción del Controlador programable SIEMENS S7-1200 1211C.....	49
Tabla 3.14. Tabla de rodamientos SKF para rodamientos rígidos de una hilera de bolas	50
Tabla 3.15. Materiales de los componentes principales.....	51
Tabla 3.16. Planos eléctricos principales.....	56
Tabla 3.17. Amperaje que soportan los cables de cobre	57
Tabla 4.1. Tabla de costos de fabricación.....	58
Tabla A.1. Características del sensor lineal LPS Leuze Electronics.....	71

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Bolas de acero laminado y bolas de acero fundido.....	1
Figura 1.2. Cuadro del precio promedio de venta de consumo de bolas por USD/TM	2
Figura 1.3. Molino SAG visto desde el exterior y (b) visto desde el interior con el llenado de bolas....	3
Figura 1.4. Tolva de alimentación: Válvula de compuerta, agujero de evacuación de las bolas y llenado de las bolas.....	4
Figura 1.5. Funcionamiento interno de un molino de bolas.....	4
Figura 1.6. Resumen de pruebas variando el diámetro de las bolas del Molino SAG.....	5
Figura 1.7. Curva granulométrica del Producto Molino SAG	5
Figura 1.8. Diagrama de proceso de producción en mina.....	6
Figura 1.9. Tolva de almacenamiento, compuerta manual para alimentación, canaleta de alimentación y tambor de molino	6
Figura 1.10. Metodología VDI 2221.....	8
Figura 2.1. Black Box	12
Figura 2.2. Estructura de funciones global	13
Figura 2.3. Black Box del dominio mecánico.....	13
Figura 2.4. Diagrama del dominio mecánico.....	14
Figura 2.5. Black Box del dominio de electrónico.....	14
Figura 2.6. Diagrama del dominio electrónico	14
Figura 2.7. Black Box del dominio de control.....	15
Figura 2.8. Diagrama del dominio de control	15
Figura 2.9. Bosquejo del concepto solución 1	19
Figura 2.10. Bosquejo del concepto solución 2	19
Figura 2.11. Bosquejo del concepto solución 3	21
Figura 2.12. Gráfico Valoración Técnico-Económica	24
Figura 3.1. Vista isométrica del sistema	25
Figura 3.2. Estructura de la tolva de alimentación.....	27
Figura 3.3. Corte perfil de la tolva.....	28
Figura 3.4. Traslado de las bolas a través de la compuerta.....	30
Figura 3.5. Diagrama de cuerpo libre para la fuerza de en una bola.....	30
Figura 3.6. Modelado de la compuerta (I) y diagrama de cuerpo libre (II) considerando dos soportes por riel guía	33
Figura 3.7. DCL viga hiperestática	33
Figura 3.8. Modelado de la compuerta (I) y diagrama de cuerpo libre (II) considerando un soporte por riel guía	34
Figura 3.9. DCL viga isostática	34

Figura 3.10. Esquemático de un cilindro neumático, donde d es el diámetro, A_p es el área del cilindro, t es el tiempo que demora en desplazarse y C es la longitud de carrera.	35
Figura 3.11. Rodillo dosificador de alimentación de bolas.....	39
Figura 3.12. DCL del dosificador	39
Figura 3.13. Diagrama de cuerpo del eje y diagrama de esfuerzos.....	41
Figura 3.14. Riel guía de Festo	43
Figura 3.15. Cilindro neumático Festo.....	44
Figura 3.16. Válvula neumática Festo	44
Figura 3.17. Gráfica de rango de medición del sensor Keyence.....	48
Figura 3.18. Controlador programable SIEMENS S7-1200.....	49
Figura 3.19. Diagrama de flujo del sistema alimentador de bolas	51
Figura 3.20. Diagrama de flujo de configuración Inicial.....	52
Figura 3.21. Diagrama de flujo de recepción de señales de actuador y sensor.....	53
Figura 3.22. Diagrama de flujo del cierre de compuerta	53
Figura 3.23. Diagrama de flujo de la apertura de compuerta	54
Figura 3.24. Diagrama de flujo del registro de cantidad de bolas	54
Figura 3.25. Diagrama de flujo del registro de forma de bolas	54
Figura 3.26. Esquema neumático de la compuerta automática.....	55
Figura 3.27. Esquema de salidas y entradas en el PLC mediante TIA PORTAL.....	56

LISTA DE SIMBOLOS

F	:	Fuerza [N]
f	:	Fricción
M	:	Masa [kg]
g	:	Gravedad [m/s^2]
β	:	Angulo [$^\circ$]
ω	:	Velocidad angular [rad/s]
α	:	Aceleración angular [rad/s ²]
N	:	Revoluciones por minuto [RPM]
r	:	Radio [m]
T	:	Torque [N.m]
P	:	Potencia [W]
V	:	Velocidad [m/s]
Q	:	Caudal [m ³ /s]
ρ	:	Densidad [kg/m ³]
t	:	Tiempo [s]
d	:	Diámetro [m]
I	:	Momento de inercia [kg.m ²]
λ	:	Ángulo de paso [$^\circ$]
η	:	Eficiencia
σ_F	:	Esfuerzo de fluencia [N/mm ²]
τ	:	Esfuerzo cortante [N/mm ²]
A	:	Avance [mm]
L	:	Longitud [m]
E	:	Número de entradas
Va	:	Velocidad de avance [mm/s]
S	:	Módulo de sección
Vo	:	Velocidad inicial de la bola [m/s]
a_c	:	Aceleración con la que sale bola hacia la rampa [m/s ²]
e_1	:	Longitud del tramo al pasar una bola [m]
Fp	:	Fuerza de pandeo [N]
E	:	Módulo de elasticidad [N/m ²]
Lp	:	Longitud libre [m]

1. CAPÍTULO I: ANTECEDENTES Y MARCO TEÓRICO

En el presente capítulo se explicará brevemente el proceso de molienda, las características de las bolas para molienda, los métodos usados para el llenado de bolas a los molinos SAG¹ y como esto es una parte fundamental del procesamiento de mineral en las empresas mineras.

1.1. Antecedentes

En minería, el consumo de bolas en los molinos es uno de los parámetros más críticos en cuanto a costo. En el Perú, se consumen 2 tipos de bolas: de acero laminado y acero fundido, como se observa en la Figura 1.1.



Figura 1.1. a) Bolas de acero laminado y b) Bolas de acero fundido. (Mepsa,2018)

En la Tabla 1.1. se comparan las principales características entre las bolas de acero laminado y las bolas de acero fundido.

Tabla 1.1. Tabla comparativa sobre bolas de acero laminado y fundido (Mepsa,2018)

Acero laminado	Acero fundido
Descripción del producto: las bolas de acero laminado se utilizan en el proceso de reducción de tamaño de los granos minerales para su posterior refinamiento.	Descripción del producto: las bolas de acero fundido se utilizan en el proceso de reducción de tamaño de los granos minerales para su posterior refinamiento.
Materia prima: barras de acero.	Materia prima: acero chatarra y ferroaliantes.
Consideraciones: este tipo de bolas se obtiene mediante un proceso de calentamiento y extrusión de barras de acero, el cual finalmente es templado mediante un tratamiento térmico lo cual le otorga una mayor dureza y tenacidad.	Consideraciones: este tipo de bolas presenta menor duración que las bolas laminadas y su precio es similar. Por ello la demanda de este producto se ha reducido significativamente en los últimos años.

¹ La molienda semi autógena (SAG) provoca la fragmentación del mineral por el efecto combinado del propio mineral y de un pequeño porcentaje de bolas de acero. En cambio, la molienda autógena (AG) el mineral se fragmenta en el interior del molino sin ayuda de otro tipo de medios moledores que no sea el propio mineral (Kelly & Spottiswood, 1990).

En la Figura 1.2. se muestra la evolución de los precios por Tonelada Métrica (TM) que manejan algunos proveedores de bolas como es el caso de la empresa Mepesa. Evaluando los precios del año 2017, para una empresa minera que procesa unas 2000 TM/día, el precio anual es aproximadamente de 1000 USD/TM, lo cual equivaldría un consumo anual de 2'000'000 dólares, sin contabilizar las bolas de mala calidad que igual ingresan a ser parte de molienda.

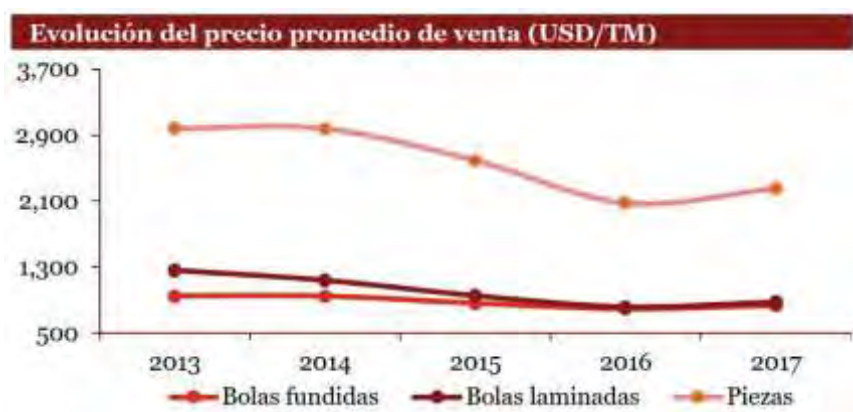


Figura 1.2. Cuadro del precio promedio de venta de bolas por USD/TM.
(Mepesa, 2018)

Adicionalmente, en la Tabla 1.2 se muestra el nivel de llenado de un molino, que corresponde a la fracción porcentual del total de su volumen interno, que debe ser cargado con el material moledor (barras o bolas).

Tabla 1.2. Nivel de llenado. (Monsalve, R., 2015)

Tipo de Molino	Grado de Llenado
Barras	30-40%
Bolas	40-45%
Bolas (remolienda)	25-30%
SAG	10-15%

Asimismo, el tamaño de las bolas requerido dependerá del tipo de molienda como se muestra en la Tabla 1.3.

Tabla 1.3. Uso de medios de molienda. (Monsalve, R., 2015)

Tipo de molienda	Tamaño de bolas (pulgadas)
SAG	4" - 6"
Bolas	1" - 4"
Vertical	0.5" - 1.5"
Ultrafina (ISA)	< 0.1"

Un circuito moderno de molienda consume aproximadamente entre 30 y 40% de bolas grandes (> 4 "), entre 40 y 50% de bolas de tamaño medio ($2'' - 3,5''$) y, el resto, de bolas pequeñas ($< 2''$) (Monsalve, R., 2015).

En la Figura 1.3 se muestra un molino con cierto nivel de bolas en su interior, el ingreso de bolas hacia los equipos de molienda se realiza a través de chutes de alimentación que transportan las bolas a través de las canaletas provenientes de la tolva de almacenamiento. En estas tolvas se acumulan bolas de cualquier tamaño y que son ingresadas manualmente mediante un operador. En la Figura 1.4. se observa el chute de alimentación y la tolva de almacenamiento.



Figura 1.3. (a) Molino SAG visto desde el exterior y (b) visto desde el interior con el llenado de bolas. (Flsmidth, 2012)



(a)



(b)

Figura 1.4. (a) Tolva de almacenamiento de bolas antes de ingresar a un molino SAG y (b) Chute de alimentación el cual canaliza el ingreso de bolas al molino SAG junto con el mineral.

El funcionamiento de un molino de bolas consiste en reducir el tamaño de los sólidos de entrada mediante el impacto de las bolas entre sí o con las partículas del material a moler como se muestra en la Figura 1.5. Los impactos dentro del molino se producen al girar el contenedor sobre su propio eje mediante rodamientos.

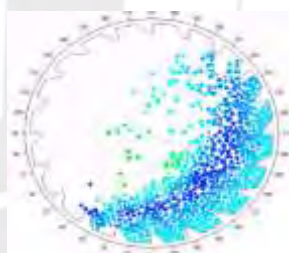


Figura 1.5. Funcionamiento interno de un molino de bolas. (Fuente: Simulador 2DEM Metso Minerals)

En la Figura 1.6 se visualiza el efecto del aumento de tamaño de las bolas del SAG en la reducción de la molienda. Se puede apreciar que, al aumentar el diámetro de las bolas, el tamaño de la abertura del tamiz que permite pasar el 80% del sólido que se está moliendo (D80) disminuye. Es decir que si se emplea bolas de 4.5" de diámetro, el tamaño mínimo del tamiz para filtrar el 80% de sólidos debe ser de 5.819 mm mientras que para un diámetro de bolas de 5.5" el tamaño del tamiz disminuye a 3.2 mm. Asimismo, el tamaño del tamiz que deja pasar el 80% de las partículas de transferencia de un circuito a otro (T80) también disminuye a medida que se aumenta el diámetro de las bolas.



Figura 1.6. Resumen de pruebas variando el diámetro de las bolas del Molino SAG. (Compañía Minera Antapaccay, Enero 2018)

En la curva granulométrica mostrada en la Figura 1.7 se aprecia como el collar de bolas de 5.5” produce una curva de distribución más fina que el collar de 5.0” y 4.5”, es decir que la reducción de sólidos ocurre con mayor rapidez cuando el diámetro de bola es mayor.

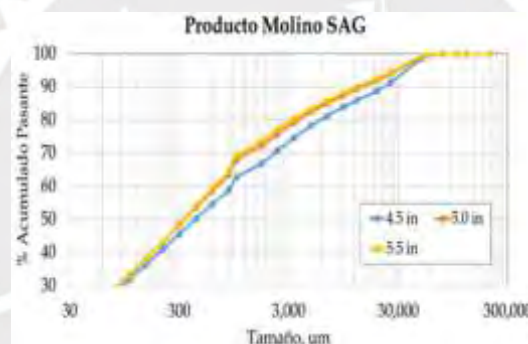


Figura 1.7. Curva granulométrica del Producto Molino SAG. (Compañía Minera Antapaccay, Enero 2018)

1.2. Marco teórico

En el presente subcapítulo se presentarán los procesos que componen la etapa de producción de una mina, identificando el proceso de molienda para posteriormente detallar en los componentes que serán adaptados al sistema a desarrollar en la presente tesis.

1.2.1. Principales procesos para la producción en mina

El proceso de minerales dentro de una mina abarca desde la extracción del material, su procesamiento para la separación del mineral de las rocas, la fundición para separar los metales contenidos y por último su refinación, donde se purifican para ser comercializados. En la Figura 1.8 se presenta un diagrama que resume los procesos mencionados y que generalmente se siguen en cualquier trabajo en mina. El

proceso de molienda ocurre justo después de la extracción del mineral dentro de la etapa de procesamiento y es muy importante debido a que se encarga de separar las partículas metálicas de las rocas. La maquinaria empleada en el proceso de molienda son los molinos.



Figura 1.8. Diagrama de proceso de producción en mina. (Elaboración propia)

1.2.2. Componentes del sistema alimentación de bolas del molino.

Los sistemas de alimentación actuales para los molinos de bolas generalmente cuentan con los siguientes componentes: i) Tolva de almacenamiento de bolas, ii) Compuerta para alimentación de bolas accionada por válvula, iii) Canaleta de alimentación y iv) Tambor de molino. En la Figura 1.9 se muestran los componentes mencionados.

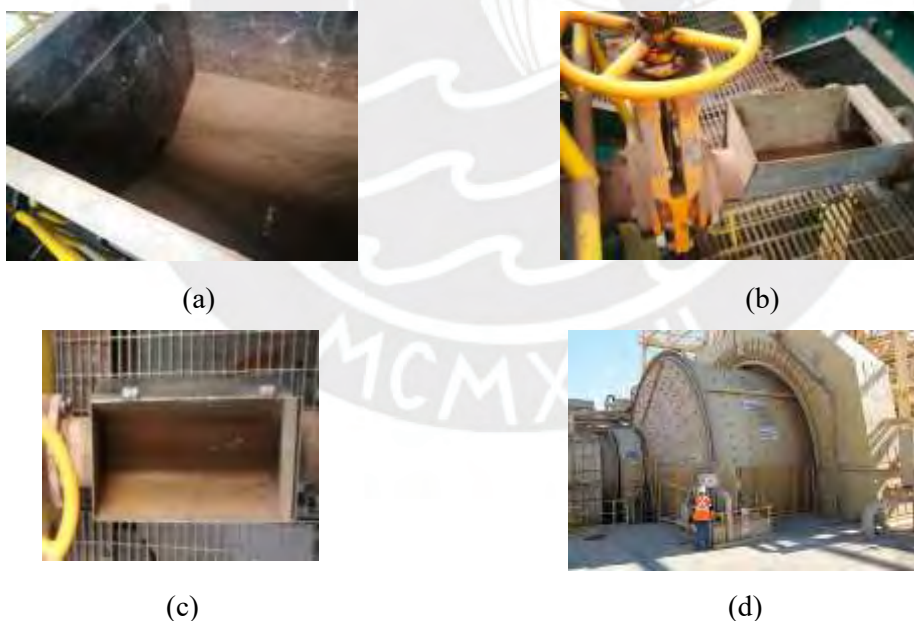


Figura 1.9. a) Tolva de almacenamiento, b) Compuerta manual para alimentación, c) Canaleta de alimentación y d) Tambor de molino.

La tolva de almacenamiento tiene una capacidad de 13 000 kg y una descarga de 3.6 kg/s. Para la presente tesis se tomarán en cuenta las características descritas en la Tabla 1.4.

Tabla 1.4. Característica de tolva empleada en mina. (Compañía de Minas Buenaventura, 2019)

Material	ASTM A36
Espesor de plancha	½"
Volumen	2m ³
Dimensiones	1mx1mx2m
Capacidad de bolas	15 500 kg
Capacidad de bolas efectivas	13 000 kg
Velocidad de descarga de bolas	3.6 kg/s

1.2.3. Bolas de acero para molienda

En la presente tesis se utilizarán bolas de acero laminado debido a que poseen una mayor duración que las bolas fundidas a un precio similar según lo descrito en la Tabla 1.1, siendo las más comerciales en el mercado nacional la marca Moly-Cop. Según la Tabla 1.5 de Moly-Cop, el tamaño de las bolas puede ir 3.5" hasta 5" para molienda SAG. La densidad de las bolas de acero es de 4520 kg/m³ (Moly-Cop Peru Grinding Balls Technical Specifications). Para el presente trabajo se trabajará específicamente con bolas de 4.5" y 5".

Tabla 1.5 Ficha técnica de bolas de acero Moly-Cop con sus pesos (Moly-Cop 2018)

Diámetro nominal de bolas (pulg)	Peso nominal de bolas (gr)
3,5	2 888
4,0	4 311
4,5	6 138
5,0	8 419

1.3. Objetivo general

Diseñar un sistema automatizado alimentador de bolas de un molino SAG, con la capacidad de identificar su tamaño y consumo de bolas por día.

1.4. Objetivos específicos

- Investigar sobre diseños de alimentadores existentes en la industria minera y realizar visitas a campo para entender la necesidad del trabajador minero.
- Diseñar un sistema mecánico para automatizar el accionamiento de una compuerta que regule la dosificación de bolas hacia el molino.
- Diseñar un sistema de sensado que permita medir el tamaño de cada bola que es enviada al tambor de un molino SAG, permitiendo obtener un registro por día de consumo.
- Diseñar un algoritmo de control que permita controlar el accionamiento de los actuadores del sistema.
- Estimar los costos asociados a los componentes eléctricos, mecánicos e instrumentación siguiendo la línea de referencia de proveedores y componentes comerciales actualmente en el mercado.

1.5. Metodología

El procedimiento empleado en esta tesis está basado en la metodología alemana VDI 2221 “Enfoque sistemático para el desarrollo y diseño de sistemas y productos técnicos” (Jänsch y Birkhofer, 2006), cuyo objetivo es emplear una metodología para el diseño de sistemas de manera más eficiente. Esta metodología se divide en varias etapas, así como se muestra en la figura 1.10, las cuales describiremos a continuación:

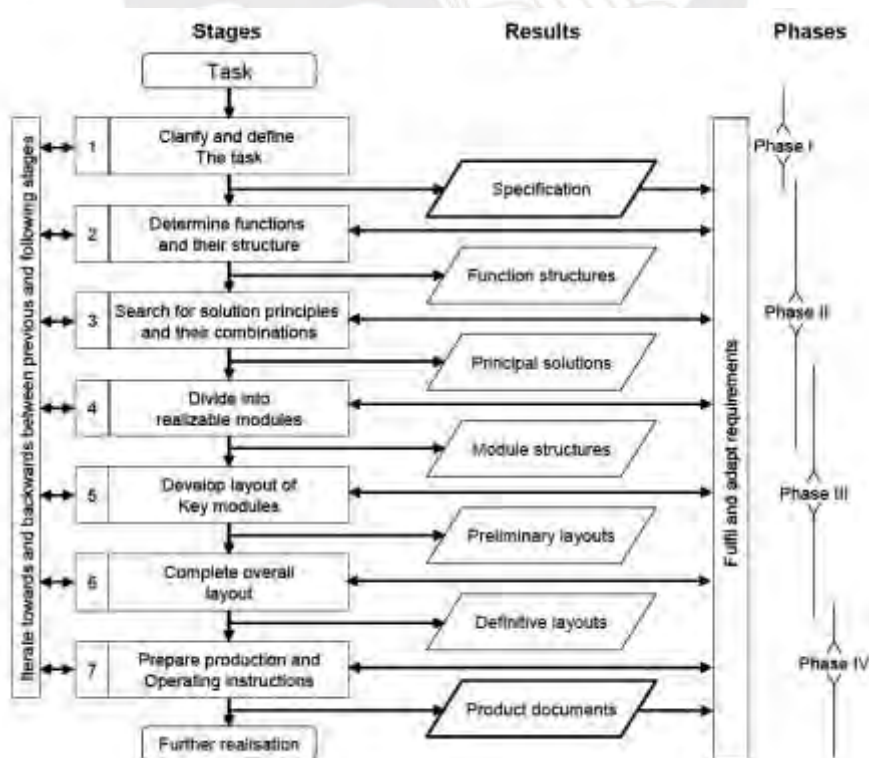


Figura 1.10. Metodología VDI 2221. (Jänsch y Birkhofer, 2006)

Especificación: En este punto se describe todas las necesidades del producto la cual se logra por medio del análisis de la problemática. Además, se establece la propuesta solución, los objetivos generales y específicos asociados al proyecto del sistema mecatrónico. También abarca el desarrollo del marco teórico bajo la cual se desarrolla el problema y los antecedentes, que, en este caso, describe la situación de las operaciones mineras en el país como la importancia del consumo de bolas.

Estructura funcional: En esta etapa se describen las funciones del producto como la función general y las subfunciones que permitirán al prototipo lograr su objetivo. Esta estructura se realiza mediante diagramas formales las cuales se logran gracias a las exigencias que la propuesta debe de cumplir a través de una lista de requerimientos. Se considerarán exigencias como la geometría, el material, la materia con la que interactúa, los requerimientos que el software debe de cumplir, entre otros. A esta sección también le corresponde el desarrollo de una estructura de funciones donde, una vez reconocidos los subsistemas, se identifican las entradas y salidas de materia, energía y señales del proyecto.

Estructura modular: En esta etapa se forma una estructura que proporciona una indicación preliminar de la descomposición de la solución en subgrupos, para poder definir las especificaciones de manera más precisa. En este paso, la metodología indica la creación de una matriz morfológica en donde se indica la gama de posibilidades para poder implementar cada subsistema, la cual servirá para discriminar la opción más indicada. En el proyecto se considerarán las opciones disponibles para la implementación del producto, tales como motores, sensores, tipos de sistemas de control disponibles, entre otros criterios.

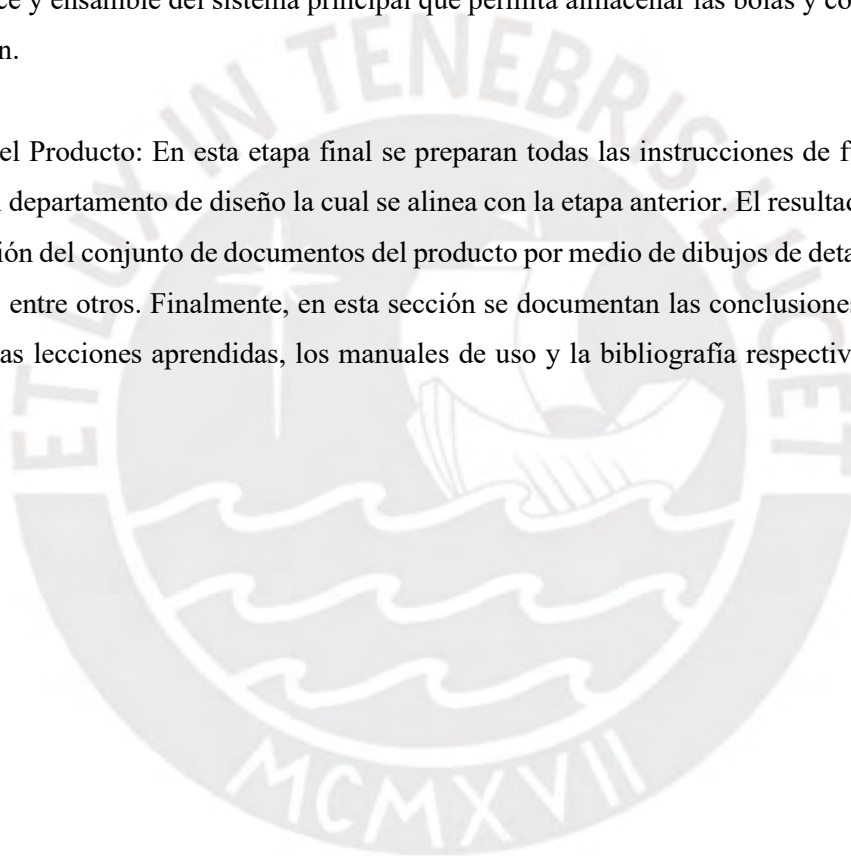
Solución Principal: En esta etapa se realiza una búsqueda de principios de solución para todas las subfunciones. La combinación de las soluciones más óptimas para la realización de las subfunciones brindará una base para la búsqueda de soluciones para la función global. En el documento, este paso se logra gracias a la matriz morfológica elaborada, la cual brindará una gama de opciones para realizar la selección de los módulos más óptimos. Y posterior a ello, el desarrollo de conceptos de solución, que son las posibilidades de implementación del producto. Dicho proceso se verá reflejado en el proyecto por medio de la selección específica de cada componente ideal que formará parte de los subsistemas.

Diseños Preliminares: Esta etapa consiste en realizar una serie de propuestas de diseños que involucren el correcto diseño de la máquina capaz de cumplir la función esperada. Esta fase es implementada por medio de dibujos a escala, diagramas de circuito, etc. En el documento, una vez seleccionados los componentes a utilizar por medio de la matriz morfológica, esta fase estará representada por el desarrollo de las posibilidades de implementación, que darán pase a la solución escogida para comenzar el desarrollo a detalle del producto final. Este proceso será ejecutado por medio del desarrollo de

propuestas que permitan desarrollar un sistema que tenga un control de las bolas al ingreso al molino SAG así como la evaluación de forma.

Diseño Definitivo: En esta etapa el diseño preliminar escogido se define al agregar información más detallada sobre conjuntos y componentes no considerados anteriormente. Esta fase contiene toda la información esencial para realizar el producto. Los elementos que contiene son los planos de diseño del producto, así como los planos de las piezas preliminares, planos eléctricos, entre otros. En el documento, esta fase implica el desarrollo de los planos de ensamble y despiece de todo el proyecto para brindar todas las facilidades de fabricación. También se toma en cuenta un cálculo preliminar de costos para la elaboración. Todo el proceso mencionado se visualizará por medio del desarrollo de los planos de detalle, despiece y ensamble del sistema principal que permita almacenar las bolas y controlarlas hasta su dispensación.

Documentos del Producto: En esta etapa final se preparan todas las instrucciones de funcionamiento, avaladas por el departamento de diseño la cual se alinea con la etapa anterior. El resultado de esta etapa es la presentación del conjunto de documentos del producto por medio de dibujos de detalle y ensamble, lista de piezas, entre otros. Finalmente, en esta sección se documentan las conclusiones del desarrollo del proyecto, las lecciones aprendidas, los manuales de uso y la bibliografía respectiva. (Arias et al., 2018)



2. CAPITULO II: DISEÑO CONCEPTUAL

2.1. Requerimientos del sistema

Requerimientos mecánicos:

- El sistema debe asegurar que los componentes electrónicos queden protegidos del polvo, se contará con protección IP67 de la norma CEI60529 Degrees of Protection.
- La masa del sistema completo debe ser menor de 1000 kg aproximadamente de forma que se asemeje a los sistemas comerciales.
- El sistema deberá ser dimensionado para suministrar bolas a un molino SAG de capacidad de procesamiento de minerales de 13 Ton/h.
- Las dimensiones de la tolva de almacenamiento deben ser de x m de largo, x m de ancho y x m de altura permitiendo almacenar hasta 1000 kg de bolas de 4.5" y 5".
- El sistema deberá permitir descargar todas las bolas almacenadas en la tolva de almacenamiento en un tiempo máximo de 1 hora.

Requerimientos electrónicos:

- El sistema se alimentará con corriente de 220VAC y 60Hz y suministro de aire comprimido a una presión de 7 bar.
- Los sensores del sistema deben estimar el tamaño y cantidad de bolas que son suministradas al molino SAG, identificando si tienen imperfecciones.
- El sistema deberá contar con un botón de parada de emergencia montado en una zona de fácil acceso además de un LED indicador de emergencia.
- El sistema electrónico deberá trabajar a temperaturas de hasta 3°C, a alturas de 4500 m.s.n.m.
- El sistema debe ser capaz de estimar si existe material para procesar dentro del tambor del molino SAG empleando sensores de distancia.

Requerimientos de control:

- El algoritmo de control del sistema permitirá cerrar o abrir la compuerta que permite descargar bolas desde la tolva de manera automática dependiendo del flujo de material dentro del tambor del molino SAG.
- Las funciones del sistema serán controladas por una computadora embebida que enviará instrucciones mediante señales eléctricas al actuador de la compuerta de la tolva.
- El sistema contará con una interfaz de usuario que permitirá visualizar el número de bolas suministradas y número de bolas de mala calidad identificadas.

2.2 Estructura de funciones

Se emplea el método de la caja negra acompañado, luego se explica cada dominio donde se observa la interacción entre las funciones. En la Figura 2.1 se muestra la caja negra del sistema identificando como entradas a la energía eléctrica, las bolas de acero que son almacenadas inicialmente en una tolva y una señal que permite monitorear si existe material dentro del tambor del molino. Esta última se basa en la medición de picos de corriente del motor del tambor. Como salida se obtendrá ruido, calor y vibración además de información acerca de las bolas suministradas al sistema cuantificando las que se identificaron de mala calidad. Las bolas se van desgastando dentro del molino por lo que también se encuentran consideradas como salida.



Figura 2.1. Black Box. (Elaboración propia)

En la Figura 2.2 se muestra la estructura de funciones del sistema a diseñar, en primera instancia se energiza el sistema y se introducen bolas de acero fundido a la tolva de almacenamiento del sistema. La compuerta de alimentación que permite descargar las bolas de la tolva inicialmente se encontrará cerrada, su activación automática dependerá del nivel de material dentro del tambor del molino el cual se mide en base de los picos de corriente que se generan en el suministro del motor del tambor del molino. Si en la señal del estado del motor del tambor no se identifican picos de corriente la compuerta de la tolva permanecerá cerrada debido a que no es necesario seguir alimentando de bolas al molino. En caso contrario se mantendrá la compuerta abierta. De manera simultánea, se acondicionan sensores en la canaleta de alimentación donde se medirá la forma de manera individual de cada bola empleada en el molino SAG. Para ello se emplean sensores de alta frecuencia que puedan realizar mediciones sin necesidad de interrumpir el transporte de las bolas. Toda la información recolectada, tanto del número de bolas empleadas, identificando las de mala calidad se mostrará en una interfaz gráfica. Una vez terminado el trabajo del sistema, se desenergiza.

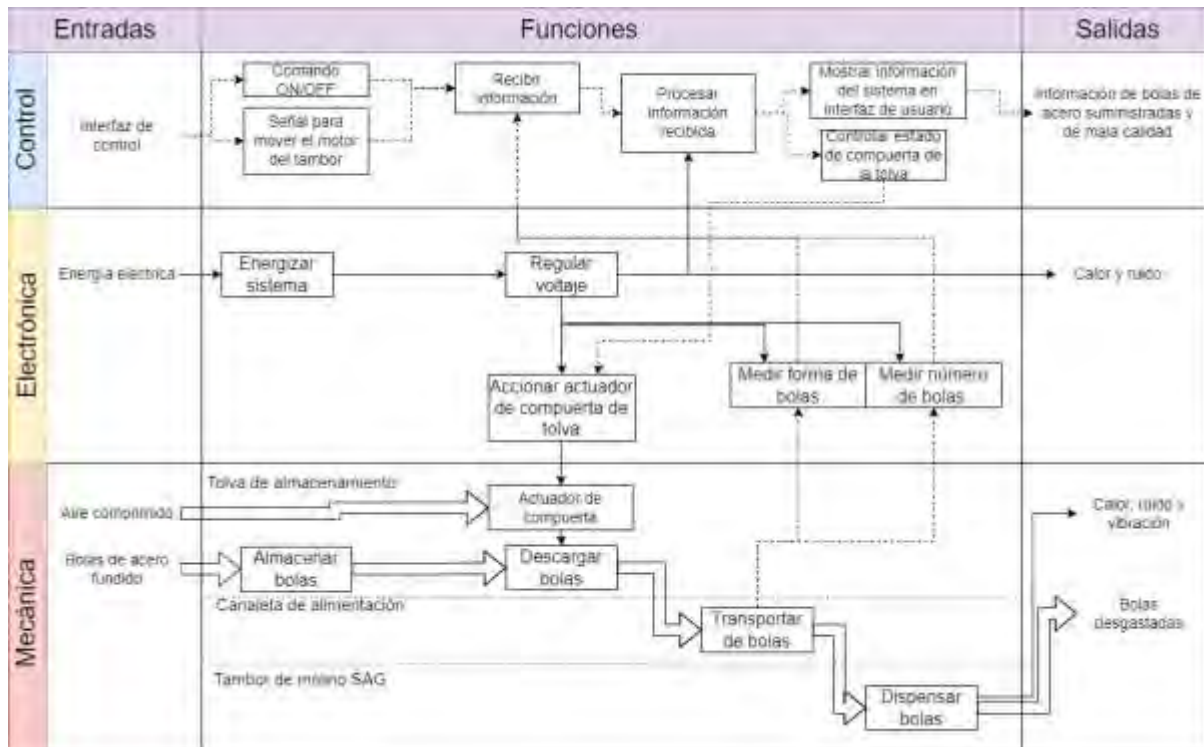


Figura 2.2. Estructura de funciones global. (Elaboración propia).

2.2.1. Mecánica

En la dimensión mecánica se considera a las bolas de acero como la entrada y se muestra en la Figura 2.3. Como salida se considera el ruido, calor y vibración causado por la molienda y las bolas desgastadas.



Figura 2.3. Black Box del dominio de mecánico. (Elaboración propia).

En la Figura 2.4 se presenta la estructura de funciones donde se consideran el proceso que siguen las bolas de acero fundido antes de ser dosificadas en el tambor del molino. Además, se realiza una separación para indicar el recorrido de las bolas a través de las tres partes principales del sistema a diseñar: la tolva de almacenamiento, la canaleta de alimentación y tambor de molino SAG. El transporte de las bolas dentro de la canaleta servirá también para ordenarlas y facilitar la medición de cada una de ellas por los sensores del sistema.

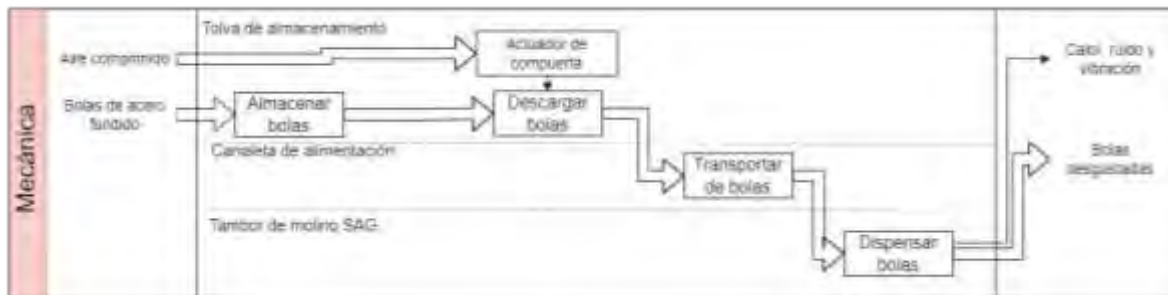


Figura 2.4. Diagrama del dominio de mecánica. (Elaboración propia).

2.2.2. Electrónica

En la dimensión electrónica se considera a la energía eléctrica como única entrada, la cual es regulada para ser suministrada de manera correcta a cada sensor y actuador del sistema dosificados. Como salida se considera el calor y ruido emitido al emplear elementos electrónicos. En la Figura 2.5 se presenta el black box del dominio electrónico.

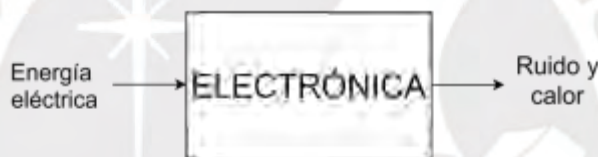


Figura 2.5. Black Box del dominio electrónico. (Elaboración propia).

En la Figura 2.6 se presenta la estructura de funciones del dominio electrónico donde se aprecia la energización y regulación de voltaje para alimentar a los sensores y actuadores del sistema. Se muestra la interacción de los datos recopilados por los sensores con el dominio de control que se encargará de procesarlos y controlar el actuador de la compuerta de la tolva según la situación. Los sensores estarán funcionando de manera continua.

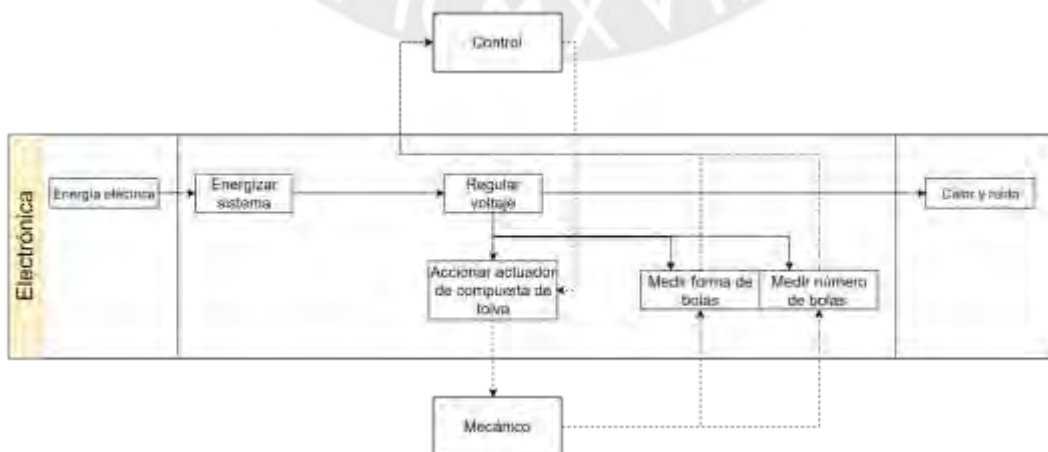


Figura 2.6. Diagrama del dominio electrónico. (Elaboración propia).

2.2.3 Control

En la dimensión de control se considera al comando de ON/OFF y a la señal del estado del motor del tambor como señales de entrada debido a que el sistema funcionará de manera automática disminuyendo la necesidad de un operador en todo momento. Como salida se considera un registro con la información de las bolas suministradas al tambor del molino identificando las que fueron de mala calidad según su forma, todo esto será mostrado mediante una interfaz de usuario. En la Figura 2.7 se muestra el black box de este dominio.



Figura 2.7. Black Box del dominio de control

En la Figura 2.8 se muestra la estructura de funciones del dominio de control, para controlar de manera automática la compuerta de la tolva de almacenamiento el sistema de control emplea información acerca de los picos de corriente generados en el motor del tambor del molino, lo cual indica que hay material dentro. Además se muestra la información recolectada en un interfaz de usuario para que los operarios puedan conocer en todo momento el estado de la dosificación de bolas en el molino. Es importante mencionar que el procesamiento debe realizarse con bastante rapidez para que la dosificación sea óptima midiendo cada bola suministrada al molino.

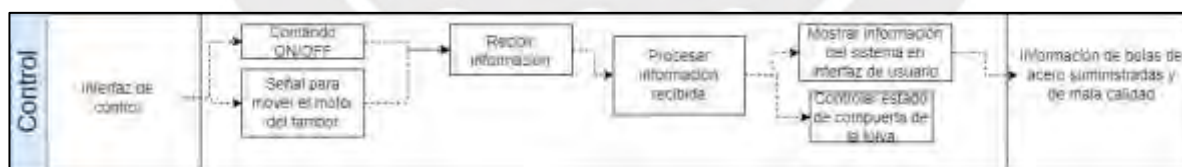















Figura 2.8. Diagrama del dominio control



2.3 Matriz Morfológica

A continuación, se mostrará la matriz morfológica, la cual está organizada de acuerdo con lo mostrado por la estructura de funciones. Este matriz servirá para generar 3 conceptos de solución óptimos que brindarán solución al diseño requerido.

2.3.1 Matriz morfológica del dominio mecánico

	A	B	D
Almacenar bolas			
	Tolva de almacenamiento	Almacenamiento manual	
Descargar bolas			
	Compuerta de guillotina	Compuerta tipo duplex	Compuerta tipo simplex
Actuador de compuerta			
	Actuador de simple efecto	Actuador de doble efecto	Actuador de doble vástago
Transportar bolas			
	Faja transportadora de PVC	Cinta transportadora de rodillos	Canaleta de metal
Dispensar bolas			
	Dosificador mecánico	Dosificador neumático	

2.3.2 Matriz morfológica del dominio electrónico

Regular voltaje para alimentar sensores			
	Transformador AC-DC	Fuente switching	
Medir forma de bolas			
	Sensor láser de medición de objetos	Cámara digital	
Medir número de bolas			
	Cámara digital	Sensor láser	Sensor de proximidad
Activar señal de emergencia			
	LED de emergencia	Luz estroboscópica	Sirena

2.3.3. Matriz morfológica del dominio de control

Comando ON/OFF			
	Pulsador	Sensor de detección	PC
Acondicionar energía para los componentes del sistema			
	Transformador AC-DC	Fuente switching	
Procesamiento de la información			
	PLC	Computadora embebida	CompactRIO
Ingresar información al sistema.			
	HMI	PC	Tablet
Mostrar información del sistema en interfaz de usuario.			
	HMI	Teclado de laptop	Pantalla táctil de Tablet

Concepto Solución 1

Concepto Solución 2

Concepto Solución 3

2.4 Conceptos solución

A continuación, se mostrarán los conceptos solución de acuerdo con la matriz morfológica mostrada.

2.4.1. Concepto solución 1

La solución 1, como se muestra en la Figura 2.9, consiste en una tolva de almacenamiento de bolas, el cual mediante una compuerta tipo simplex accionada por pistones neumáticos se abre o cierra para que pueda descargar un determinado volumen de bolas. Las bolas son transportadas por una canaleta de metal con pendiente negativa lo que permite que las bolas avancen por gravedad, el diseño de esta tolva permitirá canalizar las bolas de manera unitaria para que el sensor láser pueda medirlas individualmente. Este sensor láser tendrá una frecuencia rápida de medición y también será capaz de medir formas. Los sensores y actuadores del sistema son controlados empleando un sistema embebido y la información del sistema se muestra en una interfaz de usuario.

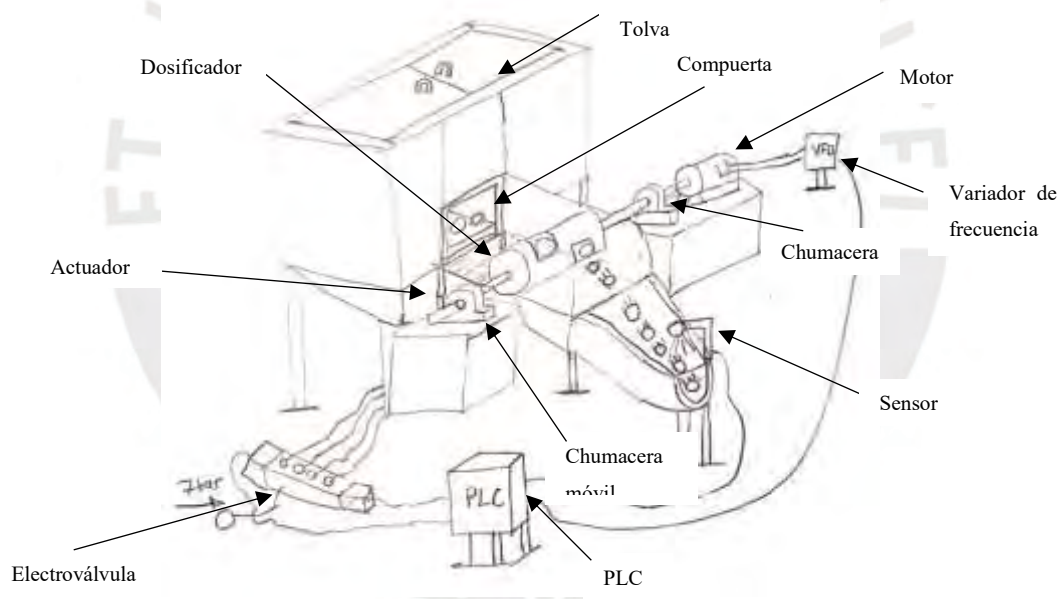


Figura 2.9. Bosquejo del concepto solución 1

2.4.2 Concepto solución 2

La solución 2, como se muestra en la Figura 2.10, consiste en una tolva de almacenamiento de bolas el cual, mediante una compuerta de guillotina accionada por un motorreductor, controla la descarga de las bolas desde la tolva. Luego, las bolas son transportadas hacia una cinta transportadora de rodillos, para medir e identificar la calidad de las bolas se emplea procesamiento de imágenes con información capturada por cámaras digitales. Finalmente, las bolas son transportadas hacia un dosificador neumático para su descarga. Los sensores y actuadores serán controlados por un PLC, se debe tener en cuenta que

para el procesamiento de imágenes a alta velocidad se necesita un elevado gasto de recursos computacionales.

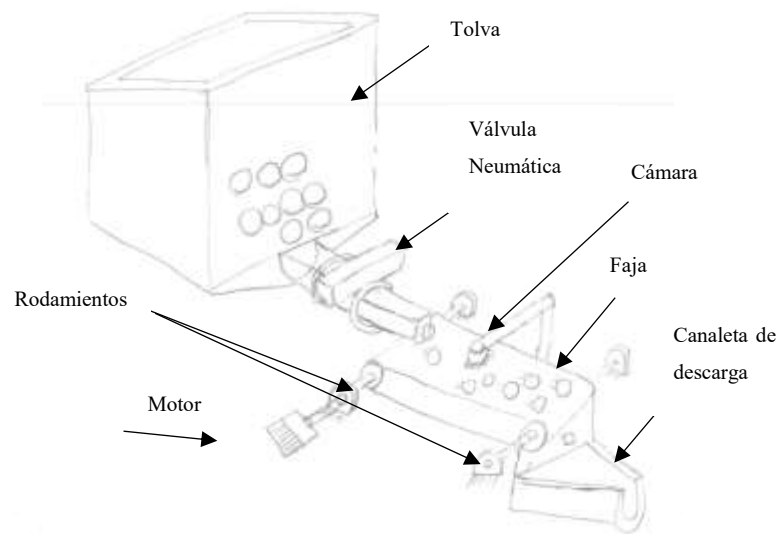


Figura 2.10. Bosquejo del concepto solución 2

2.4.3 Concepto solución 3

La solución 3, como se muestra en la Figura 2.11, consiste en una tolva de almacenamiento de bolas el cual, mediante una compuerta tipo duplex accionada por un motor brushless de alta potencia, controla la descarga de las bolas desde la tolva. Las bolas son transportadas hacia una faja la cual es accionada por un motor brushless y son transportadas hacia una tolva de descarga la cual unifica las bolas hacia una canaleta, la cual permite el conteo de las bolas mediante el accionamiento de un botón el cual se encuentra adherido en el canal. Además, la cámara el motor que controla la faja y la válvula serán controladas por un CompactRio.

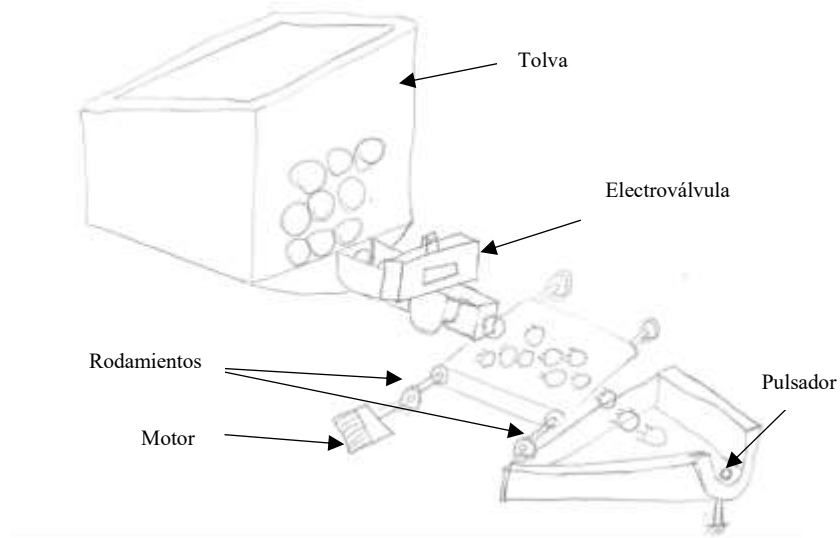


Figura 2.11. Bosquejo del concepto solución 3

2.5 Evaluación de conceptos solución

Las soluciones propuestas son evaluadas mediante la asignación de puntajes en base a los cuales se seleccionará el concepto óptimo de solución.

2.5.1 Evaluación técnica

Con la finalidad de evaluar cada uno de los 3 conceptos y proponer el concepto solución principal, tomamos en cuenta algunos requisitos que se tienen que cumplir en base a costo, facilidad de fabricación, viabilidad y funcionalidad. Asignando puntajes como criterio para calificar cada competencia tal como se muestra en la tabla 2.1. Luego, se obtiene una puntuación total por cada solución, las cuales se comparan con los valores de la solución ideal para obtener los valores relativos de los mismos.

Tabla 2.1. Evaluación técnica

N°	Criterio de evaluación	Pi	Proyectos Preliminares							
			Solución 1		Solución 2		Solución 3		Solución Ideal	
			Qh	Pi*Qh	Qh	Pi*Qh	Qh	Pi*Qh	Qh	Pi*Qh
1	Función	3	4	12	3	9	3	9	4	12
2	Diseño y fabricación	2	3	6	3	6	2	4	4	8
3	Seguridad y ergonomía	3	3	9	3	9	2	6	4	12
4	Manipulación y transporte	2	3	6	3	6	3	6	4	8
	Total			33		30		25		40
En el criterio Qh: 4: Muy bien; 3: Bien; 2: Suficiente; 1: Poco aceptable; 0: Nada aceptable										
En el criterio Pi: 3: Muy importante; 2: Importante; 1: Poco importante										

Según la tabla 2.2, para la solución 1 se tomó los criterios más altos en cuanto a funcionalidad debido a que el dosificador o rodillo para dispensar las bolas fue el más importante y el más aceptable ya que las fajas que fueron definidas en las otras soluciones presentaban problemas de estabilidad y posibles atascos. Por otro lado, en cuanto a forma también se puso mayor peso en la solución 1, debido a que el transporte será a través de canaletas las cuales tendrán mayor rigidez y seguridad en el transporte de las bolas, así como en fabricación y montaje. La solución 3, la cual abarcó el pulsador como elemento de conteo, se puso el menos puntaje debido a que podría no ser preciso debido a la velocidad con la que pasarían las bolas si este fuera el caso. La elección del PLC frente a otros microcontroladores se eligió debido a la robustez que tiene el equipo frente a condiciones climáticas y familiaridad con el operador.

3.5.2. Evaluación económica

Por otro lado, se realiza la valoración económica de los conceptos de solución. Para esto también se utiliza la asignación de peso ponderado y puntaje. Los resultados de los valores relativos obtenidos tanto en la valoración técnica como la económica se muestran en la Tabla 2.2.

Tabla 2.2. Evaluación económica

N°	Criterio de evaluación	Proyectos Preliminares								
		Solución 1			Solución 2		Solución 3		Solución Ideal	
		Pi	Qh	Pi*Qh	Qh	Pi*Qh	Qh	Pi*Qh	Qh	Pi*Qh
1	Costo de fabricación.	3	3	9	2	6	1	3	4	12
2	Costo de montaje	2	3	6	2	4	2	4	4	8
3	Costo de mantenimiento	3	3	9	3	9	3	9	4	12
	Total			24		19		16		32
En el criterio Qh: 4: Muy bien; 3: Bien; 2: Suficiente; 1: Poco aceptable; 0: Nada aceptable										
En el criterio Pi: 3: Muy importante; 2: Importante; 1: Poco importante										

Para la solución 1 se calificó de menor costo debido a que todo el sistema de transporte será considerado de acero, incluyendo el transporte por lo que tener menor desgaste frente a las otras 2 soluciones que tienen fajas, por ello la mano de obra y el costo de montaje será más económico. Las fajas por lo general tienden a cambiarse constantemente por el desgaste prematuro por impacto y por abrasión y esto incurriría en mayor costo por mantenimiento. Además, para el concepto solución 2 se empleará una cámara la cual es más costoso que un sensor o que un pulsador por ello se calificó al concepto solución 2 con mayor puntaje que la solución 1 y 2.

2.5.3. Evaluación de soluciones

Los resultados de los valores relativos obtenidos luego de evaluar los pesos ponderados, tanto en la valoración técnica como la económica muestran en la Tabla 2.3.

Tabla 2.3. Evaluación de soluciones

	Valoración Técnica	Valoración Económica
Solución 1	0,74	0,89
Solución 2	0,6	0,83
Solución 3	0,55	0,85

Luego se realiza una gráfica cartesiana donde la valoración técnica será colocada en el eje de abscisas y la valoración económica será colocada en el eje de ordenadas. Luego en esta se ubicará las 3 soluciones los cuales serán aproximadas a una recta con pendiente de 45° la cual representa el lugar geométrico de la solución ideal y con ello el punto que se encuentre más cercano a esta pendiente será el candidato a ser el concepto solución óptimo. La gráfica se muestra a continuación en la figura 2.12. A partir de esta gráfica se puede determinar que el concepto de solución óptimo es el de la solución 1.



Figura 2.12. Gráfico Valoración Técnico-Económica

3. CAPITULO III: DISEÑO DEL SISTEMA MECATRÓNICO

En esta sección se presentan las distintas partes del sistema, así como la sección de componentes y materiales con sus respectivos cálculos. Se incluyen los planos eléctricos y mecánicos, además de la estimación del costo de fabricación de todo el sistema.

3.1 Diseño mecánico

Se describe el diseño mecánico del sistema, además se muestran los cálculos que permitirán verificar la resistencia de la estructura, la potencia en el eje y los pesos de cada uno de los elementos. A continuación, se muestra la vista isométrica del sistema diseñado en la Figura 3.1, el cual presenta dimensiones generales aproximadas de 3 m de largo, 3m de alto y 2.2 m de ancho. El sistema se encuentra montado sobre unas vigas las cuales no serán parte del análisis de esta tesis.

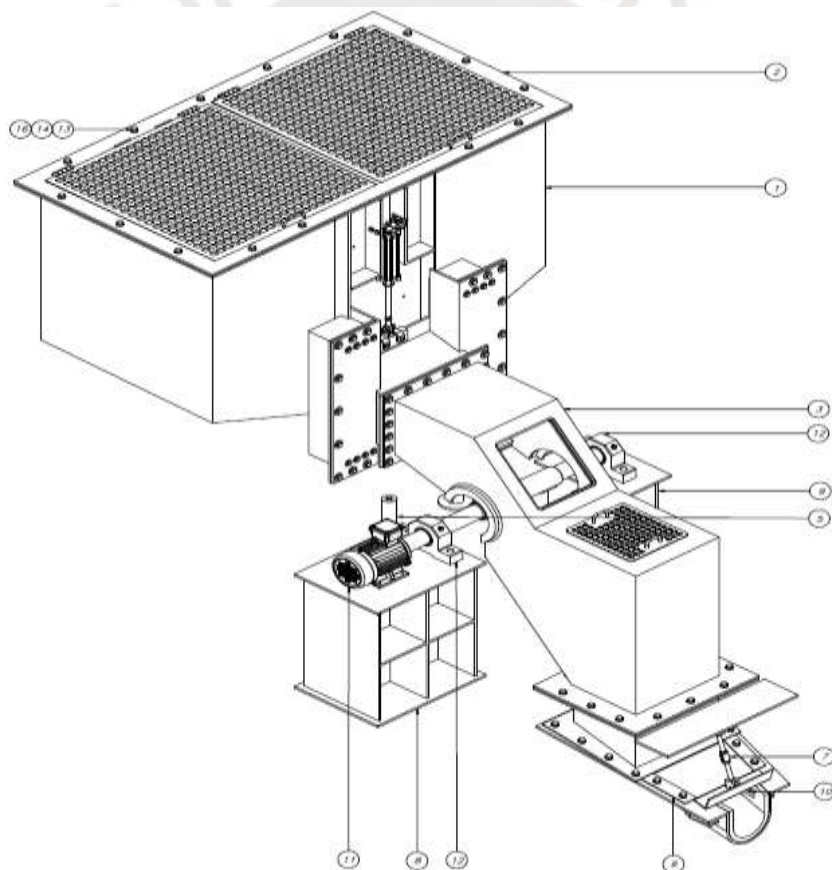


Figura 3.1. Vista isométrica del sistema.

En la figura 3.1. se puede observar la tolva de almacenamiento, el eje dosificador, el motor, las chumaceras, las canaletas por las cuales serán trasladadas las bolas, la cámara y la compuerta para facilitar el mantenimiento de las canaletas.

Tabla 3.1. Lista de componentes principales.

12	2	PF_PUCP_A4_014	CHUMACERA SKF DIA. 80mm DESIGN. 6416
11	1	PF_PUCP_A4_013	MOTOR ELECTRICO 0.75HP SEW 60Hz 370Nm
10	1	PF_PUCP_A4_012	SENSOR FOTOELECTRICO LPS 36 LEUZE
9	1	PF_PUCP_A4_011	BASE CHUMACERA
8	1	PF_PUCP_A4_010	BASE MOTOR
7	1	PF_PUCP_A4_009	TENSOR
6	1	PF_PUCP_A4_008	CUBIERTA METAL DESPLEGADO
5	1	PF_PUCP_A4_007	SUBENSAMBLE COMPUERTA DE TOLVA
4	1	PF_PUCP_A4_005	EJE MOTRIZ
3	1	PF_PUCP_A4_003	CHUTE INFERIOR
2	1	PF_PUCP_A4_002	TAPA - BRIDA
1	1	PF_PUCP_A4_001	CHUTE SUPERIOR

Finalmente, en la tabla 3.1. se muestra la lista de componentes principales, que describen la composición del sistema mostrado en la figura 3.1., los materiales que se usarán serán en su mayoría comerciales los cuales serán descritos en el subcapítulo 3.4.

3.2. Cálculos mecánicos

A continuación, se presentarán los cálculos en la tolva como son la capacidad, la plancha más crítica que soportará todo el peso de las bolas de acero acumuladas y la velocidad con la que se trasladará la bola hacia la compuerta.

3.2.1. Cálculo de la capacidad de la tolva de almacenamiento.

En el presente subcapítulo se presentarán los cálculos que involucran el dimensionamiento de la tolva.



Figura 3.2. Estructura de la tolva de alimentación.

Entonces, para determinar el peso total de bolas se calculará el volumen que puede almacenar la tolva mostrada en la figura 3.2, para el caso crítico que se tenga bolas de 5" en su totalidad, para ello teniendo la densidad de las bolas (hierro fundido según anexo A) se procede a calcular el peso de las bolas según las siguientes fórmulas:

Se cuenta con los siguientes datos:

$$r = 0,064m$$

$$\rho = 7750 \frac{kg}{m^3}$$

Además, se tiene las siguientes ecuaciones:

$$V = \frac{4}{3} \pi r^3 \quad (3.1)$$

$$m = \rho * V \quad (3.2)$$

Utilizando las ecuaciones 3.1 y 3.2 se obtienen los valores de tabla 3.2 para bolas 4.5" y 5".

Tabla 3.2. Peso de bolas para bolas de 4.5" y 5".

Díámetro Bola (pulg)	Volumen Bola (cm³)	Masa Bola (kg)	Peso (N)
4.5"	782	6,06	59,45
5"	1073	8,31	81,52

Entonces para el peso total tenemos el volumen total de la tolva para la cual se muestran las dimensiones en la figura 3.3 para calcular el volumen total.

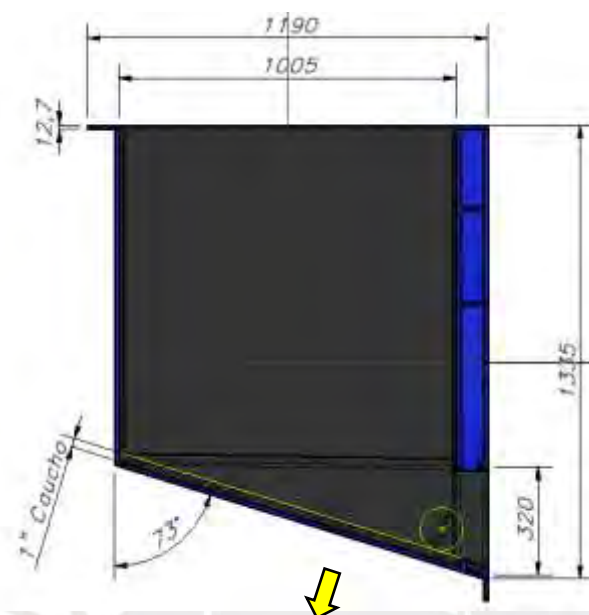


Figura 3.3. Corte perfil de la tolva.

Entonces la capacidad al interior de la tolva es de 2m³, entonces para una bola de 5" la cual tiene un volumen 1073 cm³ se tendrá 1863 bolas lo cual equivaldría a un peso total de 151 871,76 N en total según la tabla 5.2. Entonces en la figura 3.3 la plancha más crítica será la resaltada en amarillo. Para ello se analizará la plancha inferior, la cual soportará todo el peso.

3.2.2. Cálculo de la plancha base la tolva de alimentación.

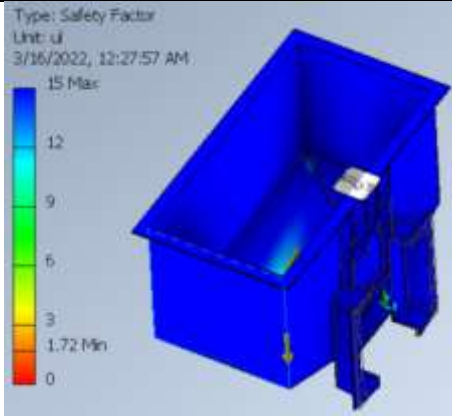
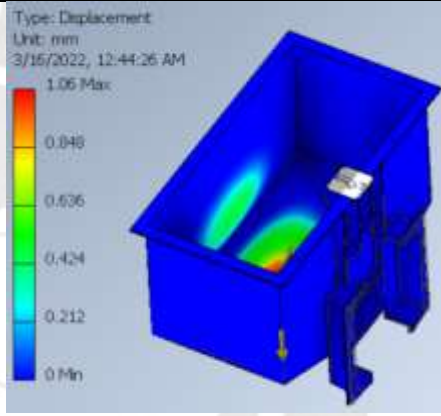
A continuación, en la tabla 3.3. se presentan los parámetros del material de la plancha de acero ASTM A36, para el cual se tomó de catálogo presentado en el Anexo B.

Tabla 3.3. Parámetros del Material de la base del sistema (FEA)

Parámetros del Material	
Material	Steel ASTM A36
Densidad de Masa	7.85 g/cm ³
Límite Elástico	248.225 MPa
Resistencia a la tracción	399.9 MPa
Módulo de Young	199.959 GPa
Relación de Poisson	0.3 ul
Módulo de corte	76,9073 GPa

Con los resultados evaluados de la tabla 3.4 se observa un desplazamiento máximo de 1.06 mm en el centro de la base ya que en esa área se retiene todo el peso de las bolas de acero; además, ya que el factor de seguridad mínimo es de 1.72 en la simulación, se tiene mayor certeza que este componente resistirá las cargas aplicadas si se desea construir dado que sigue con lo mencionado en el anexo C, punto 2. Finalmente, se logró este factor de seguridad considerando una plancha en la base del doble del espesor de las planchas de las paredes.

Tabla 3.4. Resultados de la base del sistema

Resultados	
Factor de seguridad	Desplazamiento (deformación)
 <p>Type: Safety Factor Unit: - 3/16/2022, 12:27:57 AM 15 Max 12 9 6 3 1.72 Min 0</p>	 <p>Type: Displacement Unit: mm 3/16/2022, 12:44:26 AM 1.06 Max 0.846 0.636 0.424 0.212 0 Min</p>
Fuente: Autodesk Inventor Professional 2021	

3.2.3. Cinemática del movimiento de las bolas

En el presente subcapítulo, se evaluará la aceleración con la que llegará la bola hacia el dosificador y ello dependerá del ángulo con el que estará inclinado el chute, que para este caso por el dimensionamiento es de 17° como se muestra en la figura 3.4.

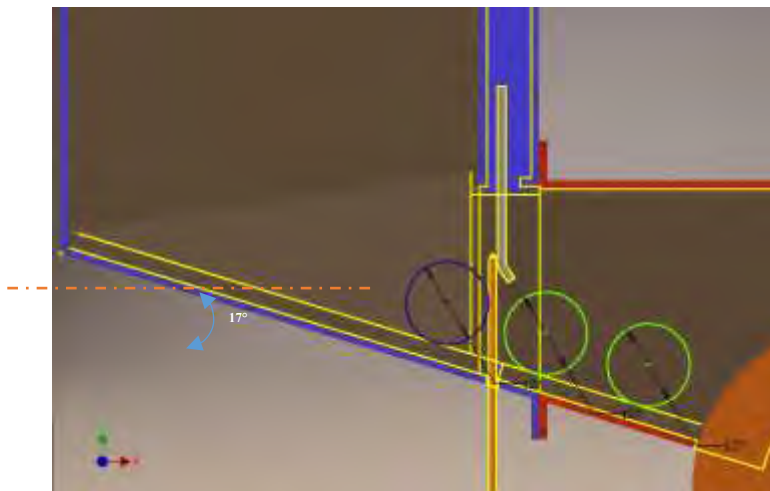


Figura 3.4. Traslado de las bolas a través de la compuerta.

Entonces se plantean las siguientes condiciones, según la figura 3.5., para evaluar la aceleración con la que saldrán las bolas una vez que la compuerta sea abierta.

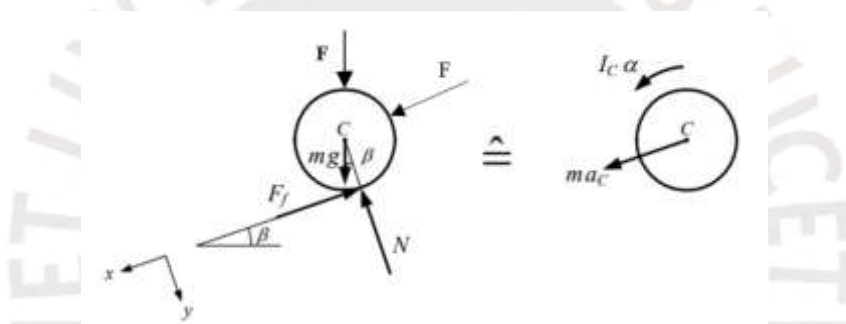
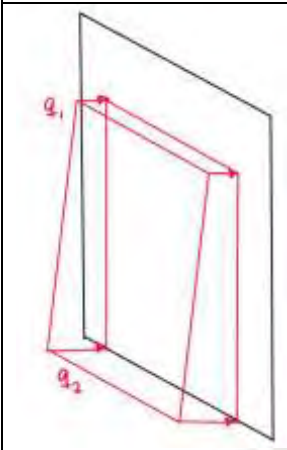


Figura 3.5. Diagrama de cuerpo libre para la fuerza de en una bola.

Y para las fuerzas en las bolas inferiores que son ejercidas por otras bolas se va a aproximar el comportamiento del total de bolas al de un fluido con la densidad del material que tienen estas. Esta aproximación se puede ver ejemplificado en la tabla 3.5 donde se muestra cómo afectan sus cargas a la compuerta por donde salen con sus valores respectivos.

Tabla 3.5. Modelo de las cargas aproximadas en la compuerta

Modelo	Cargas
	$q_1 = \rho * g * h_1$ $= 7850 * 9.81 * 1.019$ $= 78471.66 \frac{N}{m^2}$ $q_2 = \rho * g * h_2$ $= 7850 * 9.81 * 1.275$ $= 98185.84 \frac{N}{m^2}$

Continuando con el cálculo dinámico de la figura 3.5 se tienen los siguientes datos:

$$F = q_2 * A_{semi_esfera} = 98185.84 * 2 * \pi * \left(\frac{0.127}{2}\right)^2 = 2487.57 \text{ N (Aproximación según la tabla 3.5)}$$

$$m = 8,31 \text{ kg}$$

$$\beta = 17^\circ$$

$$g = 9,81 \frac{m}{s^2}$$

Planteando las ecuaciones de movimiento:

$$\sum F_x = ma_c \Rightarrow F \sin \beta + mg \sin \beta - F_f + F = ma_c \quad (3.3)$$

$$\sum F_y = 0 \Rightarrow F \cos \beta + mg \cos \beta - N = 0 \quad (3.4)$$

$$\sum M_c = I_c \alpha \Rightarrow F_f r = I_c \alpha \text{ donde } I_c = \frac{2}{5} m r^2 \quad (3.5)$$

Se asume rodadura sin deslizamiento:

$$a_c = a r \quad (3.6)$$

En (3.5):

$$F \sin \beta + mg \sin \beta - \frac{2 m r^2 \alpha}{5 r} = ma_c \quad (3.7)$$

Simplificando:

$$a_c = \frac{5}{7} \left(\frac{F(\sin \beta + 1)}{m} + g \sin \beta \right) = \frac{5}{7} \left(\frac{2487.57(\sin 17^\circ + 1)}{8,31} + 9,81 \sin 17^\circ \right) = 278.4 \frac{m}{s^2} \quad (3.8)$$

La distancia que recorrerá al salir una bola será igual a su diámetro para que no haya ninguna interferencia entre la salida de las siguientes al momento de ingreso al dosificador; además por ser un movimiento rectilíneo uniformemente variado (MRUV), con velocidad inicial cero, se aplicará la Ec.(3.11) de la cual se obtiene, que el tiempo que requiere para recorrer la longitud dada.

$$e_1 = V_0 t + 0.5 a_c t^2 \quad (3.9)$$

$$t = \sqrt{\frac{2 \times e_1}{a_c}} = \sqrt{\frac{2 \times 0,127}{278.4}} = 0,03s \quad (3.10)$$

V_0 : Velocidad inicial de la bola [m/s]

a_c : Aceleración con la que sale bola hacia la rampa [m/s²]

e_1 : Longitud del tramo al pasar una bola [m]

Entonces se tiene que el tiempo para cerrar la compuerta antes de que pase la segunda bola es de 0,03s y la distancia que recorrerá la compuerta es de 150 mm un poco más que el diámetro de la bola de 127mm, entonces se tiene la siguiente ecuación:

$$V = \frac{d}{t} = \frac{150}{0,03} = 5 \frac{m}{s} \quad (3.11)$$

Entonces se tiene que la velocidad máxima con la que tiene que cerrar la compuerta será de 5m/s.

3.2.4. Cálculo de las reacciones en rieles guía para la compuerta

Para seleccionar los rieles guía para la compuerta requiere el cálculo de las fuerzas y los momentos que se generarían en cada uno. En el caso de tener dos soportes por riel guía, los apoyos de los rieles guía se modelan como empotramientos que permiten un movimiento vertical mientras que las uniones con los actuadores que mueven la compuerta se modelan como apoyos móviles que restringen el movimiento vertical, esto se puede ver en la figura 3.6 donde preliminarmente para la evaluación de cargas en esta sección se consideraron dos uniones con los actuadores debido a que no es relevante la cantidad de actuadores en esta sección pero si lo será en la siguiente.

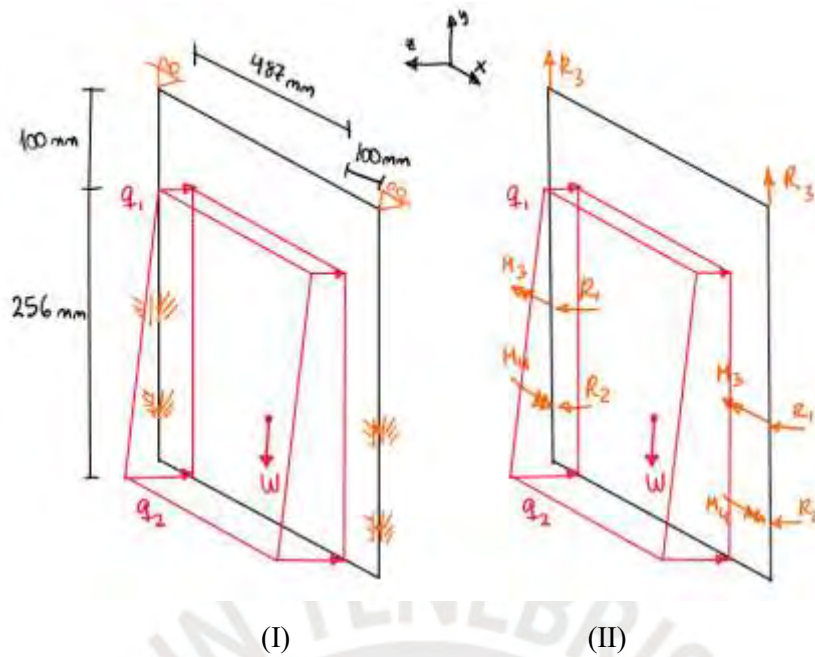


Figura 3.6. Modelado de la compuerta (I) y diagrama de cuerpo libre (II) considerando dos soportes por riel guía

Para hallar el valor numérico de las reacciones R_1 , R_2 , M_3 y M_4 se puede simplificar el modelo de la figura 3.6 convirtiéndolo en una viga hiperestática con dos empotramientos como se muestra en la figura 3.7.

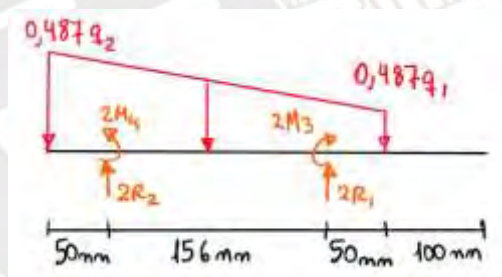


Figura 3.7. DCL viga hiperestática

Donde utilizando el método de doble integración y los valores de q_1 y q_2 de la tabla 3.5 se obtienen los siguientes valores para las reacciones.

$$R_1 = 2612.4 \text{ N} \quad (3.12)$$

$$R_2 = 2897 \text{ N} \quad (3.13)$$

$$M_3 = 18.76 \text{ N.m} \quad (3.14)$$

$$M_4 = 14.72 \text{ N.m} \quad (3.15)$$

En el caso de tener un solo soporte por riel el modelado y el DCL sería como en la figura 3.8 mientras que el DCL del modelo simplificado sería como en la figura 3.9.

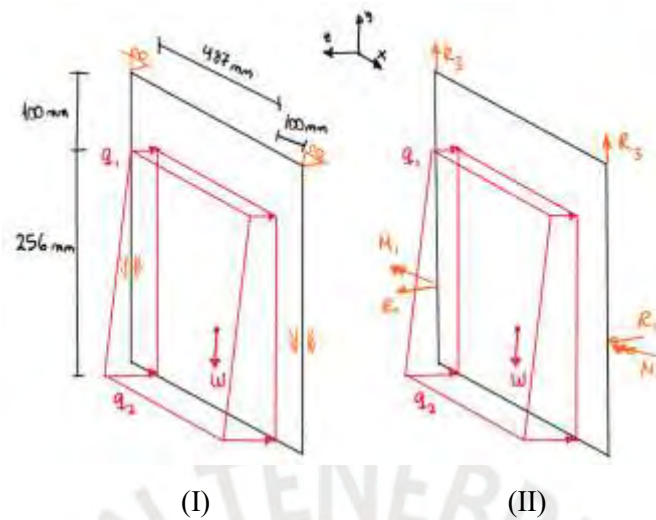


Figura 3.8. Modelado de la compuerta (I) y diagrama de cuerpo libre (II) considerando un soporte por riel guía

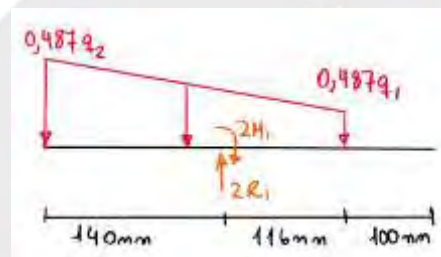


Figura 3.9. DCL viga isostática

En este caso el modelo simplificado no es hiperestático por lo que para hallar el valor de M_1 y R_1 se tendrían que usar las ecuaciones de equilibrio.

$$\sum F_y = 0 \rightarrow 2R_1 - 0.487q_1(0.256) - 0.487(q_2 - q_1)\left(\frac{0.256}{2}\right) = 0 \quad (3.16)$$

$$\sum M_A = 0 \rightarrow 2R_1(0.14) - 2M_1 - 0.487q_1(0.256)\left(\frac{0.256}{2}\right) - 0.487(q_2 - q_1)\left(\frac{0.256}{2}\right)\left(\frac{0.256}{3}\right) = 0 \quad (3.17)$$

Resolviendo las ecuaciones se obtienen los siguientes valores para las incógnitas:

$$R_1 = 11018.9 \text{ N} \quad (3.18)$$

$$M_1 = 184.69 \text{ N.m} \quad (3.19)$$

3.2.5. Cálculos para los actuadores de las compuertas

Como se cuenta con una línea de aire de 7 bar según la lista de exigencias adjunta en el Anexo B, solo son necesarios dos estados para la compuerta (totalmente abierto y totalmente cerrado) y se requiere que sea un movimiento a velocidad alta por lo que se considerará un accionamiento neumático.

Se van a analizar dos casos, uno donde se tengan dos actuadores y otro donde se tenga uno. En ambos casos, los actuadores lineales levantan la compuerta por lo que en todo momento están a tracción. La única carga que afecta a los actuadores es el peso de la compuerta que según los datos de la tabla 3.6, el tamaño de los rieles guía seleccionados en la sección de selección de componentes y el modelo de la compuerta con un espesor preliminar de 1/2", es de 40.77 kg. En el primer caso, como se tienen dos actuadores colocados simétricamente la carga se reparte equitativamente y cada actuador debe resistir un peso de 200 N sin considerar el factor de seguridad. Considerando un factor de seguridad de 4 debido a lo que se menciona en el punto 6 del anexo E la carga final de cada actuador es de 800 N. En el segundo caso, se tiene un solo actuador por lo que la carga sin considerar el factor de seguridad es de 400 N y considerando el factor de seguridad, es de 1600 N.

Luego, es necesario calcular el diámetro del émbolo para ambos casos y para ello se utilizarán los datos que tenemos en la figura 3.10.

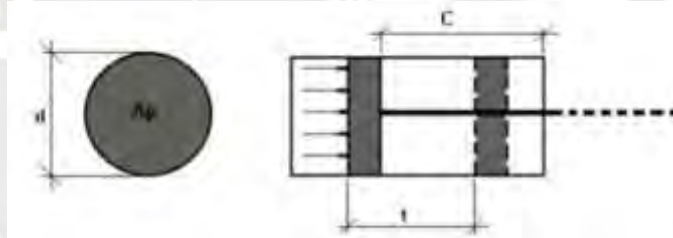


Figura 3.10. Esquemático de un cilindro neumático, donde d es el diámetro, A_p es el área del cilindro, t es el tiempo que demora en desplazarse y C es la longitud de carrera.

Entonces, como se tiene la fuerza en el actuador y la presión se procede a calcular el área (A_p) del émbolo para el caso de dos actuadores (2A) y para el caso de un actuador (1A) según la siguiente ecuación:

$$Ap_{2A} = \frac{Fa}{p} = \frac{800 \text{ N}}{7 \text{ bar}} = 11.43 \text{ cm}^2 \quad (3.20)$$

$$Ap_{1A} = \frac{Fa}{p} = \frac{1600 \text{ N}}{7 \text{ bar}} = 22.86 \text{ cm}^2 \quad (3.21)$$

Luego, se procede a calcular el diámetro d teórico del cilindro según la siguiente ecuación:

$$d_{2C} = \sqrt{\frac{4xAp_{2A}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4x11.43}{\pi}} = 3.81 \text{ cm} \quad (3.22)$$

$$d_{1C} = \sqrt{\frac{4xAp_{1A}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4x22.86}{\pi}} = 5,40 \text{ cm} \quad (3.23)$$

Adicionalmente, para el dimensionamiento de la válvula se calcula el consumo de aire en el cilindro neumático:

$$Q_{2C} = A_{2C} \cdot v = 11.43 \text{ cm}^2 \times 500 \frac{\text{cm}}{\text{s}} = 5715 \frac{\text{cm}^3}{\text{s}} = 342.9 \frac{\text{l}}{\text{min}} \quad (3.24)$$

$$Q_{1C} = A_{1C} \cdot v = 22.86 \text{ cm}^2 \times 500 \frac{\text{cm}}{\text{s}} = 11430 \frac{\text{cm}^3}{\text{s}} = 685.8 \frac{\text{l}}{\text{min}} \quad (3.25)$$

A continuación, se calculará la capacidad para los cilindros neumáticos:

$$Qt = 2 \cdot Q_{2C} = Q_{1C} = 685.8 \frac{\text{l}}{\text{min}} \quad (3.26)$$

Qt : Consumo de aire total (l/min)

Q : Consumo de aire de un cilindro (l/min)

A : Área del émbolo (cm²)

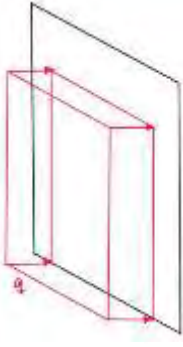
v : Velocidad de cierre de la compuerta (cm/s)

3.2.6. Cálculo de la resistencia de la compuerta

A continuación, se procederá a calcular la resistencia de la compuerta debido a la presión generada por las bolas. Para ello, se considerarán las bolas en la tolva como un fluido con la densidad del material de las bolas con la finalidad de considerar un caso extremo que incluye el caso crítico mencionado en el cálculo de la capacidad de la tolva de almacenamiento como se menciona en la tabla 3.5.

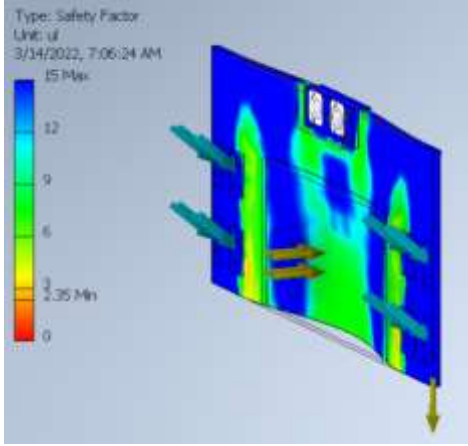
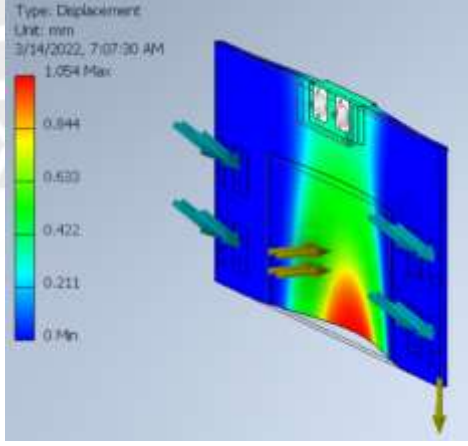
El modelo de la tabla 3.5 se simplifica debido a los recursos computacionales y se considera la carga inferior como la carga constante que se consideraría en el modelo simplificado como se pueden observar en la tabla 3.6.

Tabla 3.6. Modelo de las cargas aproximadas en la compuerta simplificado

Modelo simplificado	Cargas
	$q = 98185.84 \frac{N}{m^2}$

Finalmente, con la carga distribuida en el modelo simplificado y considerando el actuador y los rieles guía seleccionados en la sección de selección de componentes se realiza el análisis de la resistencia de la compuerta, que es una plancha cuyo material es acero ASTM A36, para confirmar que el espesor de 1/2" escogido preliminarmente cumple con los requerimientos. Los resultados obtenidos se pueden observar en la tabla 3.7, donde se realiza el análisis con un refuerzo de 1/2" en ambos lados en la zona del acople con el actuador lineal por ser la zona con mayores cargas y se obtiene un desplazamiento máximo igual a 1.054 mm y mínimo factor de seguridad igual a 2.35, que siguen lo mencionado en el anexo E.

Tabla 3.7. Resultados de la compuerta


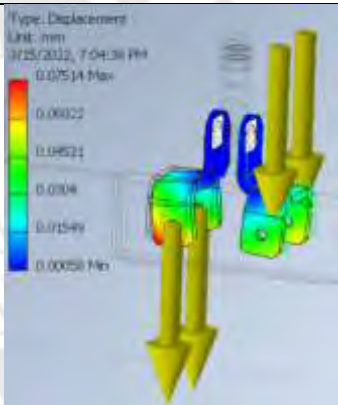
Resultados	
Factor de seguridad	Desplazamiento
	
Fuente: Autodesk Inventor Professional 2021	

3.2.7. Análisis de resistencia del acople entre actuador y compuerta

Al igual que la compuerta, el acople de unión se fabricará de planchas de acero ASTM A36 con un espesor de 8 mm como en los soportes para los rieles guía y el actuador que se adquiere con estos. Para comprobar que cumple con un factor de seguridad mínimo de 4 según el anexo E punto 6 se realizará un análisis estático usando el software Inventor. Según lo mencionado en las secciones anteriores, se considera que el peso que carga es el peso de la compuerta de 400 N.

Los resultados se encuentran en la tabla 3.8 donde se puede observar que el factor de seguridad mínimo es de 10.99 y el desplazamiento máximo es de 0.07514 mm. Por lo tanto, si cumple con el factor de seguridad mínimo mayor a 4.

Tabla 3.8. Resultados del acople

Resultados	
Factor de seguridad	Desplazamiento
	

3.2.8. Diseño del dosificador

En el presente subcapítulo se calculará el número bolsillos los cuales serán distribuidos uniformemente radialmente en todo el eje. El eje deberá soportar el peso de la bola el cual girará a una velocidad lenta, se asume que el eje gira a 10RPM para que permita trasladar la bola a la canaleta. Entonces, para calcular el número de bolsillos se consideran los siguientes datos, según la figura 3.11.:

Tasa de alimentación de bolas (Q1): 13Ton/h

Peso de la bola (P1): 8,31 kg

Factor de seguridad (FS_1): 1.2 (según anexo C, para trabajos con pesos pequeños)

RPM de rodillo de alimentación (ω_1): 10RPM

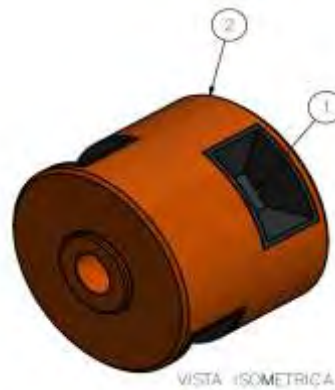


Figura 3.11. Rodillo dosificador de alimentación de bolas

Entonces, para determinar el número de bolsillos, se necesita conocer el número de bolas que ingresa por minuto, para ello se tiene la siguiente ecuación 3.27.

$$Q = \frac{Q_1 * 1000 * FS_1}{P_1 * 60} = \frac{13 * 1000 * 1,2}{8,31 * 60} = 31,28 \frac{rev}{min} \quad (3.27)$$

Luego, para el número de bolsillos se tiene la siguiente ecuación 3.28.

$$N^\circ \text{ de bolsillos} = \frac{Q}{\omega_1} = \frac{31,28}{10} = 3,1 \quad (3.28)$$

Reemplazando valores en las ecuaciones 3.27 y 3.28 se tiene que el número de bolsillos es 3.1 y redondeando al inmediato superior se tiene 4 bolsillos que serán añadidos en el eje.

Luego, para determinar la resistencia en el eje y determinar el correcto diámetro que permitirá girar a 10 RPM, se realizarán los cálculos de esfuerzos en el dosificador y luego en el eje. Luego, para el dosificador se determinará el torque necesario para poder mover todo el cuerpo con una bola dentro, para ello se realizará el DCL en la figura 3.12.

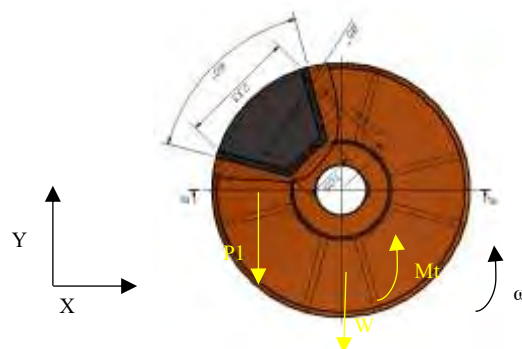


Figura 3.12. DCL del dosificador

Tomamos el caso más crítico para hallar M_t , el cual será el torque que transmitirá en el eje al momento que el peso de la bola se encuentra en la línea horizontal, para ello se plantean las siguientes ecuaciones:

Datos:

Peso de la bola (P_1): 81,52 N

Distancia entre centros (r): 167,13mm

Se plantea la siguiente ecuación:

$$\sum T = 0$$

$$M_t = P_1 * r = 81,52 * 0,167 = 13,62 \text{ N} \quad (3.29)$$

El valor de M_t es 13,62 Nm donde r es 167,13 mm. Una vez hallado los momentos y el peso total se procede a realizar el análisis en el eje el cual tiene un peso 62.26 Kg (W_p).

A partir de la figura 3.13, se obtienen los diagramas de fuerza cortante y momento flector.

Luego se procede a calcular la deflexión en el eje; cabe recordar que el eje es de acero estructural y se tiene lo siguiente:

Esfuerzo de fluencia: 250 MPa

Resistencia a la tracción: 400MP

Se tiene los siguientes datos:

Diámetro del eje (d): 100mm

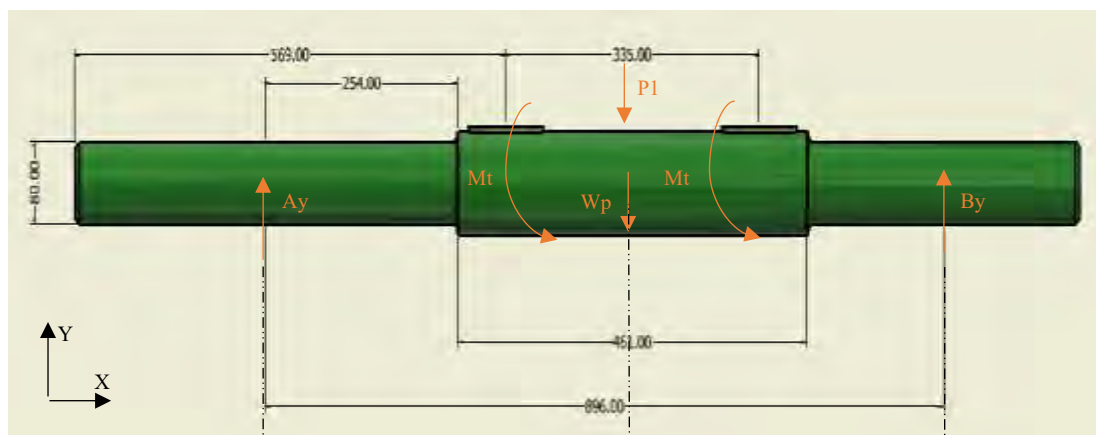
M: Momento flector

S: Modulo de sección

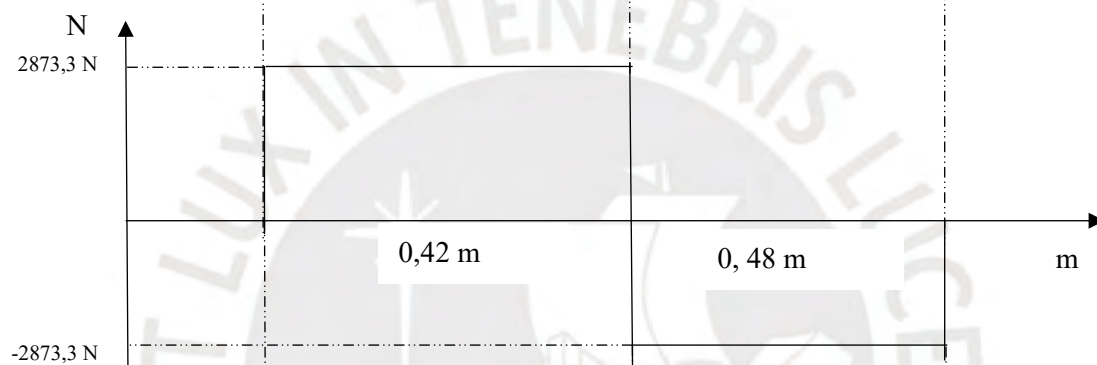
S_{min} : Modulo de sección mínimo

M_{max} : Momento flector Máximo

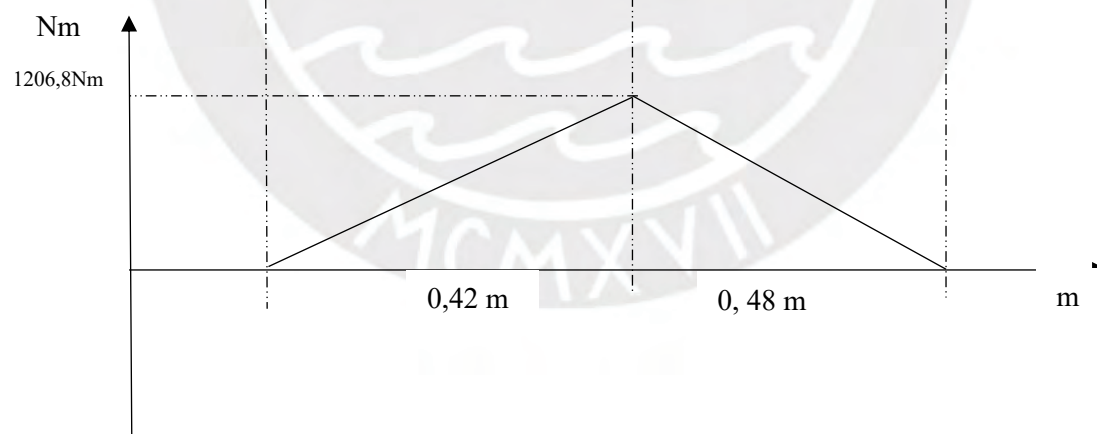
Figura 3.13. Diagrama de cuerpo del eje y diagrama de esfuerzos



DFC:



DMF:



Entonces se tienen las siguientes ecuaciones:

$$Esfuerzo = \frac{M}{S} \quad (3.30)$$

$$S_{min} = \frac{M_{max}}{Esfuerzo} \quad (3.31)$$

$$S_{min} = \frac{1206,8 Nm}{250\,000\,000 N/m^2} = 0,0048 cm^3 \quad (3.32)$$

$$S = 0.0982d^3 = 98,2cm^3 \quad (3.33)$$

Reemplazando las ecuaciones 3.33 y 3.32 en la ecuación 3.34:

$$S_{min} < S \quad (3.34)$$

Con este resultado se cumple con el mínimo hallado y no fallaría por flexión. Esto permitirá dar seguridad de que la tolva soportará la carga de la bola que ingresará en los bolsillos del eje.

3.2.9. Cálculo de potencia en el eje dosificador.

En el subcapítulo anterior se determinaron los siguientes datos:

Momento torsor (Mt): 13,62 Nm,

Masa del eje (m): 62.26 kg

Radio del eje (R): 50mm

RPM (ω_1): 10RPM

El momento torsor total sobre el eje sería de:

$$Mm = 2Mt = 2 \times 13,62 = 27,24 Nm \quad (3.35)$$

El momento sería de 27.24 Nm. Para la inercia de la rueda se asume como anillo para tomar el caso más crítico:

$$I = mR^2 = 62,26 \times 0,05^2 = 0,156 Kg.m^2 \quad (3.36)$$

Entonces el momento de inercia de la rueda es de 0.156 kg.m².

Asimismo, para calcular el torque necesario se tiene la ecuación 3.37 (se asume $\alpha = 10 \frac{rad}{s^2}$):

$$T = I \cdot \alpha + Mm = 0,156 \times 10 + 27,24 = 28,28 Nm \quad (3.37)$$

Entonces, se tiene el valor de T de 28.8 Nm

Luego, se procede a calcular la potencia requerida y se tiene la siguiente ecuación:

$$P_i = \omega_1 \times T = 10 \times 28.8 = 288W \quad (3.38)$$

Aplicando un factor de seguridad de 2, entonces se tiene que:

$$P = 1.5 \cdot P_i = 1.5 \times 288 = 432W = 0.58HP \quad (3.39)$$

Entonces se tiene que la potencia mínima requerida es de 0.58HP.

3.3. Selección de Componentes

A continuación, se presentarán la selección de componentes correspondientes a los cálculos ya definidos en el capítulo anterior.

3.3.1. Selección de los rieles para las compuertas

El riel de Festo que cumple con los requerimientos mencionados es el de la familia EGC-FA, mostrado en la figura 3.14 de tamaño 185 donde, según el anexo K donde se encuentra la hoja de datos, la fuerza radial permisible máxima es de 15200 N, el momento radial permisible máximo es de 1157 N.m y la velocidad de recorrido máxima es de 5 m/s.



Figura 3.14. Riel guía de Festo

El caso crítico es el de la fuerza radial el cuál según lo calculado tendría un factor de seguridad de 1.38 pero cumple con lo mencionado en el anexo E punto 2.

3.3.2. Selección del actuador para la compuerta neumática.

Para la selección se considerará un solo actuador con los siguientes datos:

Fuerza en actuador (F_a): 1600 N

Longitud de carrera (ℓ): 127 mm - 200 mm

Diámetro mínimo del pistón (dp): 5.17 cm

El cilindro neumático, como se muestra en la figura 3.15, el cual será elegido para cerrar y abrir la compuerta será un cilindro Festo de doble efecto normalizados DNC-63-200-PPV-A, ISO 15552, con un diámetro de 63mm y una carrera de 200mm según el Anexo F.



Figura 3.15. Cilindro neumático Festo

Según la hoja de datos en el Anexo F, el cilindro para un diámetro de 63mm será capaz de emitir una fuerza de 1870 N.

3.3.3. Selección de la válvula para el cilindro neumático

De acuerdo con la ecuación 3.26, se procederá a seleccionar la válvula para el accionamiento de los cilindros neumáticos, según Anexo G. En este caso se consideró una válvula de 5/2 vías biestable Festo con una capacidad de 700 l/min, como se muestra en la figura 3.16.

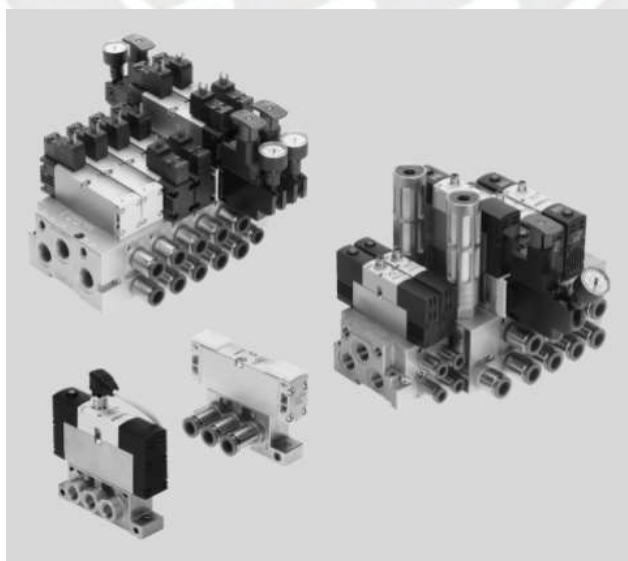


Figura 3.16. Válvula neumática Festo

Una vez seleccionado la válvula se procede a seleccionar los racores y mangueras que serán parte del esquema neumático según el Anexo H. Para ello la conexión de trabajo a la placa de conexión tiene la denominación G1/8 para las 5 vías y M5 para las 2. Entonces, se procederá a seleccionar el racor, el tubo flexible y válvula de estrangulamiento según la descripción en la tabla 3.9.

Tabla 3.9. Descripción del tipo de tubo flexible, racor y válvula de estrangulamiento

Conector	Descripción
Rácor rápido roscado	Rosca exterior con hexágono exterior: NPQM-D, D1=G 1/8, D2=6
Tubos flexibles de material sintético Calibración exterior	PAN-MF, D1=6, di=4
Válvula reguladora estándar con rosca interior	GRLA, D2=G1/8, D1=G1/8, qnN [l/min]= 340/420

3.3.4. Selección del motor AC y variador de frecuencia (VFD)

En el presente subcapítulo y de acuerdo con las ecuaciones 3.37 y 3.39 de torque y potencia, se procede a realizar la selección del motor AC y el variador de frecuencia. Para este caso se seleccionó un motor de 0,7HP para una frecuencia de 10 RPM y el variador fue seleccionado para una potencia 0.7HP. Las características se muestran en la tabla 3.10 y 3.11.

Tabla 3.10. Descripción del motor SEW

Modelo	KA57/T DRN80M4
Ratio de reducción	90,26
Velocidad de salida	19 RPM
Potencia	0.75 HP
Tensión del motor	230/460 V
Frecuencia nominal	60 Hz
Torque de salida	370 Nm
Corriente nominal	1,56 A
Factor de seguridad	1,65
Tipo de conexión	Doble estrella / Estrella
Eje hueco	40 mm
Tipo de protección	IP55




Tabla 3.11. Descripción del variador de frecuencia SEW

Modelo	MOVITRAC LTE B.
Tipo	MC LTE B 0008-5A3-1-00
Tensión nominal de Entrada	380 # 480 CA $\pm 10\%$, 3-phase.
Frecuencia nominal de entrada	50/60 $\pm 5\%$
Corriente nominal de entrada	AC 3,5
Compatibilidad electromagnética	CEM C2
Potencia de salida	0.75 kW / 1 HP
Corriente nominal de salida	AC 2.2A
Grado de protección	IP20/NEMA 1
	

3.3.5. Selección del sensor láser para medición de bolas

La selección del sensor tendrá como función principal identificar el número de objetos que saldrán del sistema alimentador y determinar el tamaño de las bolas que pueden ser de 4.5" o 5", para ello se utilizará el modelo de sensor LJ-V7060K de la empresa Keyence. Este sensor es un perfilador láser 2D/3D de alta velocidad con un rango de alcance de hasta 8 cm como se muestran en la Figura 3.17. Dentro de sus principales ventajas se encuentra su peso ligero, bajo costo y facilidad de montaje. Cabe mencionar que posee grado de protección IP 67 permitiéndole resistir la presencia de polvo y agua. Puede trabajar en ambientes de gran humedad (hasta 85%).

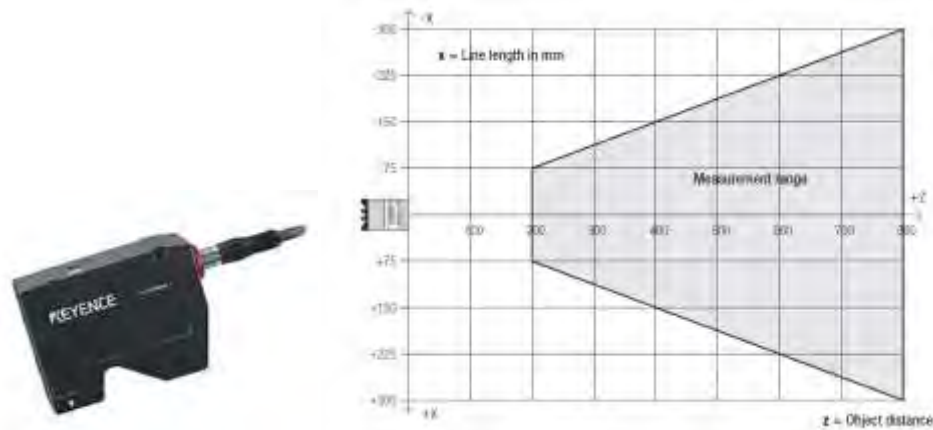


Figura 3.17. Gráfica de rango de medición del sensor Keyence

Las características características principales del sensor se muestran en la tabla 3.12.

Tabla 3.12. Sensor de sección de luz para medición de objetos del sensor Keyence

Rango de medición	200.....800mm
Fuente de luz	laser
Longitud de onda	405 nm
Máxima potencia de salida del lente	10 mW
Grado de protección	IP 67
Temperatura de operación	0 a 45° C
Humedad	20 a 85%
Tipo de material	Aluminio
Voltaje de operación	18.....30VDC
Peso	410 g

3.3.6. Selección del controlador

La selección del controlador, como se mencionó en el concepto solución será mediante un Controlador Lógico Programable (PLC), así como se muestra en la figura 3.18., el cual se utilizará para controlar el sensor, el variador de frecuencia, la electroválvula y el encendido/apagado. Para ello se utilizará el PLC Siemens S7-1200 el cual presenta las siguientes características mostradas en la tabla 3.12.

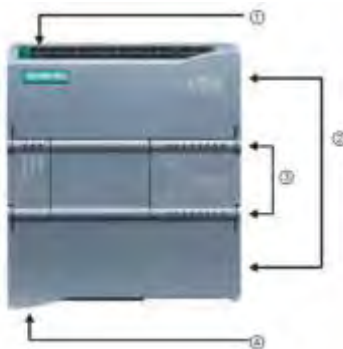


Figura 3.18. Controlador programable SIEMENS S7-1200. 1) Conector de corriente, 2) conectores extraíbles para el cableado de usuario (detrás de las tapas), 2) ranura para Memory Card (debajo de la tapa superior), 3) LEDs de estado para las E/S integradas y 4) conector PROFINET (en el lado inferior de la CPU). (Manual Siemens S7-1200, 2019)

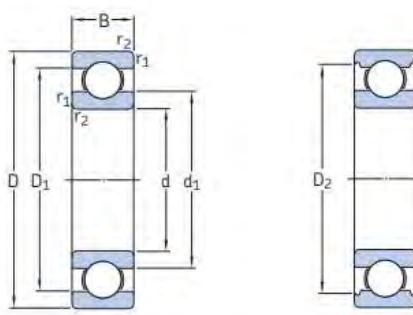
Tabla 3.13. Descripción del Controlador programable SIEMENS S7-1200 1211C

Dimensiones físicas (mm)	90 x 100 x 75
Memoria de usuario <ul style="list-style-type: none"> • Memoria de trabajo • Memoria de carga. • Memoria remanente 	<ul style="list-style-type: none"> • 25 KB • 1 MB • 2 KB
E/S integradas locales <ul style="list-style-type: none"> • Digitales • Analógicas 	<ul style="list-style-type: none"> • 6 entradas/4 salidas • 2 entradas
Tamaño de la memoria imagen de proceso	1024 bytes para entradas (I) y 1024 bytes para salidas (Q)
Área de marcas (M)	4096 bytes
Ampliación con módulos de señales	Ninguna
Signal Board	1
Módulos de comunicación	3 (ampliación en el lado izquierdo)
Contadores rápidos <ul style="list-style-type: none"> • Fase simple • Fase en cuadratura 	3 <ul style="list-style-type: none"> • 3 a 100 kHz • 3 a 80 kHz
Salidas de impulsos	2
Voltaje de alimentación	24VDC
PROFINET	1 puerto de comunicación Ethernet
Módulo de comunicación (CM)	<ul style="list-style-type: none"> • RS485 • RS232

3.3.7. Selección de rodamientos

A continuación, se procederá a seleccionar los rodamientos para el eje y para ello se tomó como referencia el diámetro de 80mm dimensionado en el subcapítulo 3.2.5. y las condiciones bajo las cuales trabajará el eje ya que será sometido únicamente a cargas radiales. En la tabla 3.13., se ha seleccionado para un diámetro de 80mm la designación 6416.

Tabla 3.14. Tabla de rodamientos SKF para rodamientos rígidos de una hilera de bolas



Dimensiones principales			Capacidad de carga básica		Carga límite de fatiga	Velocidades nominales		Masa	Designación
d	D	B	dinámica C	estática C ₀	P _u	Velocidad de referencia	Velocidad límite		
mm			kN		kN	r. p. m.		kg	-
80	100	10	13	15	0,64	13 000	8 000	0,15	61816
	110	16	25,1	20,4	1,02	12 000	7 500	0,38	61916
	125	14	35,1	31,5	1,32	11 000	7 000	0,61	* 16016
	125	22	49,4	40	1,66	11 000	7 000	0,87	* 6016
	140	26	72,8	55	2,2	9 500	6 000	1,45	* 6216
	170	39	130	86,5	3,25	8 500	5 300	3,65	* 6316
	200	48	163	125	4,5	7 500	4 800	6,85	6416

3.4. Selección de materiales

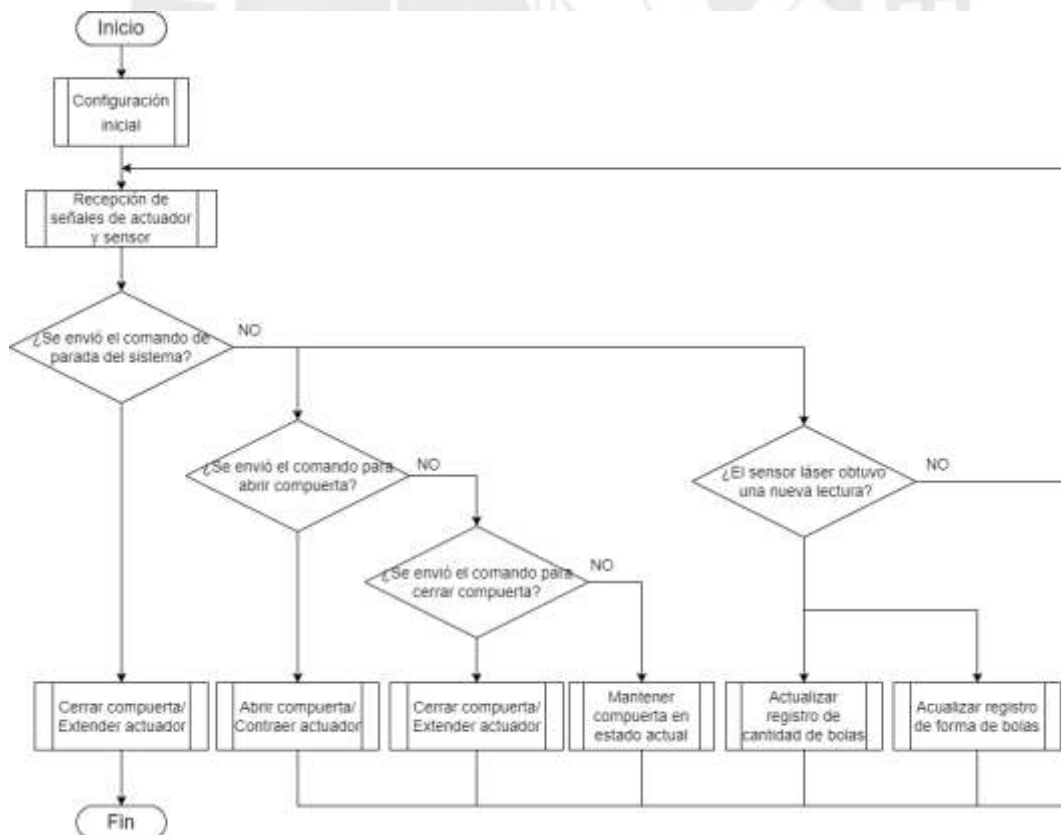
A continuación, se listarán los materiales de los componentes que conforman el sistema alimentador en la tabla 3.14. El sistema en su mayoría se encuentra formado por planchas metálicas de material ASTM A36, el cual fue determinado en el subcapítulo 3.2.2. para que soporte el peso de las bolas de acero en todo el trayecto y que sea capaz de recibir los impactos de ellas. Adicionalmente, todo el sistema será revestido en caucho natural de 1", debido a que el coeficiente de fricción es menor por lo que habrá menor resbalamiento y creará menor desgaste y mayor eficiencia operacional del sistema transportador ("El Saber Hacer y el Entender Hacerlo", Importadora tech Ltda.). Los componentes restantes se adquieren comercialmente.

Tabla 3.15. Materiales de los componentes principales.

12	2	PF_PUCP_A4_014	CHUMACERA SKF DIA. 80mm DESIGN. 6416	ASTM A36	2,5 Kg.
11	1	PF_PUCP_A4_013	MOTOR ELECTRICO 0,75HP SEN 60Hz 370Nm	---	8,2 Kg.
10	1	PF_PUCP_A4_012	SENSOR FOTOELECTRICO LPS 36 LEUZE	---	1,3 Kg.
9	1	PF_PUCP_A4_011	BASE CHUMACERA	ASTM A36	116,6 Kg.
8	1	PF_PUCP_A4_010	BASE MOTOR	ASTM A36	221,7 Kg.
7	1	PF_PUCP_A4_009	TENSOR	---	26,2 Kg.
6	1	PF_PUCP_A4_008	CUBIERTA METAL DESPLEGADO	ASTM A36	9,8 Kg.
5	1	PF_PUCP_A4_007	SUBENSAMBLE COMPUERTA DE TOLVA	---	110,871 kg
4	1	PF_PUCP_A4_005	EJE MOTRIZ	---	62,8 Kg.
3	1	PF_PUCP_A4_003	CHUTE INFERIOR	ASTM A36 / CAUCHO	540,9 Kg.
2	1	PF_PUCP_A4_002	TAPA - BRIDA	ASTM A36	47,7 Kg.
1	1	PF_PUCP_A4_001	CHUTE SUPERIOR	ASTM A36 / CAUCHO	591,1 Kg.

3.5. Diagrama de flujo del sistema

La lógica del sistema será implementada empleando un PLC como el controlador principal. El flujo del programa principal que se encargará del funcionamiento del sistema que se muestra en la figura 3.19.

**Figura 3.19.** Diagrama de flujo del sistema alimentador de bolas.

El flujo principal del programa inicia configurando los sensores y actuadores además de inicializar ciertas variables que son parte de los registros de cantidad de bolas suministradas al molino y sobre la forma de las bolas. Una vez que se ha logrado establecer la configuración inicial, el sistema comienza con la recepción de instrucciones para el accionamiento del actuador lineal que controla la posición de la compuerta de la tolva de almacenamiento. En todo momento se recolectan los datos obtenidos por sensor láser. Una vez que se han obtenido todos estos datos, se procede al registro del estado actual de la compuerta y de la cantidad y formas de las bolas suministradas. Y se continúa con la recepción de una nueva instrucción donde es posible recibir una señal de parada que termina con el funcionamiento del sistema. Es importante recalcar que al finalizar el trabajo, la compuerta siempre termina cerrada.

A continuación, se explicarán las subfunciones presentadas en el programa principal. La configuración inicial de cada variable se muestra en la siguiente Figura donde se inicializa los parámetros del actuador lineal y sensor láser además de los registros a almacenar.

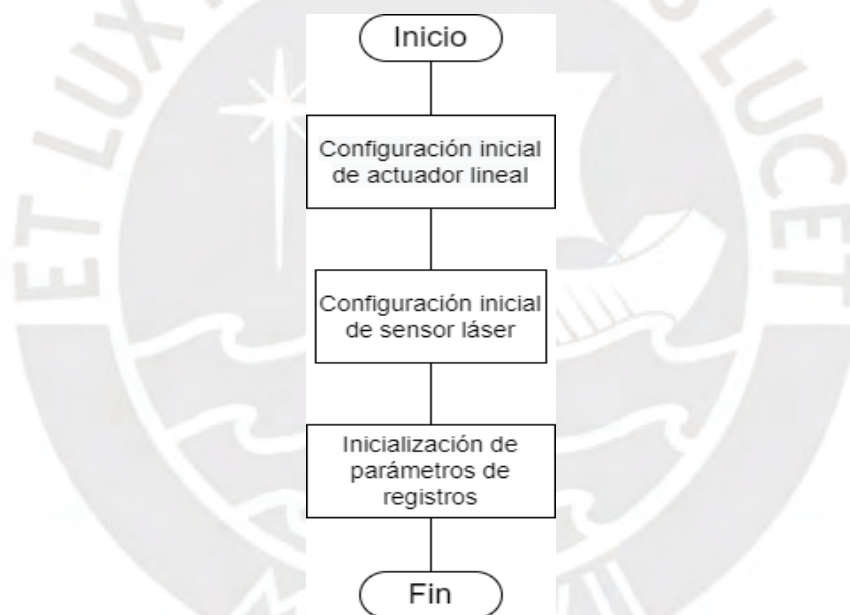


Figura 3.20. Diagrama de flujo de configuración Inicial.

Luego de configurar e inicializar el sistema, se procede a la recepción de datos de forma inalámbrica. Los comandos enviados por el operador y las señales del actuador y sensor son recibidos mediante y decodificados por el PLC. Este último se encarga de asignar valores a los registros de la cantidad de bolas y forma además de almacenar el último estado de la compuerta.

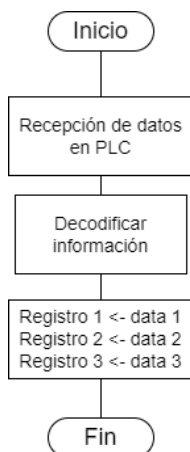


Figura 3.21. Diagrama de flujo de recepción de señales de actuador y sensor.

El PLC se encarga de interpretar las señales de control (registro 3) para accionar el actuador lineal dependiendo si se necesita cerrar o abrir la compuerta de la tolva. Si en caso no se envía ninguna señal a la compuerta, no habrá ningún movimiento de parte del actuador lineal. Por otra parte se registran los datos de cantidad de bolas suministradas (registro 1) y las formas de las mismas (registro 2). Cabe resaltar que el control del actuador lineal y el registro de datos medidos por el sensor láser se ejecutan de manera paralela.

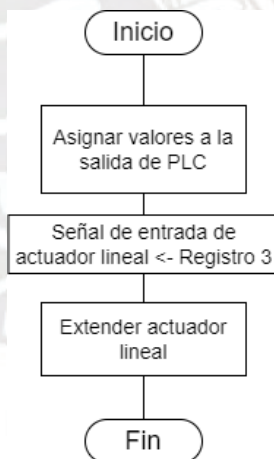


Figura 3.22. Diagrama de flujo del cierre de compuerta.

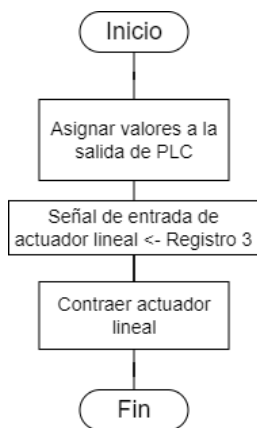


Figura 3.23. Diagrama de flujo de la apertura de compuerta.

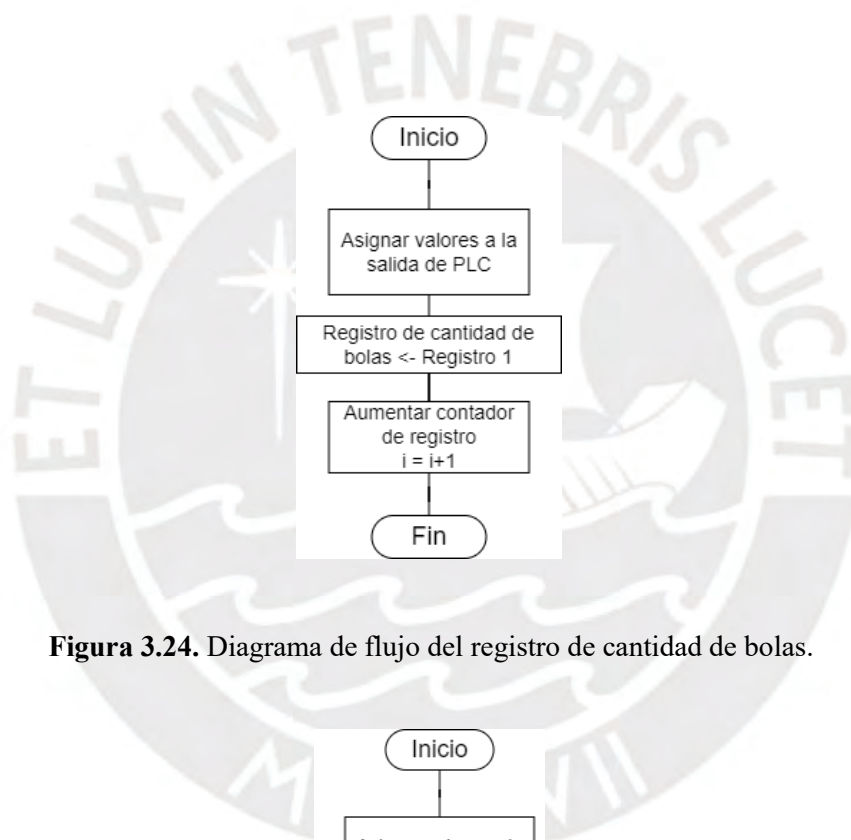


Figura 3.24. Diagrama de flujo del registro de cantidad de bolas.

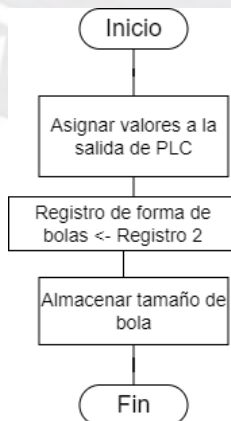


Figura 3.25. Diagrama de flujo del registro de forma de bolas.

3.6. Esquema neumático

A continuación, se mostrará el esquema neumático que presentará el actuador que se encargará de regular la compuerta la cual es accionada mediante 2 cilindros neumáticos de doble efecto. Como se puede observar en la figura 3.26., el esquema está conformado por una unidad de mantenimiento, 2 electroválvulas de 5/2 vías y 2 cilindros neumáticos de doble efecto.

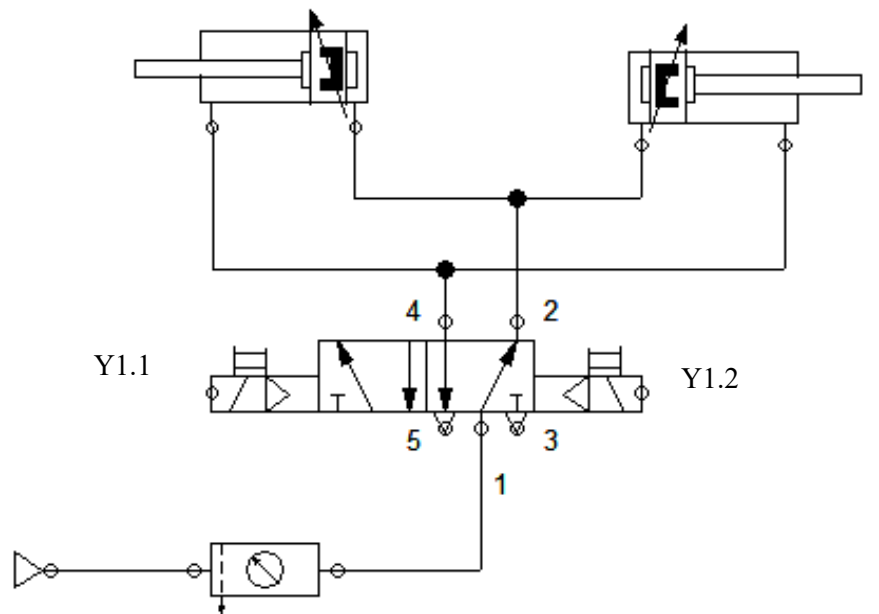


Figura 3.26. Esquema neumático de la compuerta automática.

3.7. Planos eléctricos

En el presente subcapítulo se mostrará el esquema eléctrico que estará integrado por el variador de frecuencia y el motor.

3.7.1. Diagrama del PLC

A continuación, en la figura 3.27, se mostrará las entradas y salidas que serán enviadas por el PLC para controlar tanto el sensor lineal, el variador de frecuencia y la electroválvula.

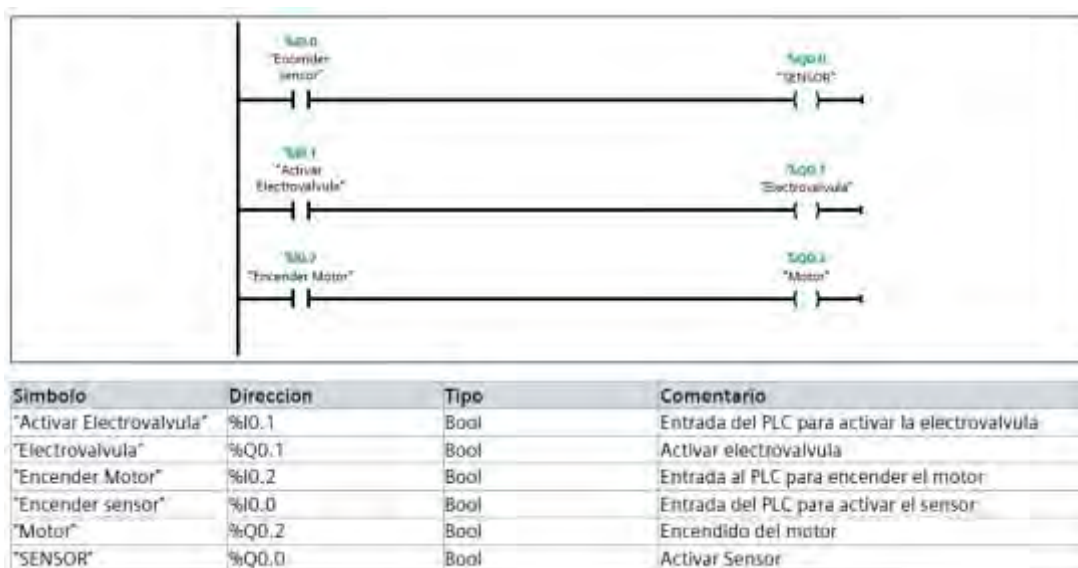


Figura 3.27. Esquema de salidas y entradas en el PLC mediante TIA PORTAL.

3.7.2. Esquemas eléctricos y de conexiones.

A continuación, se mostrará en la tabla 3.16. la descripción de los esquemas eléctricos en la cual se muestran las conexiones que tendrán el PLC, el sensor, el variador de frecuencia y la electroválvula.

Tabla 3.16. Planos eléctricos principales

Item	Número de plano	Descripción
1	EE_A4_001	Esquema fuerza arranque motor
2	EE_A4_002	Esquema de control general
3	EE_A4_003	Diagrama de conexiones y sensor
4	EE_A4_004	Diagrama de conexiones y sensor

Para las conexiones de la fuerza del esquema eléctrico se seleccionó el cable 12AWG debido a que el cable soportará corrientes bajas. En la tabla 3.17. se puede ver los valores de acuerdo con los tipos de cable seleccionados.

Tabla 3.17. Amperaje que soportan los cables de cobre. (Norma de instalaciones eléctricas NOM-001-SEDE-2005)

Amperaje que soportan los cables de cobre					
Nivel de temperatura:	60°C	75°C	90°C	60°C	
Tipo de aislante:	TW	RHW, THW, THWN	THHN, XHHW-2, THWN-2	SPT	
Medida / calibre del cable	Amperaje soportado			Medida / calibre del cable	Amperaje soportado
14 AWG	15 A	15 A	15 A	20 AWG	2 A
12 AWG	20 A	20 A	20 A	18 AWG	10 A
10 AWG	30 A	30 A	30 A		
8 AWG	40 A	50 A	55 A	16 AWG	13 A
6 AWG	55 A	65 A	75 A		
4 AWG	70 A	85 A	95 A	14 AWG	18 A
3 AWG	85 A	100 A	115 A		
2 AWG	95 A	115 A	130 A	12 AWG	25 A
1 AWG	110 A	130 A	145 A		
1/0 AWG	125 A	150 A	170 A		
2/0 AWG	145 A	175 A	195 A		
3/0 AWG	165 A	200 A	225 A		
4/0 AWG	195 A	230 A	260 A		



4. CAPÍTULO VI: COSTOS

En la presente sección se procederá a describir los costos de fabricación de los elementos que conforman el sistema alimentador de bolas. Para ello, tener presente que se cuenta con una línea de aire y una línea de trifásica, además se tiene bolas de acero y se cuenta con la estructura donde se colocará el sistema alimentador. En la tabla 6.1. se describen los costos, las cantidades, los proveedores y el costo total del proyecto en dólares.

Tabla 4.1. Tabla de costos de fabricación

Parte	Cantidad	Precio Unitario (\$)	Precio Total (\$)
Placa reguladora inferior ASTM A36	1	102	102
Rodamientos SKF	2	937	1874
Motorreductor eléctrico SEW	1	2000	2000
Sensor fotoeléctrico LPS 36	1	2700	2700
Base chumacera ASTM A36	2	583	1166
Base motor ASTM A36	1	1185	1185
Cubierta metal desplegado	1	50	50
Placa reguladora manual superior ASTM A36	1	75	75
Pistón neumático	2	100	200
Variador de frecuencia SEW	1	207	207
Eje motriz ASTM A36	1	314	314
Dosificador ASTM A36 – revestido caucho	1	5481	5481
Chute inferior ASTM A36 – revestido caucho	1	6794	6794
Tapa brida ASTM A36 – revestido caucho	1	506	506
Chute superior ASTM A36 – revestido caucho	1	6266	6266
PLC S7-1200	1	800	800
Total:			29720

Debido a que el equipo es un equipo complejo de diseñar y montar, se considera que una persona puede realizar dicho trabajo durante un día trabajando 8 horas. Por otro lado, el costo es de 5 dólares/HH (Hora-Hombre); así el costo total del armado es de \$11 520.00 (once mil quinientos veinte con 00/100 dólares). Entonces, el costo total del proyecto sería de 29 720 dólares más los gastos de horas trabajadas, lo cual equivaldría a un monto total de 41 240 dólares.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Las conclusiones de la presente tesis son las siguientes:

- El objetivo principal de la presente tesis fue diseñar un sistema automático alimentador de bolas dirigidas hacia un molino SAG, con la capacidad de identificar su tamaño y estimar el consumo de bolas por día. Así pues, se logró con este objetivo al diseñar un sistema que garantiza un flujo constante de bolas el cual consiste en una tolva de almacenamiento de bolas que son descargadas, de manera controlada, mediante una compuerta accionada por un pistón neumático hacia un dosificador accionado por un motor eléctrico. Este dosificador permitió regular la velocidad de descarga de las bolas dirigiéndolas hacia un sensor para que sean contabilizadas y analizadas al final de su recorrido previo al ingreso del molino. Además, se cumplió con los requerimientos establecidos como el aseguramiento de los componentes electrónicos bajo las condiciones climáticas de la operación minera, el peso adecuado, la capacidad de alimentación, el dimensionamiento de la tolva adecuado para almacenar bolas de 4.5" y 5" y el tiempo máximo de descarga.
- Se consiguió diseñar el sistema propuesto y se realizó el cálculo cinemático para la apertura y cierre de la compuerta. Para ello, se asumió que las bolas almacenadas en la tolva se comporten como un fluido para facilitar los cálculos para luego realizar el análisis del ángulo de descarga para tener una descarga más lenta y, así, permitir que las bolas no salgan con una alta velocidad. Además, se diseñó la tolva con la capacidad de soportar el peso de las bolas y, también, para el dispensador, se diseñó un dosificador en el cual se calculó el número de bolsillos necesarios de acuerdo con las dimensiones del eje. Por otro lado, para poder controlar el sistema no se emplearon algoritmos complejos debido a que solo se quería controlar el motor, el sensor y la compuerta. También, se consiguió establecer paradas de emergencia eléctrica y una señal que pueda avisar el llenado correcto de bolas del molino que para este caso era una señal externa que proviene del motor que hace girar el molino. Por último, se seleccionó el sensor de medición acorde a las necesidades del proyecto y se integró al controlador para brindar información sobre el conteo de bolas y sus dimensiones.
- Finalmente, se realizó la estimación de costos y se pudo verificar que los precios son acordes al mercado, debido a que proyectos de similar tamaño y complejidad por lo general tienen un margen de ganancia del 40% por lo que el costo de venta del equipo puede llegar hasta los 42 000 dólares y aún ser competitivo.

Y las recomendaciones del proyecto son las siguientes:

- Una condición importante para los operarios que visualicen la salida de las bolas, es tener una tapa acrílica, ya que esto garantizará hermeticidad y visualización.
- El sistema alimentador de bolas deberá ser controlado a bajas velocidades, de lo contrario puede ocasionar atrapamiento.
- El sistema puede tener la capacidad de ser integrado a un sistema de control distribuido (DCS) el cual se maneja en la mayoría de las unidades mineras.
- El mantenimiento deberá realizarse usando equipos de protección (EPPs) adecuados debido a que trabaja con equipos eléctricos de alta tensión y elementos de alto peso.
- El sistema puede ser mejorado mediante un algoritmo que permita mejorar la señal de control de los elementos automáticos.
- El operario solo tendrá que configurar el PLC una vez instalado el sistema para que el equipo opere de manera automática.
- Finalmente, al sensor de medición se colocó sobre la canaleta de descarga de las bolas para que no tenga inconvenientes en su funcionamiento y pueda calibrarse la distancia con facilidad. Además, se debe tener en cuenta que el sensor no debe tener obstáculos desde la posición donde se encuentra instalada hasta la bola ni ningún objeto que interfiera con la medición, por ello, cada parada del equipo se le debe dar una limpieza a la zona en mención.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Kelly, Errol & Spottiswood, David. (1990). Introducción al procesamiento de minerales. México: EDITORIAL LIMUSA, S.A. de C.V.
- [2] Flsmidth. (2012). Mineral Processing Solutions. 2019, de Directindustry Sitio web: <https://pdf.directindustry.es/pdf-en/flsmidth-dorr-oliver-eimco/mineral-processing-solutions/62016-616728.html#open>
- [3] Roldán, C. (2008). Presupuestación en Operaciones Mineras. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.
- [4] Leuze electronic S.A.U. (2018). Sensor lineal para medición de objetos - la mejor y más rentable solución para nuevas aplicaciones. octubre 23, 2019, de Leuze electronic S.A.U Sitio web: https://www.leuze.com/media/assets/dv007_144dpi_geschuetzt_pdf/PIN_ES_Medicion_objetos_LXS_es_144dpi.pdf
- [5] Innovadores en la Tecnología de Caucho. (2016). El Saber Hacer y el Entender Hacerlo. 2019, de techltda Sitio web: <http://www.techltda.cl/sitio/pdf/ficha/Lagging.pdf>
- [6] Arias, L. (2009). Adaptación y evaluación de un dosificador mecánico, para prototipo de sembradora de granos gruesos en surcos estrechos y triple hilera. México: Universidad autónoma agraria "Antonio Narro"
- [7] UNLP. (2010). Dosificadores: mecánicos y neumáticos. 2019, de Universidad Nacional de La Plata Sitio web: http://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/33817/mod_folder/content/0/Dosificadores.pdf?forcedownload=1
- [8] Tourn, M., Botta, G., & Soza, E. (2006). Antecedentes. En La dosificación por expulsión forzada y el daño a la semilla: una revisión (p.253). Argentina: Universidad de Buenos Aires.
- [9] Nieto, H. (2016). Diseño de un sistema mecánico eléctrico para la selección de chirimoyas. Lima, Perú: PUCP
- [10] Gutierrez, O. (2011). Estudio para calibración de molinos. Santiago de Chile: Universidad de Chile.
- [11] Alcántara, J. (2008). Diseño práctico de un molino de bolas. México: Instituto politécnico nacional.
- [12] Buenache, A. (2010). Tecnología neumática. Madrid: Universidad Carlos III de Madrid.

- [13] Catálogo de motores eléctricos SEW Eurodrive (2019) <http://www.seweurodrive.com/>
- [14] Catálogo de acoplamientos SKF (2019) <https://www.skf.com/>
- [15] Catálogo de variadores de velocidad SEW Eurodrive (2019) <http://www.seweurodrive.com/>
- [16] Catálogo de cilindros neumáticos Festo (2019) <https://www.festo.com/>
- [17] Catálogo de electroválvulas Festo (2019) <https://www.festo.com/>



ANEXOS

Anexo A: Estado del arte y selección de componentes

En las siguientes secciones se detalla información acerca de las patentes y proyectos existentes relacionados con el desarrollo de sistemas alimentadores de molinos de bola.

A.1. Patentes

A.1.1 *Intelligent Steel Ball Counter*

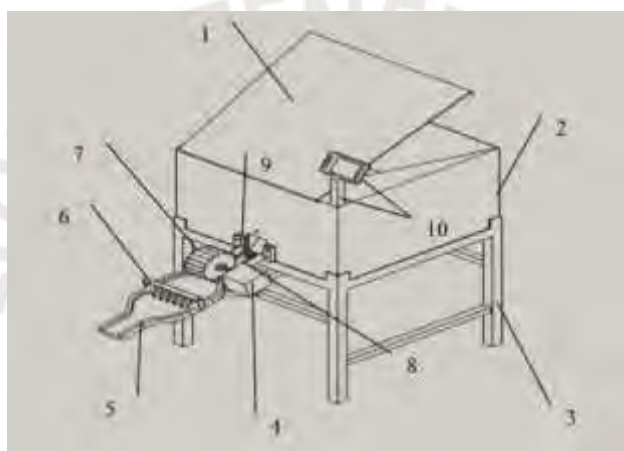


Figura A.1. Sistema contador de bolas: (1) Tapa del container, (2) Container, (3) Abrazadera, (4) Motor a pasos, (5) canaleta, (6) sensor infrarrojo, (7) cepillo, (8) chute, (9) slot, (10) Display LCD y rack. (Xiaohua Chu, Qun Sun, Lin lin Chen & Hongling Cui, 2016)

Esta patente describe un contador de bolas de acero inteligente, mostrado en la Figura A.1 que ha sido diseñado usando 2 microcontroladores y una pantalla LCD. El sistema es capaz de contar bolas de 5mm a 15mm de diámetro. El sistema funciona de la siguiente manera: cuando se abre la placa del recipiente, las bolas de acero ruedan hacia abajo hasta que el rodillo las detiene. Luego, el motor paso a paso acciona el rodillo para que gire de manera que las bolas de acero puedan continuar rodando hacia abajo debajo del rodillo. Finalmente, las bolas de acero caen en el canal que tiene un contador de infrarrojos montado en la parte superior. Las bolas de acero se dividen en ocho filas por la puerta del canal, y el sensor de infrarrojos en la parte superior del canal genera señales de pulso cuando se pasa cada bola.

A.1.2 Golf Ball Dispenser

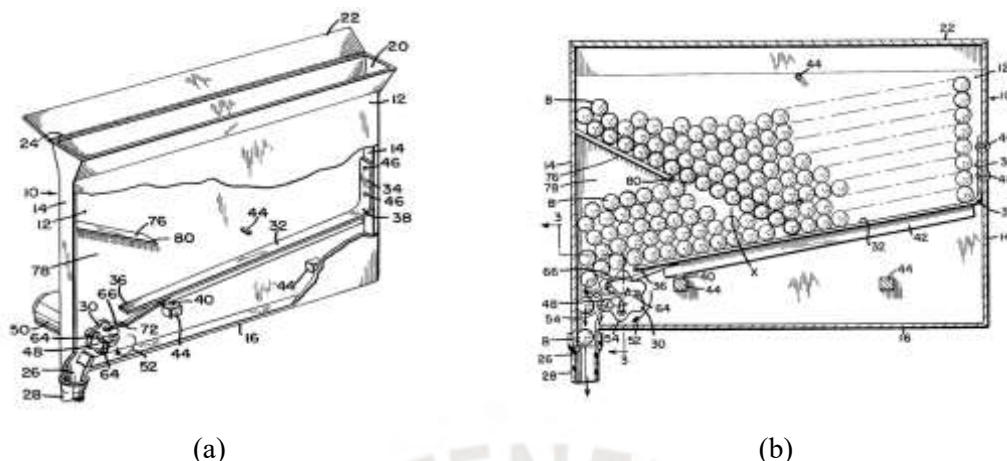


Figura A.2 Dispensadora de bola de golf a) vista isométrica y b) vista perfil (Meierjohann, E., 1966)

La presente patente se refiere a un dispensador de bolas que podría usarse para mantener un suministro continuo de bolas, u objetos esféricos, de manera ordenada para que esté disponible para el usuario en el juego. A modo de ejemplo, el dispensador puede servir como un depósito en el que las pelotas de golf se pueden arrojar al azar y mediante vibración asegura un flujo uniforme y alimenta rápidamente a un conducto o estación en el que las pelotas se pueden presentar en una sucesión ininterrumpida, para poder utilizarlo como bolas de práctica en un campo (Meierjohann, E., 1966). En la Figura A.2 se puede ver el mecanismo de acción una vez que las bolas son insertadas en la máquina, pasan a través de un mecanismo rotatorio el cual trasladalas bolas hacia el conducto de salida.

A.1.3 Golf Ball Dispenser and Tee Apparatus

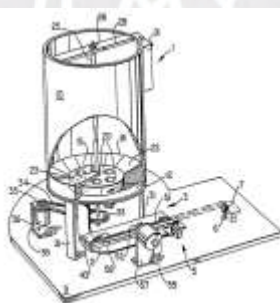


Figura A.3 Golf ball dispenser and tee apparatus (Donald N. Hickson, 1989)

Consiste en un dispensador de pelotas de golf y un aparato en T que incluye una tolva cilíndrica para transportar gran cantidad de pelotas de golf, un disco giratorio montado en la tolva sobre su piso con

una gran cantidad de agujeros, una cubierta para cubrir el agujero cuando está alineado con la abertura del piso de la tolva, así como se muestra en la Figura A.3. Las pelotas de golf se descargan una a la vez en un tubo inclinado y a su vez un motor gira el eje del disco de la tolva. Además, un interruptor, que funciona con monedas, inicia el funcionamiento del motor y una pinza montada en el tobogán al final del tubo inclinado agarra la pelota de golf cuando es accionado por el interruptor que es operado por la cabeza de un barra y un segundo motor para mover el tobogán con la pinza hacia afuera a una posición donde la pelota se deposita en una T y regresa al tobogán, cuando la pinza vuelve a la posición de descanso para agarrar otra pelota (Donald N. Hickson, 1989).

A.1.4 *Thrower mechanism for tennis ball machine*

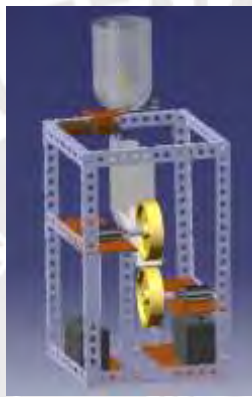


Figura A.4 Mecanismo de lanzamiento de bolas tenis. (Amzar, 2013)

El sistema consiste en un lanzador de bolas mecánico que utiliza básicamente dos contadores de rodillos giratorios o ruedas para lanzar la pelota de tenis. Estas ruedas generalmente funcionan con electricidad motores para rotar y la velocidad inicial de la pelota depende de la velocidad de rotación de las ruedas. Las ruedas tienen una pequeña abertura entre ellas donde afectan la bola entrante y la pelota de tenis que viene del alimentador de pelota se aprieta debajo con alta velocidad y presión la cual es ejercida por las ruedas. Entonces la pelota de tenis es lanzada a una gran velocidad y presión desde las ruedas tal cual se muestra en la Figura A.4(Amzar, 2013).

A.2. Componentes comerciales

A continuación, se presentarán los principales elementos que se utilizarán en el desarrollo de la presente tesis y los cuales serán usados en la matriz morfológica como parte de los conceptos solución.

A.2.1 Dosificadores mecánicos

La utilización de un implemento primitivo con el propósito de mecanizar la siembra encuentra sus orígenes en China, alrededor del año 2.500 a.c.; no obstante, el primer diseño de la maquina sembradora se atribuye a Jethro Tull, a principios del siglo XVIII (Partridge, 1969). De estas ideas, se diseñaron máquinas que dosifiquen, conduzcan y distribuyan las semillas en el terreno. Los dosificadores que las equipan se identifican como conjuntos por expulsión forzada, por consistir su principio de funcionamiento en un órgano que al girar dentro de un recipiente que contiene la semilla expulsa una cantidad medida de ella. Los nombrados como rodillo cilíndrico de eje horizontal acanalado (Figura A.5.a) y rotor cilíndrico de eje horizontal con estriado interno de capacidad fija (Figura A.5.b) (Marquez Delgado, 1982; Colombino et al., *ibid.*), son los que presentan mayor difusión (Tourn, M., Botta, G., & Soza, E., 2006).

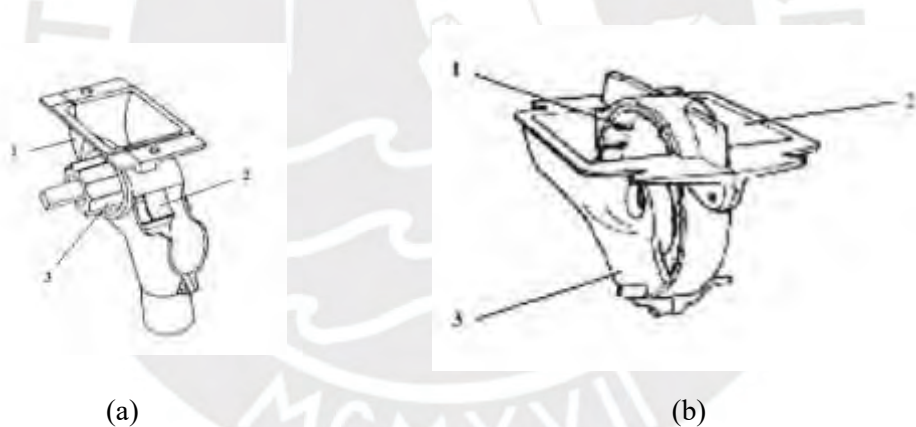


Figura A.5. a) Rodillo Cilíndrico de eje horizontal acanalado (1. Carcasa; 2. compuerta basculante del orificio de descarga; 3. Rodillo acanalado de dientes rectos) y b) rotor cilíndrico de eje horizontal, con estriado interno de capacidad fija (1. Rotor; 2. carcasa; 3. Orificio de descarga). (Colombino *et al.*, 1989)

A.2.2 Actuadores para descarga de tolva

Cilindros neumáticos

Los cilindros neumáticos convierten fluidos (en su mayoría, aire o nitrógeno) en un movimiento lineal aplicándoles presión. Hay varios tipos de cilindros neumáticos que son muy útiles en muchas aplicaciones de ingeniería, donde el movimiento es suave y se necesita de una carrera media de 10 a 30

cm (40% - 60% de la longitud inicial). Algunos de los criterios de selección más importantes son; la carrera (la distancia que el pistón se extiende cuando se activa), la medida del agujero (área de superficie de la cara del pistón), el índice de presión y el método de montaje como se muestra en la Figura A.6

En los cilindros neumáticos se consigue el desplazamiento de un émbolo encerrado en un cilindro debido a la diferencia de presión en ambos lados del émbolo. Este tipo de cilindros pueden ser de simple o doble efecto. En caso de los cilindros de simple efecto, el émbolo se desplaza en un sentido debido al empuje ejercido por el aire a presión mientras que en el otro sentido a consecuencia del efecto de un resorte. En los cilindros de doble efecto el aire a presión empuja al émbolo en las dos direcciones debido a que cuenta con dos cámaras de ingreso y salida de aire.

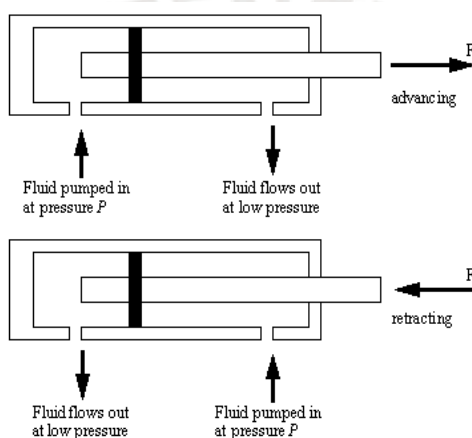


Figura A.6. Cilindro neumático de doble efecto (Hidraulic Online, 2019)

Cilindro hidráulico

El cilindro hidráulico consta de un mecanismo que consta de un cilindro, dentro del cual se desplaza un émbolo (pistón), y que transforma la presión de un líquido en energía mecánica (aplicar una fuerza) como se puede ver en la figura A.7.



Figura A.7. Cilindro - pistón (Enciclopedia Web EcuRed, 2019)

Existen 2 tipos de cilindro los de simple efecto y los de doble efecto:

a) Cilindro de simple efecto. El líquido a presión entra solo por la parte trasera de la cámara del cilindro. El retroceso del émbolo se produce por la fuerza de gravedad o la acción de una fuerza contraria cuando se libera la presión del líquido (Enciclopedia Web EcuRed, 2019).

b) Cilindro de doble efecto. El líquido a presión entra por la parte trasera de la cámara del cilindro. El retroceso del émbolo se produce por la entrada de líquido a presión por la parte delantera de la cámara del cilindro, mientras se libera la presión en la parte delantera (Enciclopedia Web EcuRed, 2019).

Electroválvulas

Las electroválvulas o válvulas solenoides son dispositivos diseñados para controlar el flujo (ON-OFF) de un fluido. Están diseñadas para poder utilizarse con agua, gas, aire, gas combustible, vapor entre otros. Estas válvulas pueden ser de dos hasta cinco vías. Pueden estar fabricadas en latón, acero inoxidable o pvc. Dependiendo del fluido en el que se vayan a utilizar es el material de la válvula.

En las válvulas de 2 vías, normalmente se utilizan las que funcionan con tres modalidades diferentes, dependiendo del uso que están destinadas a operar; pueden ser de acción directa, acción indirecta y acción mixta o combinada, además cada una de estas categorías puede ser Normalmente Cerrada (N.C.) o Normalmente Abierta (N.A.), esto dependiendo de la función que va a realizar ya sea que esté cerrada y cuando reciba la señal a la solenoide abra durante unos segundos, o que esté abierta y cuando reciba la señal la solenoide corte el flujo (Yamel Mattarollo, 2014).



Figura A.8. Electroválvula (Altecdust, 2019)

Motores AC

Los motores ac se encargan de transformar la energía eléctrica en energía mecánica, en la figura A.9 se muestra un motor asíncrono de la marca Sew Eurodrive el cual servirá para transmitir el movimiento de rotación hacia los ejes.



Figura A.9. Motor AC con caja reductora. (Sew Eurodrive, 2019)

A.2.3 Sensores

A continuación, se presentarán los diferentes tipos de sensores que permitirán identificar el tamaño de las bolas y a su vez contarlas.

Sensor foto eléctrico

El sensor foto eléctrico es uno de los elementos más robustos que se pueden encontrar en el mercado, debido a que el dispositivo deberá a operar bajo condiciones climáticas distintas a la de nuestra capital, el frío en las operaciones mineras bordea los 0°C así como la presión atmosférica que bordea los 57 kPa (4000 m.s.n.m). Los sensores fotoeléctricos tienen diferentes modos de emitir el haz de luz:

- Retroreflectivo
- Retroreflectivo polarizado
- Detección de objetos clara
- Estándar difuso
- Cortado agudo difuso.
- Supresión de fondo.
- Enfoque fijo difuso
- Haz transmitido
- Opti fibra de pequeña apertura.

En la figura A.10. se puede ver el sensor foto eléctrico más usado el retroreflectivo, el cual contiene un emisor y un receptor a la vez.



Figura A.10. Sensor foto eléctrico marca Allen Bradley. (a) Emisor y receptor de un sensor foto eléctrico y (b) sensor retrorreflectivo. (Rockwell Automation, 2016)

Sensor lineal para medición de objetos

Los sensores lineales para medición pueden ser aplicados cuando es necesario detectar de manera fiable, rápida y exacta objetos grandes a larga distancia sin altos requerimientos en precisión. El sensor lineal se utiliza donde se requiere medir la dimensión o la posición de objetos móviles o estáticos. La opción adicional de conectar un encoder permite, en la detección de objetos en movimiento, la generación de datos en 3D. Eso permite determinar posición, contornos o volúmenes en un gran abanico de aplicaciones. En la figura A.11. se muestra el sensor lineal de la marca Leuze Electronics que utilizado para medir objetos a cierta distancia.



Figura A.11. Sensor lineal para medición de objetos (Leuze electronic, 2018)

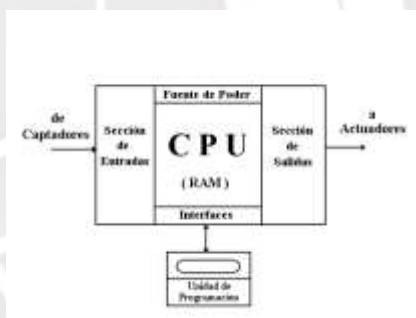
A continuación, en la Tabla A.1. se muestran las características del sensor lineal utilizado para medir objetos.

Tabla A.1. Características del sensor lineal LPS Leuze Electronics

Datos de funcionamiento	Aplicaciones típicas
Láser lineal de 600 mm con un alcance de 800 mm	Preparación de cajas - Picking
Tiempo de medición: 10 ms	Control de robots cartesianos
Alcance de detección: 200 – 800 mm	Medición de superficies de tamaño libre (no uniforme)
Dimensiones compactas: 160 × 74 × 56 mm	Medición en 3D de objetos en movimiento
Interface: Ethernet Opcional: Encoder	

2.2.4 Controlador lógico programable

El Autómata Programable o Controlador Lógico Programable (PLC) es un equipo electrónico diseñado para monitorear y controlar, en tiempo real, procesos secuenciales de cualquier tipo y volumen en la industria en general. Los Autómatas Programables se componen de varios bloques, tal y como se representa en la figura A.12.

**Figura A.12.** Componentes Internos del PLC

Una de las marcas más conocidas es la de Rockwell Automation, PLC Allen Bradley SLC-500, el cual tiene una estructura externa tipo modular (rack, fuente de alimentación, CPU, módulos de I/O, comunicaciones, contaje rápido) y permite operar con señales digitales y análogas, lo cual lo capacita para realizar controles secuenciales, control On-Off, control regulatorio, mediante su set de instrucciones. El lenguaje de programación que utiliza es el Diagrama en Escalera, así como se muestra en la figura A.13.



Figura A.13. PLC Allen Bradley SLC-500 (Rockwell Automation, 2019)



Anexo B: Lista de exigencias

LISTA DE EXIGENCIAS	
Tema:	Diseño de un sistema automatizado alimentador de bolas de 5" y 4.5" para molino SAG
Categoría	Descripción
Función Principal	Alimentar bolas a un molino SAG e identificar el tamaño y calidad de ellas.
Capacidad	La capacidad será de 13Ton/hr, considerando que será un molino de menor tamaño.
Geometría	Se dimensionará una tolva pequeña para una capacidad de 13 Ton de bolas y se dimensionará el dosificador y las canaletas de descarga, de manera que el sensor permita contar adecuadamente las bolas.
Horas de trabajo	El sistema trabajará solo 24 horas o hasta que el sistema indique el llenado de bolas óptimo del molino.
Energía	El sistema funcionará con corriente eléctrica de 220V y 60 Hz y con una alimentación de aire de 7 bar.
Montaje	El sistema será dividido en subsistemas (tolva, accionamiento, dosificador e identificación) para facilitar su transporte e instalación.
Mantenimiento	Se deberá realizar un mantenimiento preventivo a todo el sistema cada 4 meses, para evaluar calibración los sensores y actuadores, la limpieza de las canaletas, el engrase de los elementos y el estado del motor.
Calidad	El sistema alimentador deberá identificar en qué condiciones se encuentran bolas las cuales serán alimentadas al molino SAG, identificar si tienen agujeros o si no son completamente redondas a un 50% debido a que la bola si cuenta con 1 o más agujero o grieta se consideraría de baja calidad.
Seguridad	El sistema deberá contar con un botón de parada de emergencia, los cables deberán estar correctamente cubiertos y el diseño deberá facilitar el mantenimiento para el operador.
Uso	El sistema deberá ser operado bajo las siguientes condiciones climáticas: temperatura a 3°C, altura 4500 m.s.n.m. como máximo y cubierta de lluvias.
Costo	El costo aproximado del proyecto será de 5 000 dólares, contabilizando que será el diseño de una tolva pequeña y el \$/kg de las planchas metálicas.
Tiempo	El tiempo aproximado del proyecto será de 4 meses.

Anexo C

GRIND

MOLYCORP

SAG BALLS

TECHNICAL SPECIFICATIONS

Nominal Ball Diameter in (in) & Mass in (g)			Nominal Ball Diameter in (mm) & Mass in (g)		
Ball Diameter (in)	Minimum Mass (g)	Maximum Mass (g)	Ball Diameter (mm)	Minimum Mass (g)	Maximum Mass (g)
4.0	4283	4772	100	4728	5201
4.5	6090	6728	115	6211	6832
5.0	8386	9202	125	7977	874
5.25	9684	10633	133	9608	10589
5.5	11135	12248	140	11207	12327
6.0	14458	15902	150	13784	15162
6.25	16220	17922	160	16028	17407

Chemistry (weight %)											
Ball Diameter (in)	(mm)	C		Mn		Si		Cr		Mo	
		Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
4.0	100	0.75	1.00	0.75	1.25	0.10	0.50	0.50	1.00	0.00	0.10
4.5	115	0.70	0.90	0.70	1.25	0.10	0.50	0.50	1.00	0.00	0.10
5.0	125	0.70	0.90	0.70	1.25	0.10	0.50	0.75	1.25	0.00	0.10
5.25	133	0.70	0.90	0.70	1.25	0.10	0.50	0.75	1.25	0.00	0.10
5.5	140	0.70	0.90	0.70	1.25	0.10	0.50	0.75	1.25	0.00	0.10
6.0	150	0.70	0.90	0.70	1.25	0.10	0.50	0.75	1.25	0.00	0.10
6.25	160	0.70	0.90	0.70	1.25	0.10	0.50	0.75	1.25	0.00	0.10
S Max (0.042)						P Max (0.035)					

Hardness (Rockwell C)					
Ball Diameter (in)		Average Surface Hardness		Average Volumetric Hardness	
(in)	(mm)	Min	Max	Min	Max
4.0	100	55	61	55	61
4.5	115	55	61	55	61
5.0	125	55	61	55	61
5.25	133	55	61	55	61
5.5	140	55	61	55	61
6	150	55	61	55	61

The figure is intended as a guide only. Individual ball hardness readings may fall outside the range listed above.

Anexo D



Vigas - Planchas - Tubos - Angulos - Caroles - Vólvulos - Fittings

PLANCHAS DE ACERO ESTRUCTURAL LAMINADAS EN CALIENTE ASTM A 36/A 36M

Descripción

Productos planos, que se obtienen por laminación en caliente, a partir de planchones de acero estructural.

Usos

Estructuras metálicas, equipos mineros, tolvas, autopartes, tanques de almacenamiento, vigas, puentes, torres de alta tensión, silos, etc.

Normas Suministradas y Composición Química

NORMA TECNICA	C %	Mn %	Si %	P %	S %	TIPO DE ACERO
ASTM A 36/A 36M	0.28 máx.	1.20 máx.	0.4 máx.	0.04 máx.	0.05 máx.	RESISTENCIA MEDIA

Propiedades Mecánicas

NORMA TECNICA	Limite de Fluencia			Resistencia a la Tracción			Elongación	
	Kg/mm ²	ksi	Mpa	Kg/mm ²	ksi	Mpa	Probeta 2"	Probeta 8"
ASTM A 36/A 36M	25.3 min	36 min	250 min	41 - 56	58 - 80	400 - 550	23 % min	20% min

Dimensiones y Pesos Teóricos

SISTEMA METRICO			SISTEMA INGLES, REFERENCIAL			PESOS TEORICOS			AREA DE PLANCHA	
Espesor mm	Ancho mm	Largo mm	Espesor	Ancho pie	Largo pie	kg/plancha	kg/m ²	kg/pie ²	m ²	pie ²
1.5	1200	2400	1/16"	4	8	33.91	11.78	1.09	2.88	31.0
1.8	1200	2400	9/128"	4	8	40.69	14.13	1.31	2.88	31.0
2.0	1200	2400	5/64"	4	8	45.22	15.70	1.46	2.88	31.0
2.2	1200	2400	11/128"	4	8	49.74	17.27	1.60	2.88	31.0
2.3	1200	2400	12/128"	4	8	52.00	18.06	1.68	2.88	31.0
2.4	1200	2400	1/32"	4	8	54.26	18.84	1.75	2.88	31.0
2.5	1200	2400	3/32"	4	8	56.52	19.63	1.82	2.88	31.0
2.7	1200	2400	7/64"	4	8	61.04	21.20	1.97	2.88	31.0
2.9	1200	2400	1/8"	4	8	65.56	22.77	2.11	2.88	31.0
3.9	1200	2400	5/32"	4	8	86.17	30.62	2.84	2.88	31.0
4.0	1200	2400	5/32"	4	8	90.43	31.40	2.92	2.88	31.0
4.4	1200	2400	3/16"	4	8	99.48	34.54	3.21	2.88	31.0
4.5	1200	2400	3/16"	4	8	101.74	35.33	3.28	2.88	31.0

Tolerancias de Acuerdo al JIS G 3193



Anexo E

- Según Joseph Vidosic, "Machine Design Projects", The Ronald Press, New York:

Caso	Factor de Seguridad FS	Observaciones
1	1,25 ... 1,5	Para materiales excepcionalmente confiables usados bajo condiciones controladas y sujetos a carga y esfuerzos que pueden determinarse con exactitud. Una consideración muy importante es que casi siempre se usan para pesos pequeños.
2	1,5 ... 2	Para materiales bien conocidos, para condiciones de medio ambiente razonablemente constantes y sujetos a cargas y esfuerzos que puedan calcularse con facilidad.
3	2 ... 2,5	Para materiales promedio que trabajen en condiciones de medio ambiente ordinarias y sujetos a cargas y esfuerzos que puedan calcularse.
4	2,5 ... 3	Para materiales poco experimentados o para materiales frágiles en condiciones promedio de medio ambiente, carga y esfuerzo.
5	3 ... 4	Para materiales no experimentados usados para condiciones promedio de medio ambiente, carga y esfuerzo.
6	3 ... 4	Deberá también usarse con materiales mejor conocidos que vayan a usarse en condiciones ambientales inciertas o sujetos a cargas y esfuerzo inciertos.
7		Cargas repetidas: son aceptables los factores indicados en los puntos 1 al 6 pero debe aplicarse el límite de rotura por carga cíclica o esfuerzo de fatiga en lugar del esfuerzo de fluencia del material.
8		Fuerza de impacto: son aceptables los factores dados en los puntos 3 al 6, pero deberá incluirse un factor de impacto.
9		Materiales frágiles: si se considera a la resistencia máxima (σ_t) como la máxima teórica, los factores indicados en los puntos 1 al 6 deberán multiplicarse por 2.
10		Para el caso deseable de tener factores elevados, deberá efectuarse un análisis muy completo del problema antes de decidir sobre su uso.







Caso	Factor de Seguridad FS	Observaciones
1	$FS \geq 1,25$	Para análisis deterministas no se recomienda utilizar valores del coeficiente de seguridad inferiores a 1,25. Este límite puede rebajarse en algo pero sólo excepcionalmente, y en casos de estricta necesidad, como por ejemplo debido a limitaciones de peso y/o volumen, en piezas cuyo fallo no ocasione riesgos de daños físicos, en materiales de excelente fiabilidad, geometrías no muy complicadas, condiciones de servicios ideales y controladas, esfuerzos muy aproximadamente estáticos, método de análisis muy preciso y estricto control de calidad.
2	$1,25 \leq FS \leq 1,5$	Si se utiliza un material de comportamiento dúctil garantizado, con una fiabilidad excepcional, en condiciones de trabajo muy previsible, con sollicitaciones estáticas bien conocidas y utilizando métodos de cálculo precisos. Sólo se recomiendan cuando la reducción de peso es una restricción de diseño de particular importancia.
3	$1,5 \leq FS \leq 2,0$	Materiales dúctiles de propiedades bien conocidas, condiciones ambientales relativamente constantes y poco agresivas, sometidos a sollicitaciones estáticas bien conocidas y tal que se pueden realizar cálculos fiables.
4	$2,0 \leq FS \leq 2,5$	Materiales dúctiles de calidad media para piezas en condiciones de trabajo no muy exigentes ni agresivas, sometidas a cargas estáticas y esfuerzos que pueden determinarse con cierta aproximación.
5	$2,5 \leq FS \leq 3,0$	Materiales dúctiles en los que no hay una referencia conocida de la fiabilidad de los valores de sus propiedades resistentes, o sometidos a cargas estáticas que pueden ser determinadas con cierta precisión.
6	$3,0 \leq FS \leq 4,0$	Tan sólo para el caso de materiales poco conocidos, en condiciones de trabajo inciertas. En lo posible debe tratarse de evitarse esta situación.
7		Para materiales frágiles se deben duplicar los valores recomendados anteriores.
8		Para sollicitaciones que producen tensiones variables, fatiga del material, los valores recomendados en los puntos 2 a 7 y para materiales férricos, pueden ser excesivos si las piezas se analizan con los métodos que se exponen en el Tema III, pues son muy conservadores. En fatiga es además imprescindible complementar los análisis teóricos con ensayos sobre prototipos.
9		Para cargas de impacto se admiten los valores de los puntos 4 a 7 mayorados por un coeficiente de choque.

Anexo F

Cilindros normalizados DNC, ISO 15552

FESTO

Cuadro general de productos

Funcionamiento	Ejecución	Tipo	Diámetro del émbolo		Carrera	Dirección de posiciónes	Anti-golpe	Doble vástago hueco	Rosca de vástago prelastrado	Rosca interior en el vástago	Rosca especial en el vástago	
			[mm]	[mm]								A
Doble efecto	Tipo básico											
		DNC	32, 40, 50, 63, 80, 100, 125	20, 25, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 100, 125, 150, 160, 200, 250, 300, 320, 400, 500	10 - 2000	■	■	■	■	■	■	
	Patrón de taladros normalizado, con unidad de bloqueo											
		DNC-KP	32, 40, 50, 63, 80, 100, 125	-	10 - 2000	■	■	■ S2	■	■	■	
		DNC-KE	40, 63, 100	-	10 - 2000	■	-	-	-	-	-	
	Patrón de taladros normalizado, con bloqueo en el final de carrera											
		DNC-EL	32, 40, 50, 63, 80, 100	-	10 - 2000	■	-	■ S2	■	■	■	
Distribución de conexiones normalizada, combinaciones de cilindros y válvulas												
	DNC-V1 - V6	32, 40, 50, 63, 80, 100	-	100 - 2000	■	■	■	■	■	■		
Patrón de taladros normalizado, cilindro tandem												
	DNCT	32, 40, 50, 63, 80, 100, 125	-	7 - 500 8 - 500	■	-	-	-	-	-		

MCMXVII

Anexo G

Válvulas neumáticas VSPA, ISO 15407-1

Hoja de datos - Ancho de 18 mm

FESTO

 Caudal
550 ... 750 l/min




Especificaciones técnicas generales					
Función de la válvula	2x 3/2	5/2	5/3		
Normalmente	C ¹ , U ² , H ⁴	–	C ¹ , U ² , C ³		
Comportamiento	Monoestable	Monoestable	Biestable	Monoestable	
Recuperación por muelle neumático	Sí	Sí	–	No	
Recuperación por muelle mecánico	No	Sí	–	Sí	
Forma constructiva	Distribuidor axial				
Solapamiento	Solapamiento positivo				
Tipo de junta	Blanda				
Tipo de accionamiento	Neumático				
Tipo de mando	Directo				
Sentido de flujo	No reversible	Reversible	Reversible	Reversible	
Función de escape	Estrangulable				
Tipo de fijación	En placa base				
Posición de montaje	Indiferente				
Díámetro nominal	[mm]	5			
Caudal de válvula	[l/min]	600	750	750	650
Caudal válvula en placa base individual	[l/min]	450	550	550	500
Caudal válvula de interconexión neumática	[l/min]	400	550	550	450
Caudal nominal normal de la válvula	[l/min]	400	550	550	450
Tiempo de conexión/desconexión, muelle neumático	[ms]	10/15	11/20	–	–
Tiempo de conexión/desconexión, muelle mecánico	[ms]	–	8/18	–	9/18
Tiempo de conmutación	[ms]	–	–	6	–
Tiempo de conmutación l/m (prioritario)	[ms]	–	–	6	–
Ancho	[mm]	18			
Conexión en la placa base	1, 2, 3, 4, 5	G3/8			
	12, 14	M5			
Par de apriete para el montaje de la válvula	[Nm]	0,9 ... 1,1			
Peso del producto	[g]	80			
Conforme a la norma		ISO 15407-1, VDMA 24561			

Anexo H

En forma de T

Ejecución	Tipo	Página
Racor rápido en T		
	QST-B	56
	QSMT	66
	QST	75
	NPQM-T...	91
	NPQH-T	100
	NPQP-T...	105
	CRQST	109
QST-V0	114	
con casquillo enchufable		
	NPQM-T...	91
Racor rápido en T		
	NPKA-T	116

En forma de W

Ejecución	Tipo	Página
Racor rápido con casquillo enchufable		
	QSW-HL	77

En forma de X

Ejecución	Tipo	Página
Racor rápido en X		
	QSMX	66
	QSX	78


En forma de Y

Ejecución	Tipo	Página
Racor rápido en Y		
	QSY-B	57
	QSMY	66
	QSY	79
	NPQM-Y...	92
	NPQH-Y	101
	NPQP-Y...	106
CRQSY	110	
Racor rápido en Y con casquillo enchufable		
	QSY-...H	79
	QSY-...H-B	79

Regulador estándar con conexión QS, serie D

Forma	Tipo	Página
Salida en L, tornillo con ranura	GRLA GRLZ	173
		
Salida en L, tornillo moleteado	GRLA	174
		
Salida en L, tornillo con ranura	GRLA-F	174
		

Regulador estándar con conexión QS, serie B

Forma	Tipo	Página
Salida en L, tornillo con ranura	GRLA	175
		

Regulador estándar con conexión QS

Miniválvula reguladora con conexión PK para racor QS

Forma	Tipo	Página
Salida en L, tornillo con ranura	GRLA GRLZ GRLO	176
		
Conexión giratoria, salida paralela, tornillo con ranura	GRGA GRGZ	176
		

Válvula reguladora estándar con rosca inferior

Forma	Tipo	Página
Salida en L, tornillo con ranura	GRLA GRLZ GRLO	177
		
Salida en L, tornillo moleteado	GRLA GRLZ	177
		



Soporte de piso con Rodamiento Y



SERVICIO NORMAL

DIAMETRO DEL EJE	DESIGNACIÓN	III			RODAMIENTOS
		1000	2000	3000	
10"	SY 10 TM	312	380	1000	VAR 200-08
50"	SY 50 TM				VAR 100-210
50"	SY 50 TM	312	380	1000	VAR 204-02
70"	SY 50 TM				VAR 205-04
100"	SY 100 TM	365	440	1150	VAR 205-05
1"	SY 1 TM				VAR 205-08
1.100"	SY 1.100 TM*	419	1000	1350	VAR 206-01*
1.100"	SY 1.100 TM				VAR 206-02
1.300"	SY 1.300 TM				VAR 206-03
1.100"	SY 1.100 TM*				VAR 206-06*
1.100"	SY 1.100 TM	476	1300	1550	VAR 207-00
1.300"	SY 1.300 TM*				VAR 207-02*
1.300"	SY 1.300 TM				VAR 207-08
1.500"	SY 1.500 TM				VAR 207-10
1.600"	SY 1.600 TM	482	1370	1600	VAR 208-08
1.800"	SY 1.800 TM				VAR 208-09
1.800"	SY 1.800 TM	540	1500	1820	VAR 209-10
1.1000"	SY 1.1000 TM				VAR 209-01
1.800"	SY 1.800 TM				VAR 209-12
1.1000"	SY 1.1000 TM	572	1490	1850	VAR 210-13
2"	SY 2 TM	613	1630	1810	VAR 211-00
2.300"	SY 2.300 TM				VAR 211-05
2.000"	SY 2.000 TM	690	1780	2010	VAR 212-04
2.300"	SY 2.300 TM				VAR 212-07
2.400"	SY 2.400 TM	762	1900	2160	VAR 212-08
2.0000"	SY 2.0000 TM				VAR 212-21
2.300"	SY 2.300 TM	826	2150	2360	VAR 212-22
2.1000"	SY 2.1000 TM				VAR 212-23
3.500"	SY 3.500 TM*	952	2361	2600	VAR 212-30*
3.1000"	SY 3.1000 TM*	1127	2760	3000	VAR 212-31*
4"	SY 4 TM*				VAR 212-40*

SERVICIO SEMIPESADO

1.100"	SYM 1.100 TM	540	1360	1520	VAR 208-07
1.100"	SYM 1.100 TM	540	1360	1520	VAR 209-09
1.1000"	SYM 1.1000 TM	572	1490	1850	VAR 210-11
1.300"	SYM 1.300 TM				VAR 210-12
1.1000"	SYM 1.1000 TM	613	1630	1810	VAR 211-13
2.100"	SYM 2.100 TM	800	1760	2010	VAR 212-03
2.100"	SYM 2.100 TM	762	1900	2160	VAR 214-20
2.100"	SYM 2.100 TM				VAR 214-20
2.1000"	SYM 2.1000 TM	880	2150	2400	VAR 215-21
2.1000"	SYM 2.1000 TM	880	2150	2400	VAR 216-22
2"	SYM 2 TM				VAR 216-00
3.100"	SYM 3.100 TM*	1000	2610	2900	VAR 218-02*
3.100"	SYM 3.100 TM*				VAR 218-08*

* Consulta para disponibilidad
 ** Para más detalles, diríjase a su oficina SKF
 *** El eje debe ser lubricado con SKF L2
 **** El eje debe ser lubricado con SKF L3
 ***** VAR 205-08 consultado a VAR 205-05-21

LPS 36

Light section sensor for object measurement



www.leuze.com

200 ... 800mm



- Light section sensor for object measurement.
- Calibrated system.
- Measurement range: 200 ... 800mm
- Measurement time: 10ms
- Length of laser line: max. 600mm
- Measurement data transfer via Fast Ethernet
- Measurement value display in meter on OLED display as an alignment aid
- Optional incremental transmitter output
- Up to 376 value pairs (x,z) along the laser line
- Up to 16 inspection tasks
- Actuator input, trigger input, cascading output

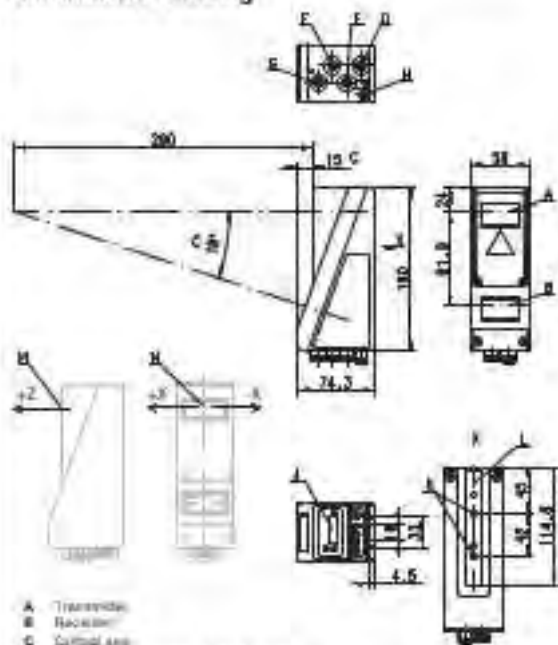
www.leuze.com



Accessories:

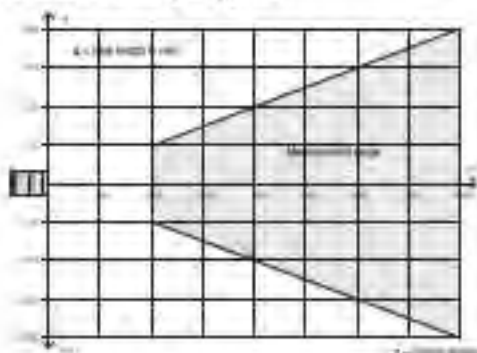
- (optional) mounting systems BT 50, BT 52
- Cable with M12 connector (K-D)
- Configuration memory K-D5 M12A-EP-0,75m-Lo538-CP

Dimensioned drawing



- A: Transmitter
- B: Receiver
- C: Optical axis
- D: X1: M12 x1 connector of pin A cable
- E: X2: M12 x1 connector of pin B cable
- F: X3: M12 x1 connector of pin A cable (BT 50/52)
- G: 60 Volt used (battery plug)
- H: PE screw
- J: OLED display and pin pad
- K: 60 Volt used (4.5 mm)
- L: Holder for mounting system BT 50 / BT 52
- M: Zero point and orientation of the subunit appear for measurement tool

Measurement range, typical



Laser safety notices



ATTENTION, LASER RADIATION – LASER CLASS 2M

Never look directly into the beam or point the beam in the direction of telescope users!

The device fulfills the EN 60825-1:2008-05 (IEC 60825-1:2007) safety regulations for a product in **laser class 2M** (a, with as the U.S. 21 CFR 1040.10 regulations with deviations corresponding to "Laser Notice No. 50" from June 24th, 2007).

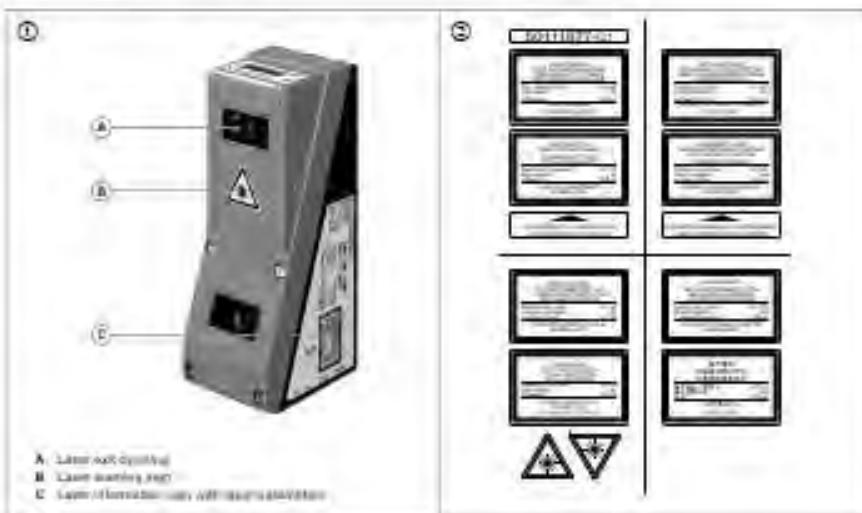
- ⊗ Never look directly into the laser beam or in the direction of reflecting laser beams!
- ⊗ If you look into the beam path over a longer time period, there is a risk of injury to the retina.
- ⊗ Do not point the laser beam at the device or persons!
- ⊗ Intercept the laser beam with an opaque, non-reflective object if the laser beam is accidentally directed towards a person.
- ⊗ When mounting and aligning the device, avoid reflections of the laser beam off reflective surfaces.
- ⊗ CAUTION! Use of controls or adjustments or performance of procedures other than specified herein may result in hazardous light exposure.
- ⊗ The use of optical instruments or devices (e.g., magnifying glasses, binoculars) with this product will increase eye hazard!
- ⊗ Adhere to the applicable legal and local regulations regarding protection from laser beams, acc. to EN 60825 (IEC 60825) in its latest version.
- ⊗ The device must not be tampered with and must not be changed in any way.
- ⊗ There are no user-serviceable parts inside the device.
- ⊗ Repairs must only be performed by Leuze electronic GmbH + Co. KG.

NOTICE

Affix laser information and warning signs

Laser information and warning signs are affixed to the device (1). In addition, self-adhesive laser information and warning signs (stick-on labels) are supplied in several languages (see 2).

- ⊗ Affix the laser information sheet with the language appropriate for the place of use to the device.
- ⊗ When using the device in the US, use the stick-on label with the "Complies with 21 CFR 1040.10" notice.
- ⊗ Affix the laser information and warning signs near the device if no signs are attached to the device (e.g., because the device is too small) or if the attached laser information and warning signs are concealed due to the installation position.
- ⊗ Affix the laser information and warning signs so that they are legible without exposing the reader to the laser radiation of the device or other optical radiation.



Anexo K

Ejes de guía pasiva EGC-FA sin actuador

Hoja de datos



 Tamaño
70 - 185

 Longitud de carrera
50 - 8500 mm

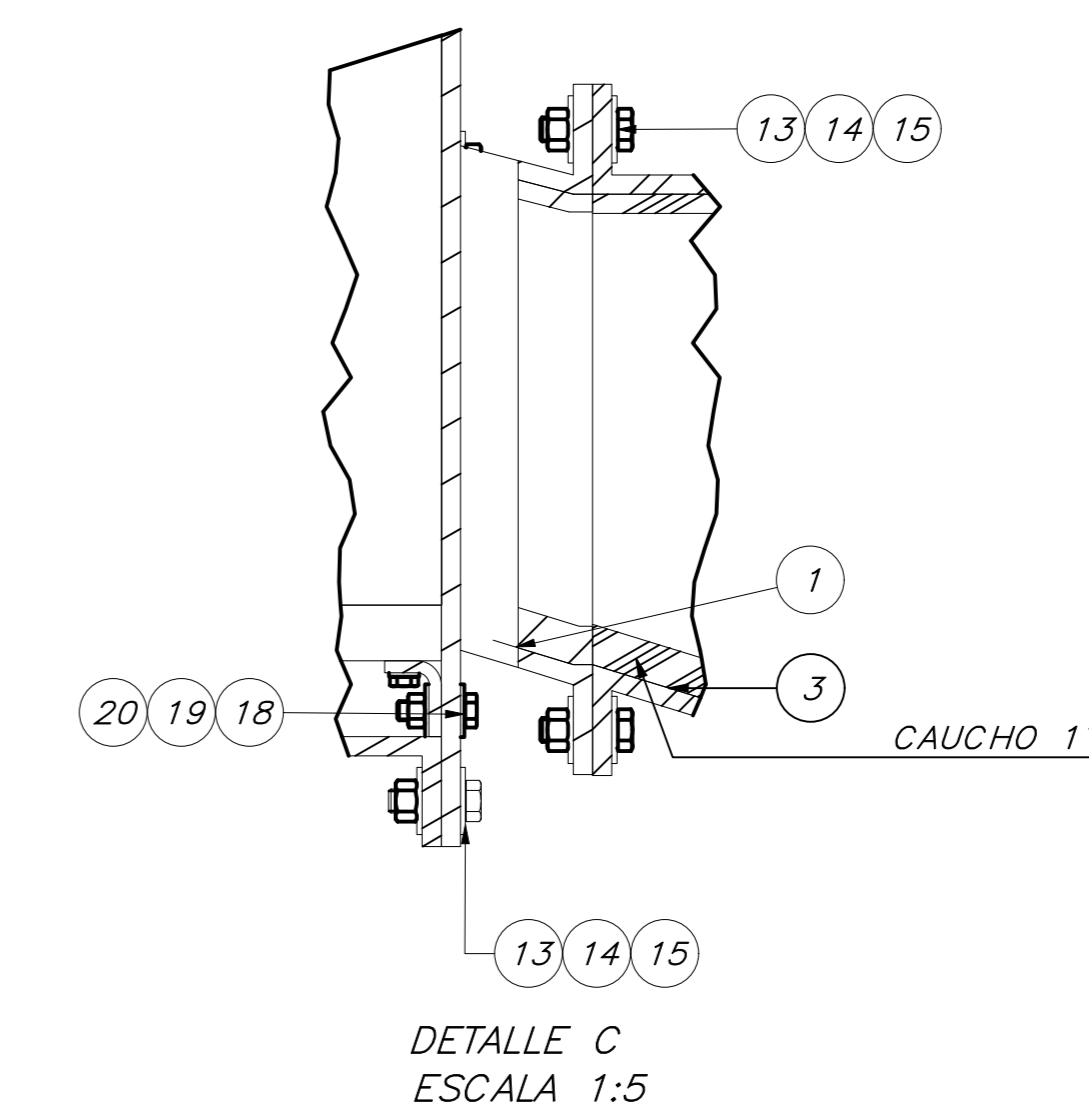
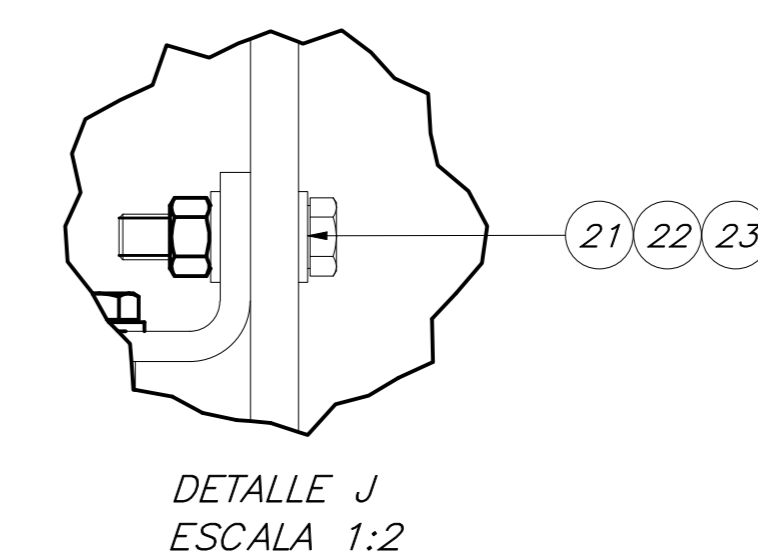
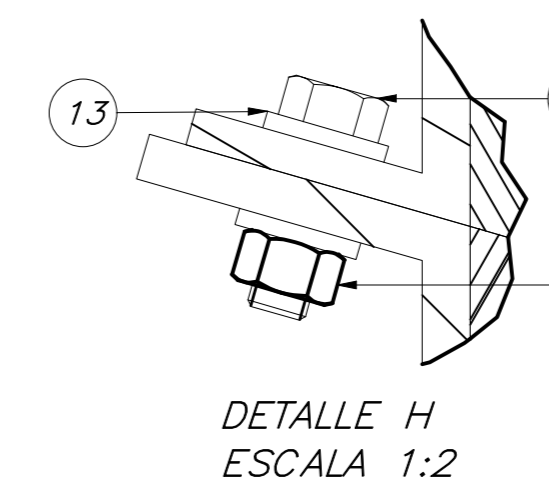
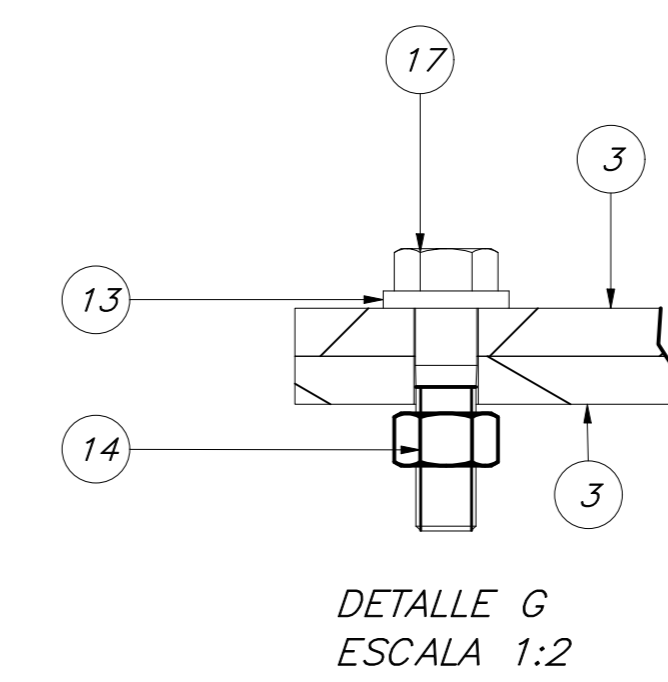
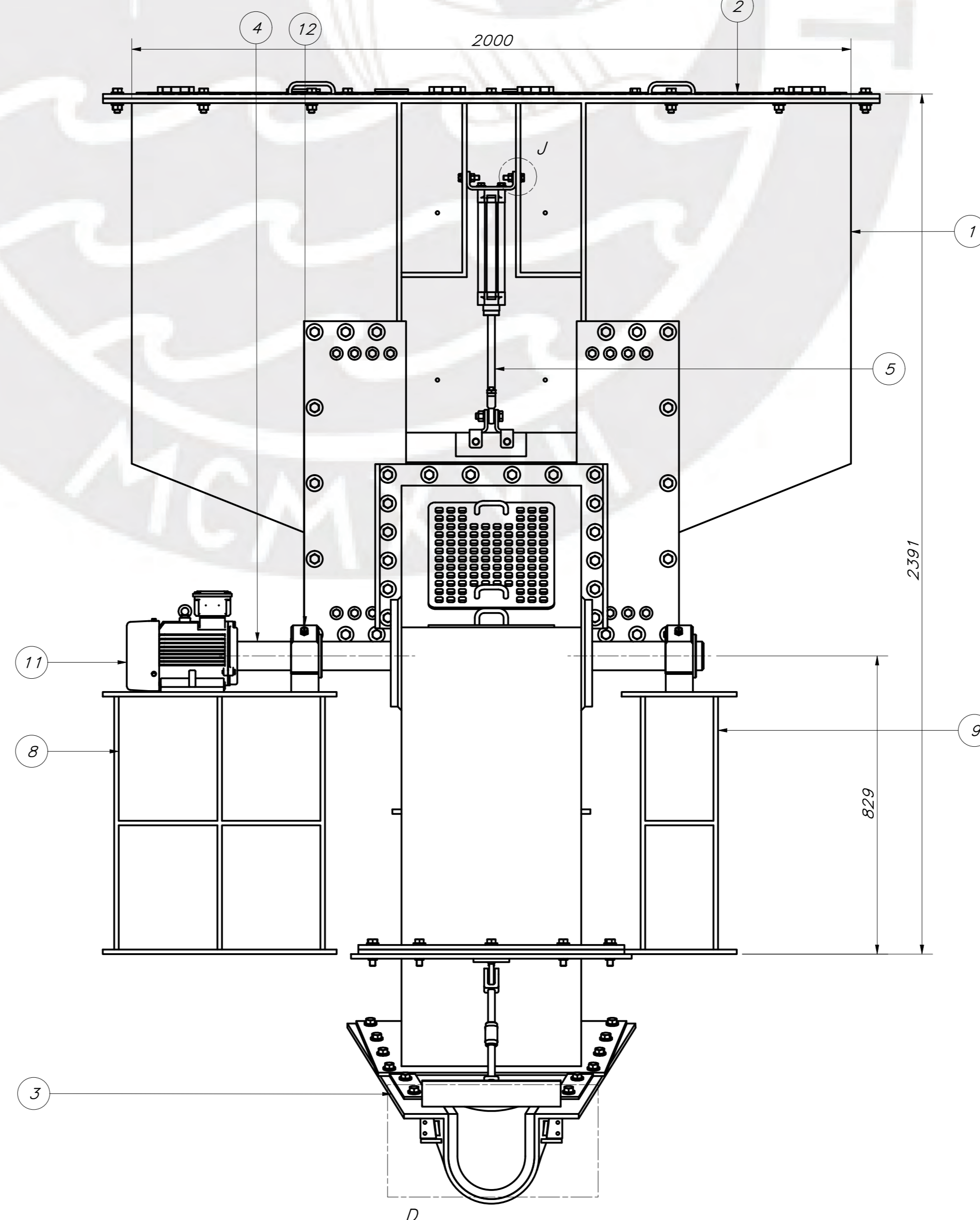
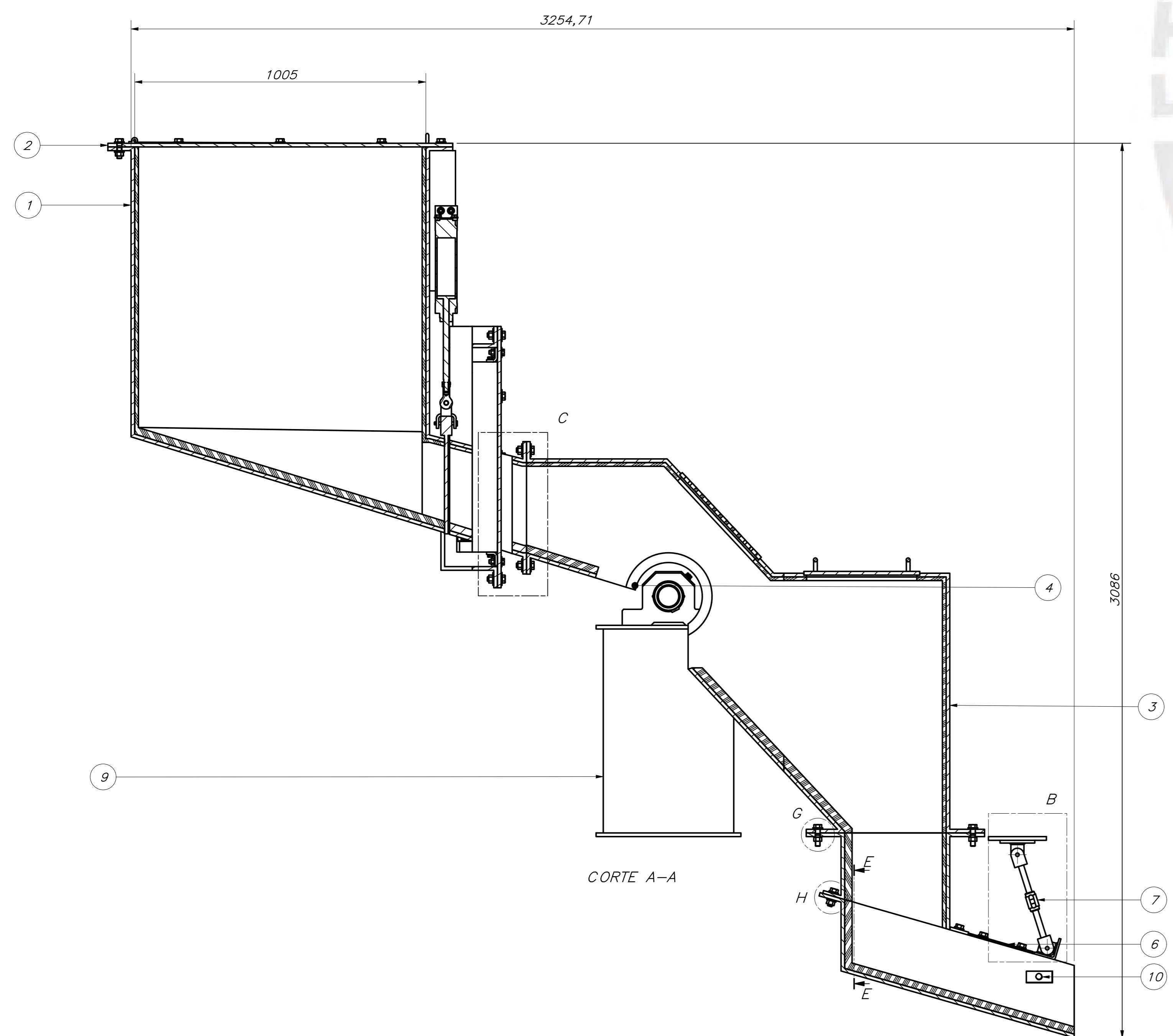
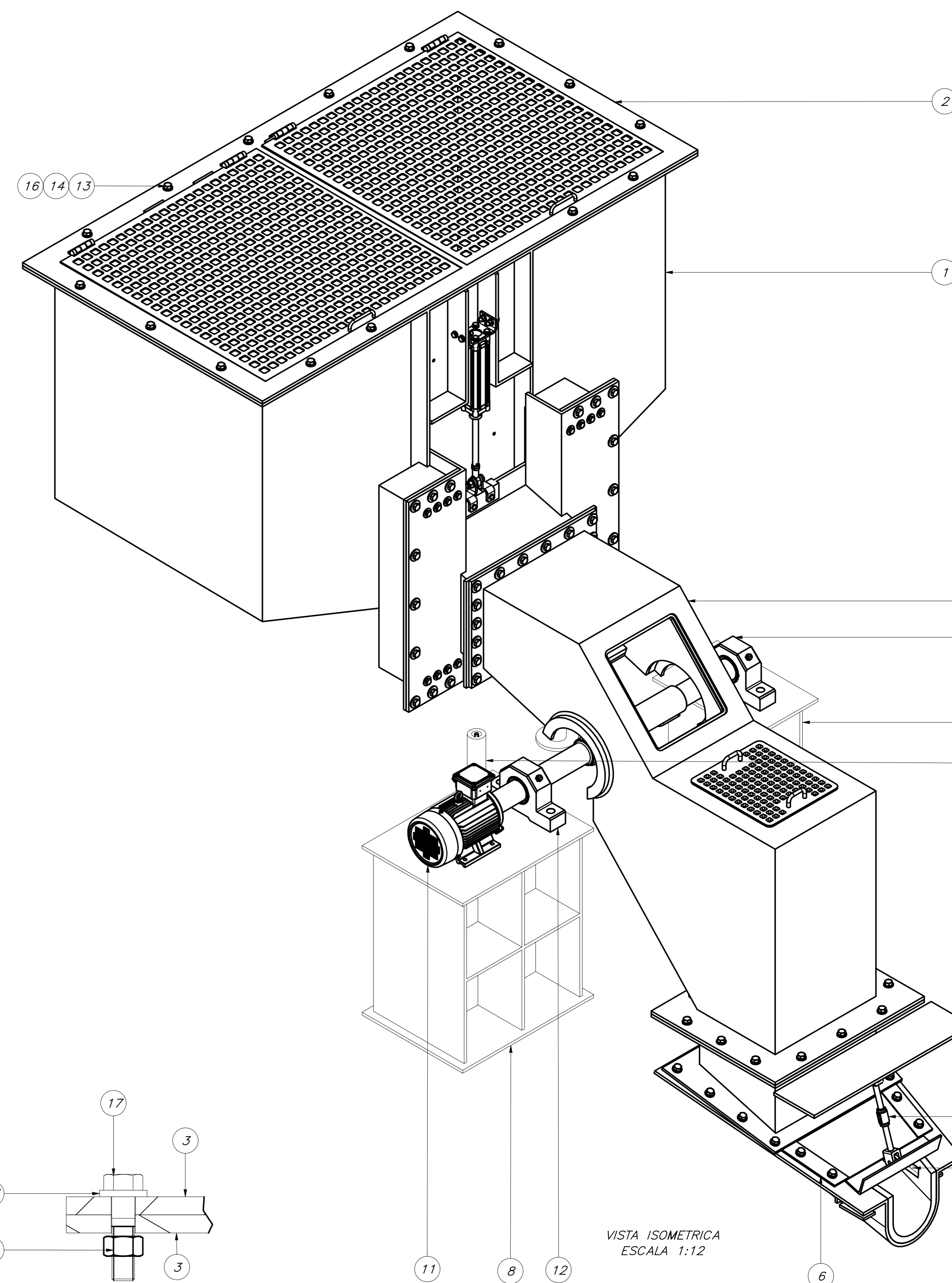
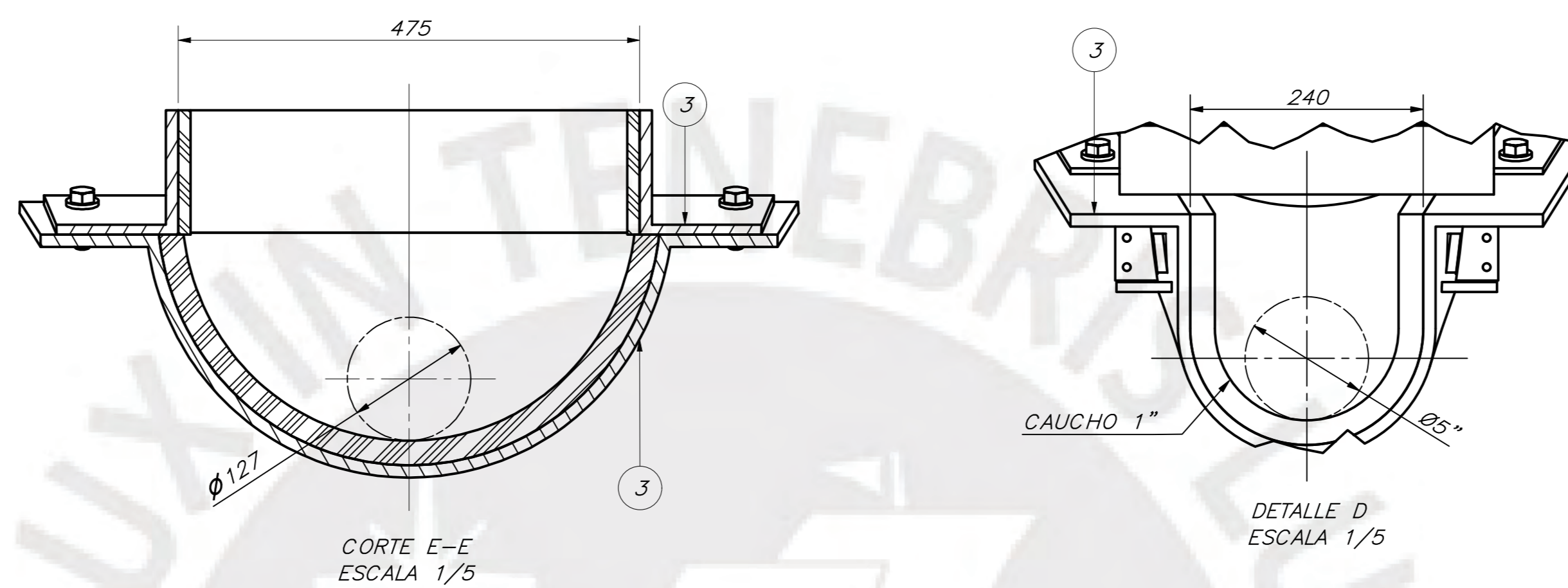
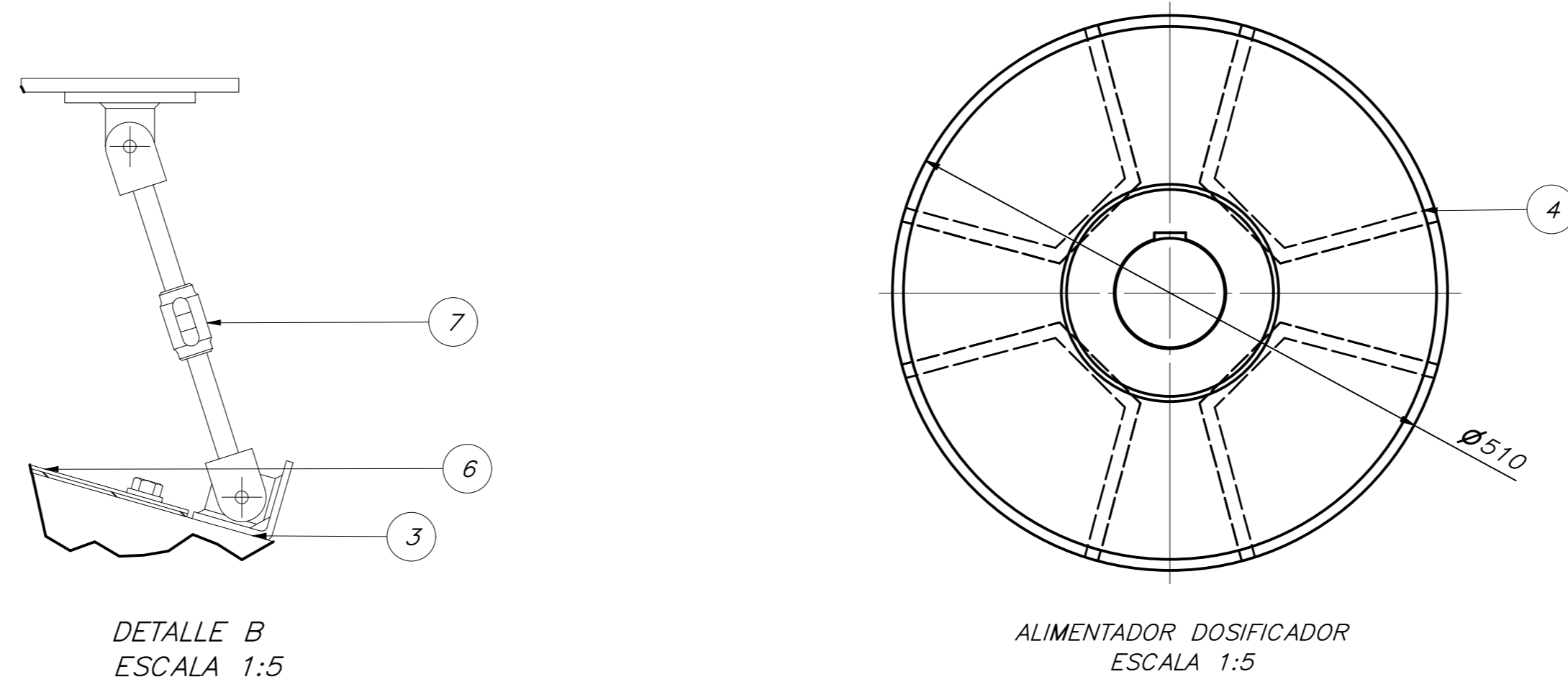
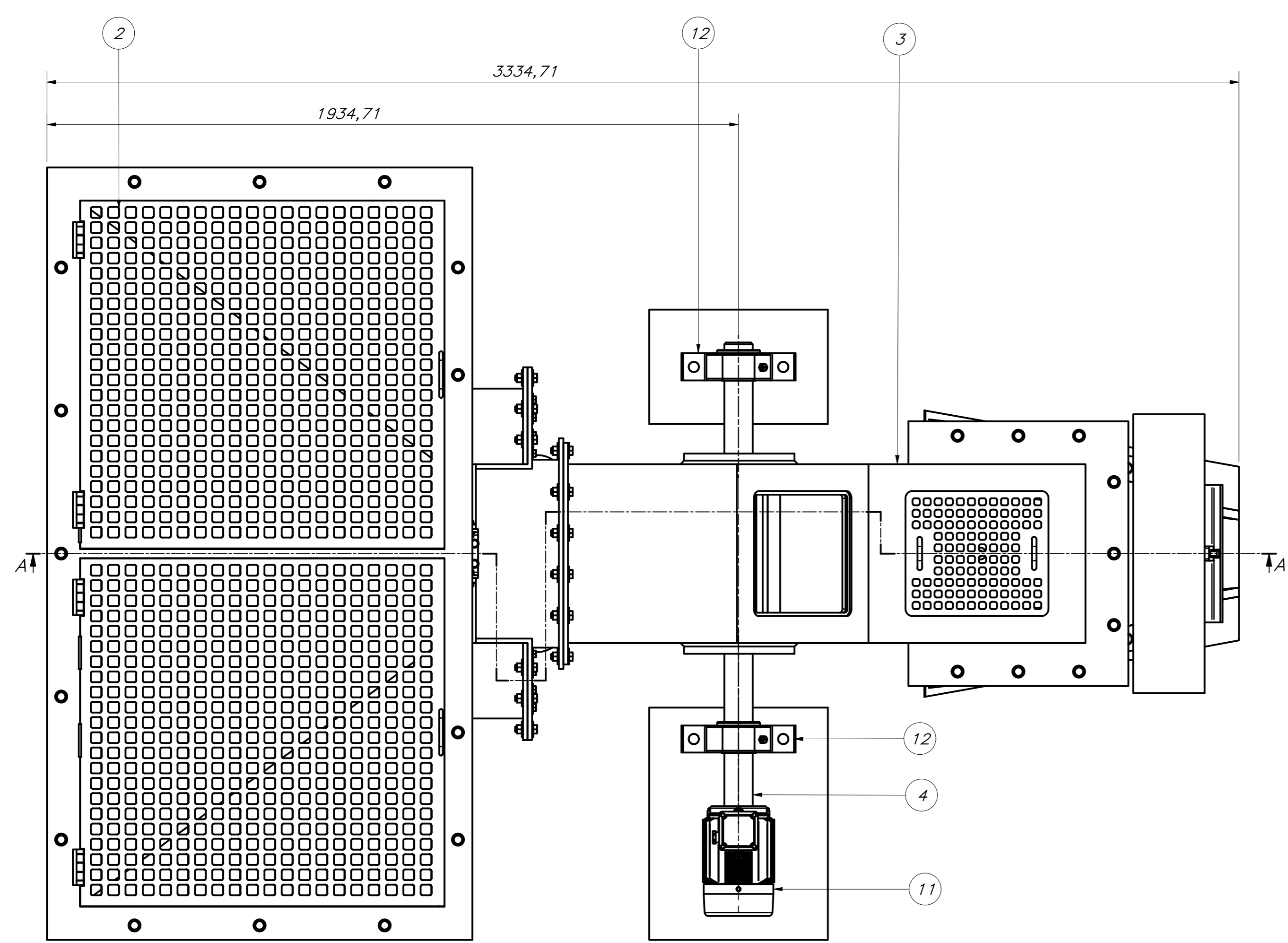
 www.fact.com



Especificaciones técnicas generales		70	80	110	185
Tamaño		70	80	110	185
Serie constructiva		Euler			
Guía		Guía de rodamiento de bolas			
Posición de montaje		Inclínate			
Carraca de calidad					
EGC...GA...GP	[mm]	50 - 3000	50 - 4500	50 - 9550	50 - 8500
Velocidad máx.	[m/s]	5			
Aceleración máx.	[m/s ²]	50			
Condiciones de funcionamiento y del entorno					
Temperatura ambiente	[°C]	-10 ... +40			
Grado de protección		IP40			
Pesos [kg]		70	80	110	185
Ejes básicos con carrera de 0,1 mm ²					
EGC...GA...GP		1,10	1,00	1,30	2,40
Peso estándar por cada 1000 mm de carrera		4,20	4,20	15,00	19,00
Masa móvil					
EGC...GA...GP		0,30	0,15	1,00	4,00
Carras adicionales					
EGC...K...KR		0,30	0,15	1,00	4,00
Unidad de bloqueo					
EGC...PL...PR		-	0,70	2,30	4,90
EGC...CH...CH		-	1,10	4,00	8,30

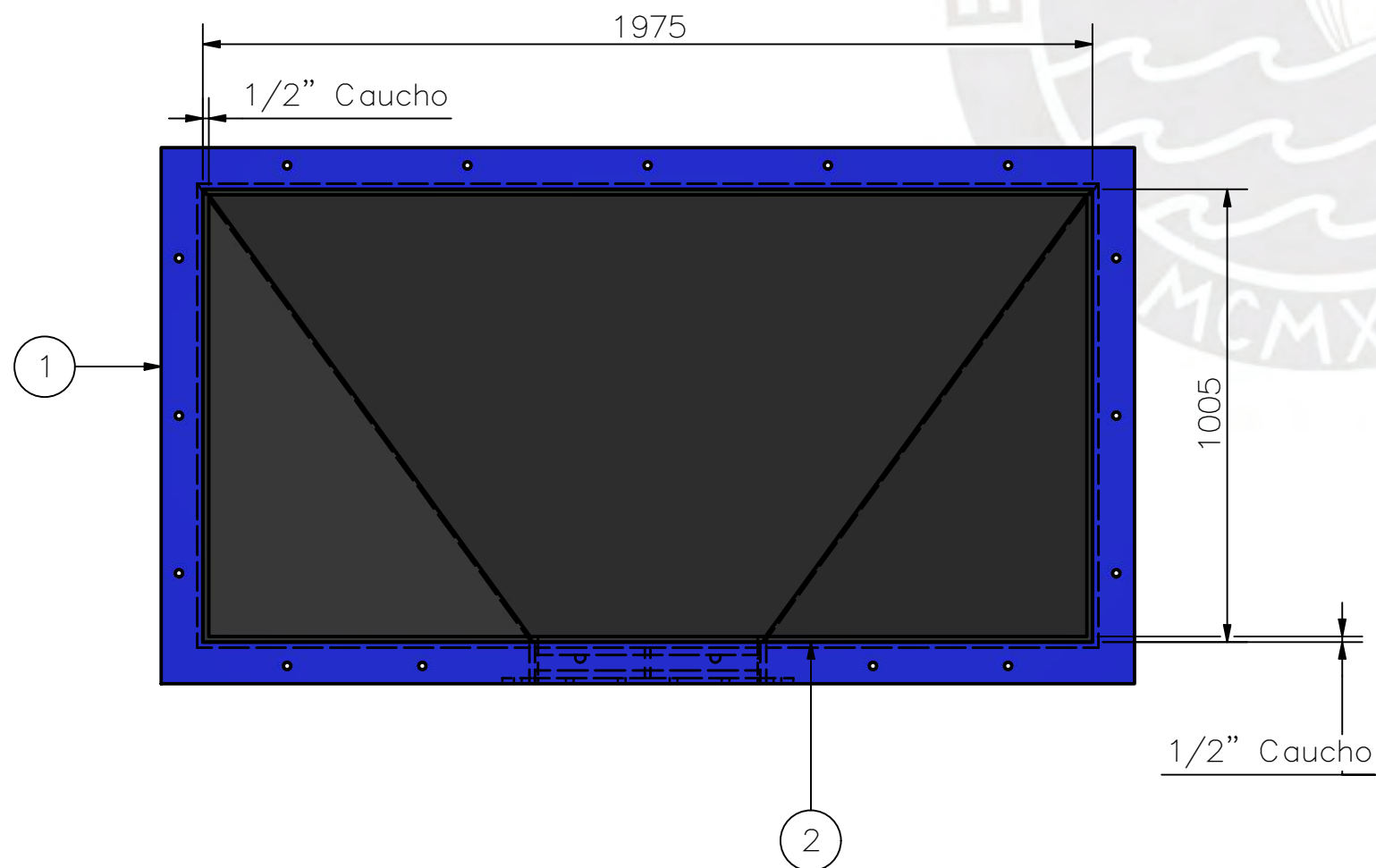
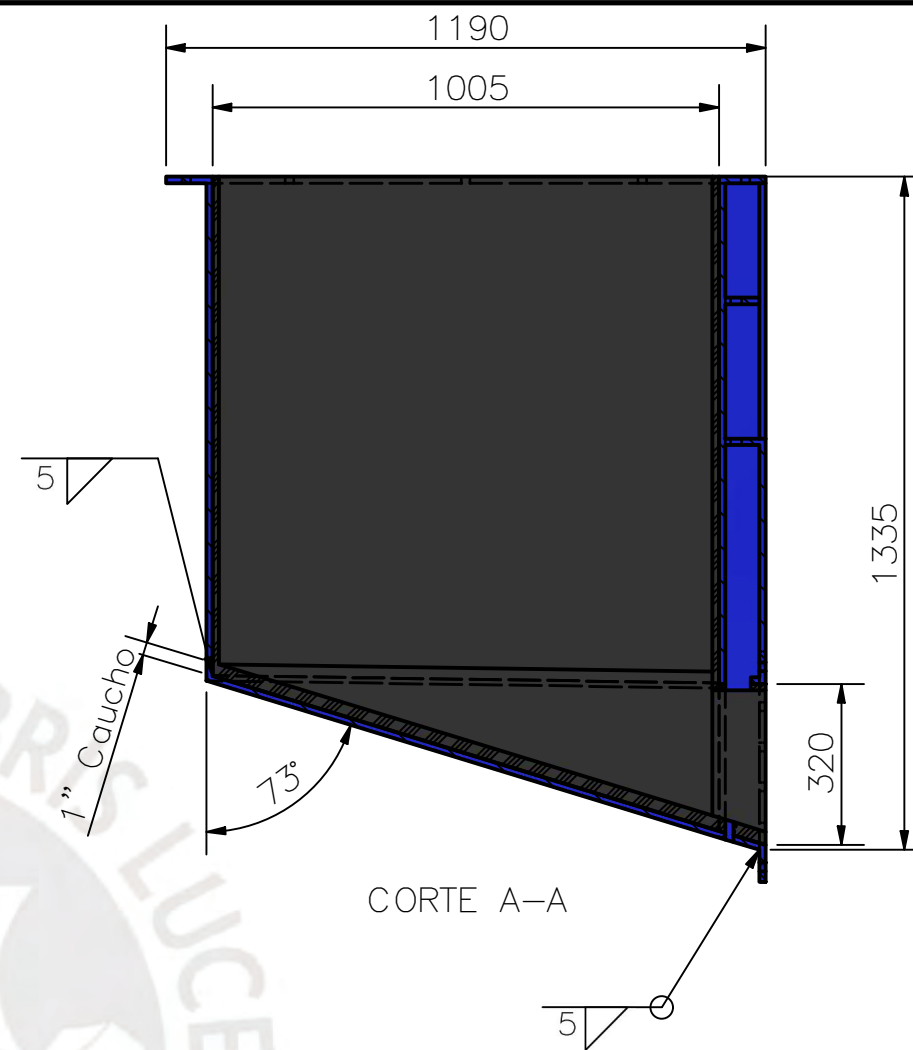
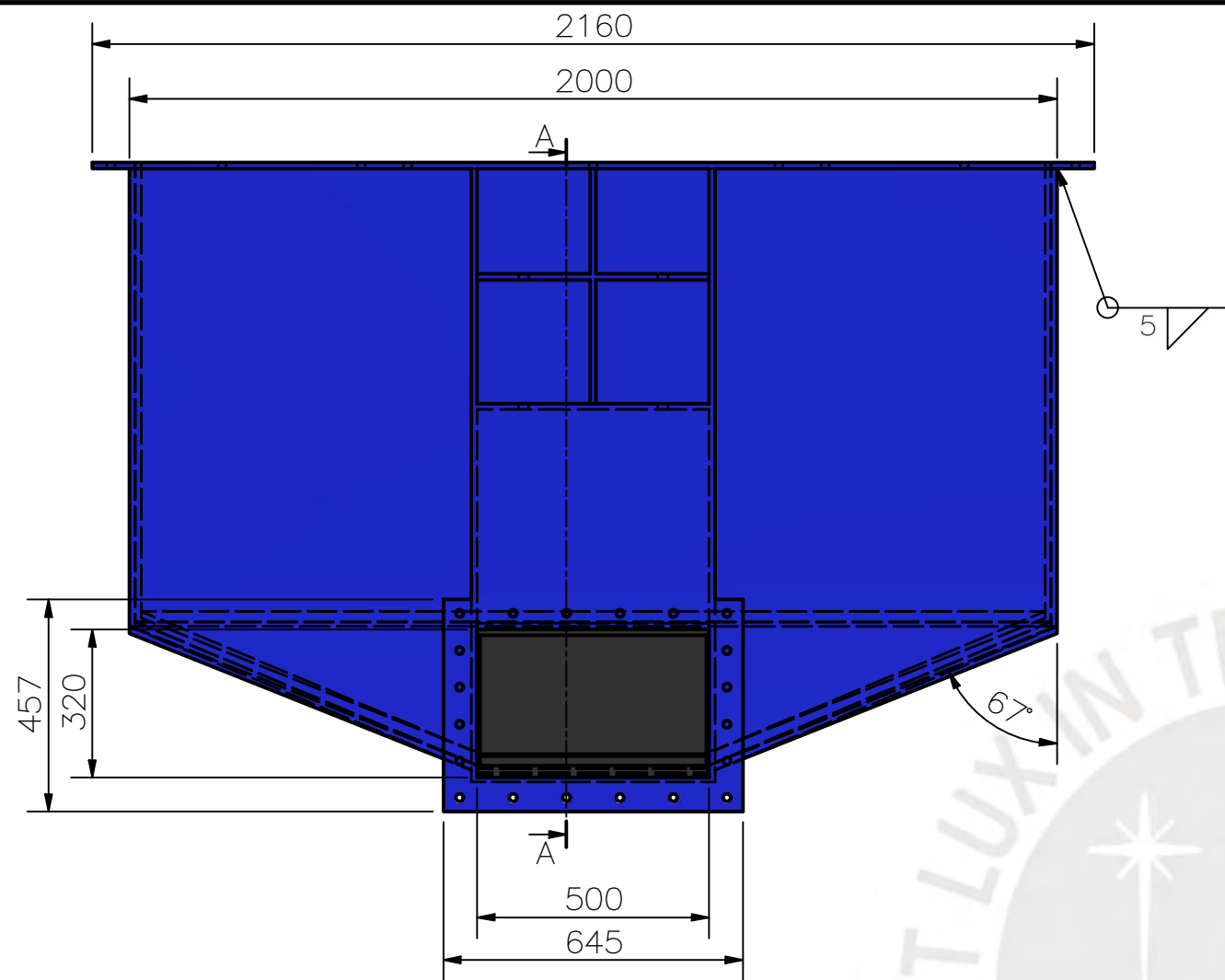
© 2014 Fact





26	1	---	HEX BOLT #16mm - 65mm - UNC	Stainless Steel, 440C	0.139 kg
25	7	---	HEX NUT #16mm - UNC	Stainless Steel, 440C	0.039 kg
24	2	---	WASHER #16mm	Stainless Steel	0.012 kg
23	8	---	HEX BOLT #12mm - 50mm - UNC	Stainless Steel, 440C	0.060 kg
22	4	---	HEX NUT #12mm - UNC	Stainless Steel, 440C	0.016 kg
21	12	---	WASHER #12mm	Stainless Steel	0.006 kg
20	16	---	HEX BOLT #1/2"-1.75" - UNC	Steel, Mir	0.141 Remoss
19	16	---	HEX NUT #1/2" - UNC	Steel, Mir	0.043 Remoss
18	32	---	WASHER #1/2"	Steel, Mir	0.038 Remoss
17	12	---	HEX BOLT #5/8"-2.5" - UNC	---	---
16	15	---	HEX BOLT #5/8"-2.25" - UNC	---	---
15	52	---	HEX BOLT #5/8"-2" - UNC	---	---
14	99	---	HEX NUT #5/8" - UNC	---	---
13	198	---	WASHER #5/8"	---	---
12	2	PF_PUCP_MA_014	CHUMACERA SKF DIA 80mm DESIGN 6416	ASTM A36	2.5 Kg.
11	1	PF_PUCP_MA_013	MOTOR ELECTRICO 0.75HP SEW 60Hz 3700rpm	---	8.2 Kg.
10	1	PF_PUCP_MA_012	SENSOR FOTOELECTRICO LPS 36 LEZLE	---	1.3 Kg.
9	1	PF_PUCP_MA_011	BASE CHUMACERA	ASTM A36	116.6 Kg.
8	1	PF_PUCP_MA_010	BASE MOTOR	ASTM A36	221.7 Kg.
7	1	PF_PUCP_MA_009	TENSOR	---	26.2 Kg.
6	1	PF_PUCP_MA_008	CUBIERTA METAL DESPLEGADO	ASTM A36	9.8 Kg.
5	1	PF_PUCP_MA_007	SUBENSAMBLE COMPLETA DE TOLVA	---	110.871 kg
4	1	PF_PUCP_MA_005	EJE MOTOR	---	62.8 Kg.
3	1	PF_PUCP_MA_003	CHUTE INTERIOR	ASTM A36 / CAUCHO	640.9 Kg.
2	1	PF_PUCP_MA_002	TAPA - BORDA	ASTM A36	47.7 Kg.
1	1	PF_PUCP_MA_001	CHUTE SUPERIOR	ASTM A36 / CAUCHO	591.1 Kg.
ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION	MATERIAL	MASS

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU		
INGENIERIA MECATRONICA		
METODO DE PROYECCION	SISTEMA ALIMENTADOR DE BOLAS	ESCALA 1/10
PE_PUCP_AD_000	GUTIERREZ BLANCO RENZO	FECHA: 2019/11/15
		LAMINA: AO

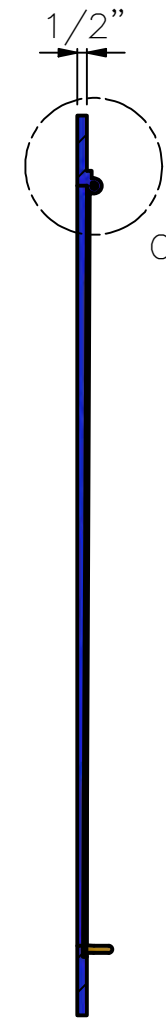
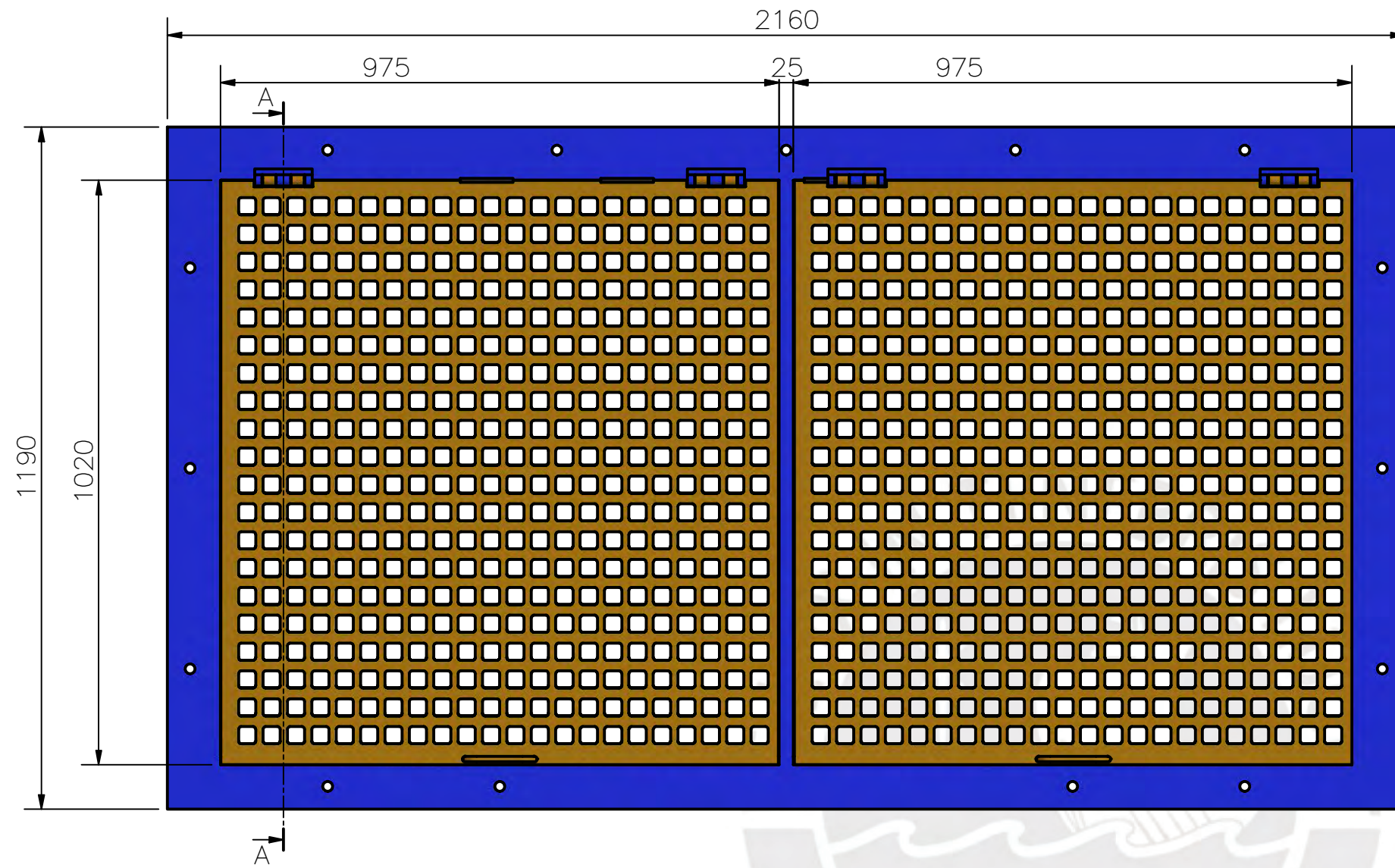


Volumen Interior:
2.2 m³

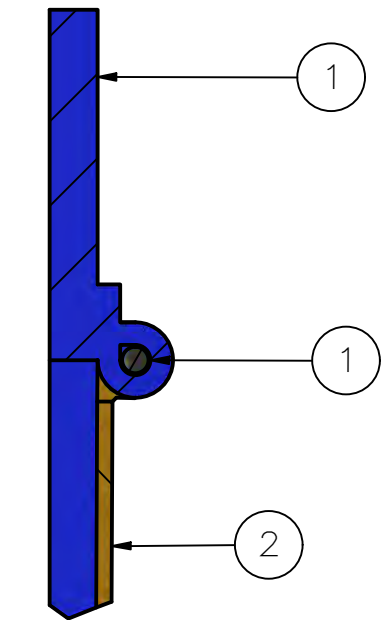
DISEÑO PRELIMINAR

ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION	MATERIAL	MASS
2	1	RG-PUCP-RUB-02	CAUCHO REVESTIDO	CAUCHO NATURAL	121.688 kg
1	1	RG-PUCP-CHU-01	TOLVA ESPESOR 1/2"	ASTM A36	964.793 kg

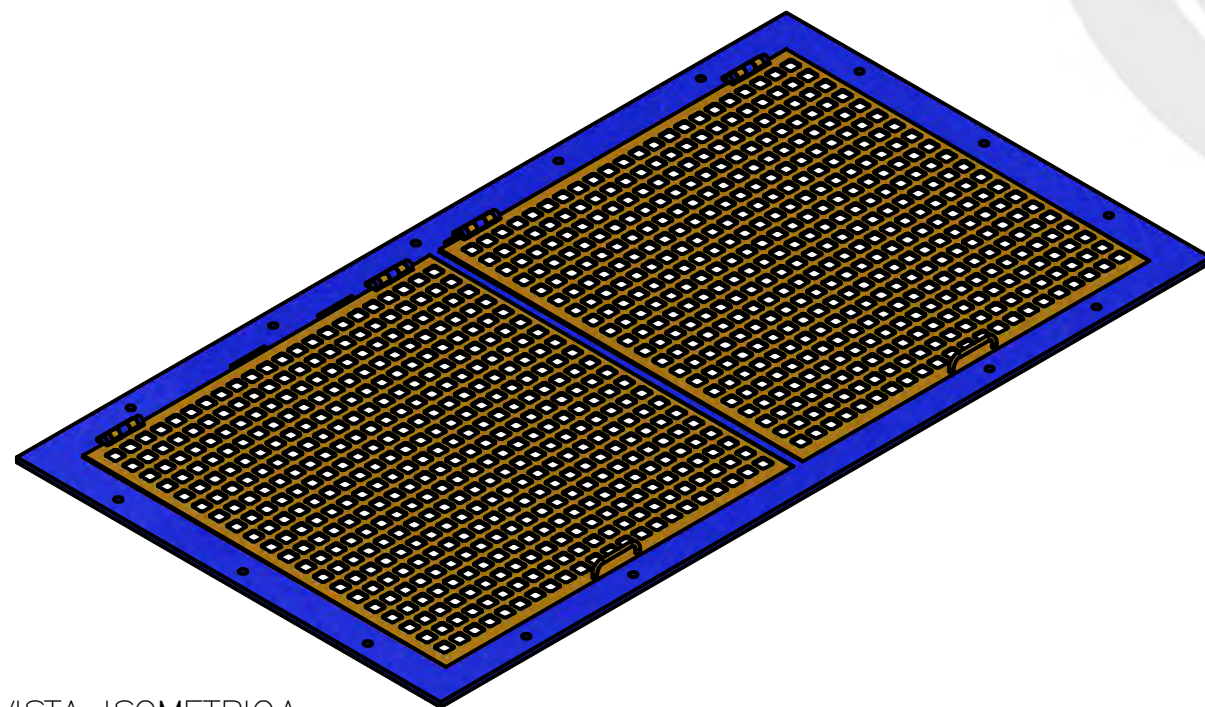
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN 	CHUTE SUPERIOR	ESCALA 1/15
PF_PUCP_A4_001		GUTIERREZ BLANCO RENZO
		FECHA: 16/02/2018
		LÁMINA: A3



CORTE A-A



DETALLE C
ESCALA 1:2



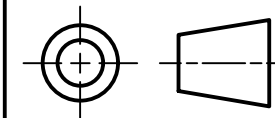
VISTA ISOMETRICA

DISEÑO PRELIMINAR

1	1	RG-PUCP-BRI-01	BRIDA PARA CHUTE SUP.	ASTM A36	60.250 kg
2	2	RG-PUCP-COM-02	REJILLA	ASTM A36	19.215 kg
3	4	RG-PUCP-PIN-03	PIN BISAGRA	ASTM A36	0.028 kg
ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION	MATERIAL	MASS

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
INGENIERÍA MECATRÓNICA

MÉTODO DE PROYECCIÓN



TAPA - BRIDA

ESCALA

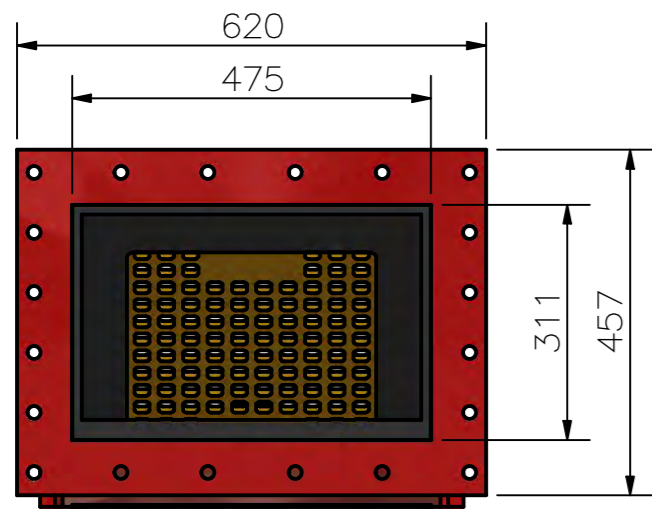
1/10

PF_PUCP_A4_002

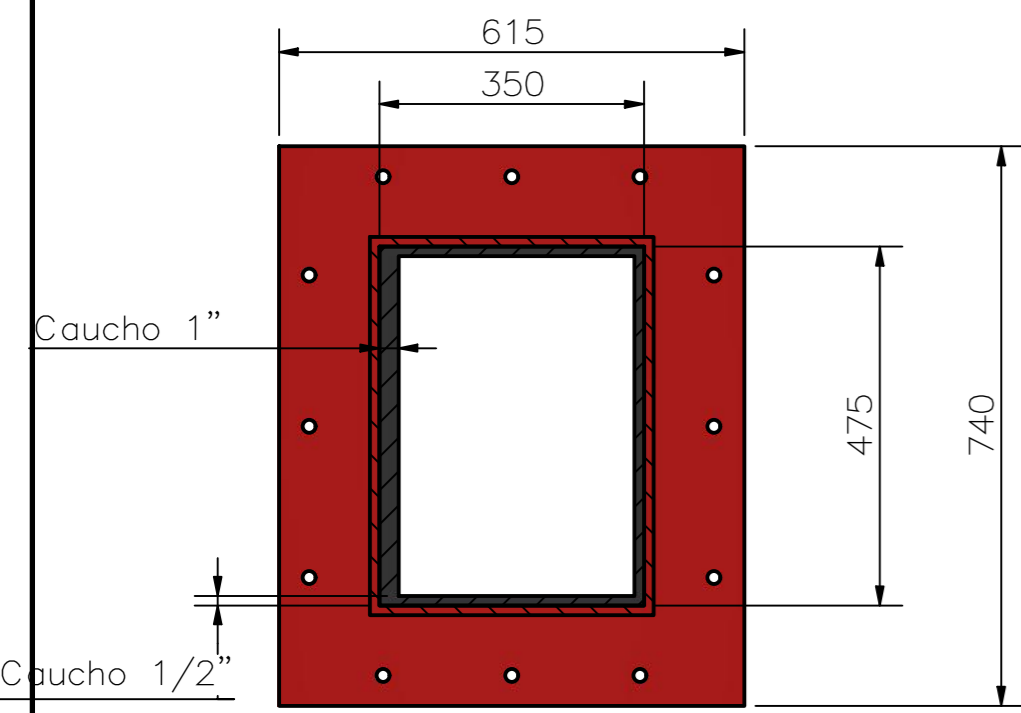
GUTIERREZ BLANCO RENZO

FECHA:
16/02/2018

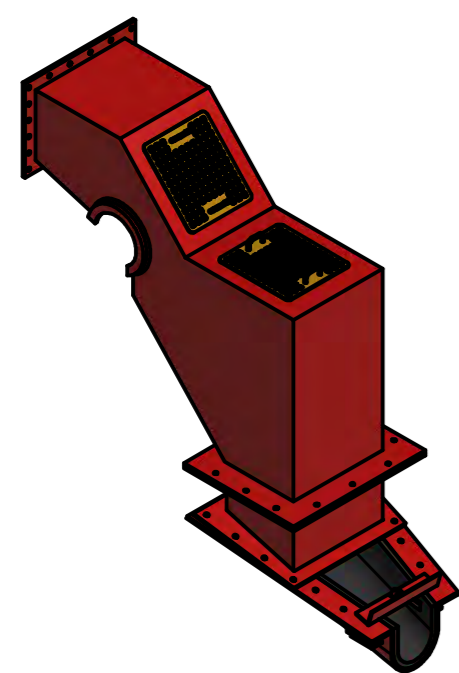
LÁMINA:
A3



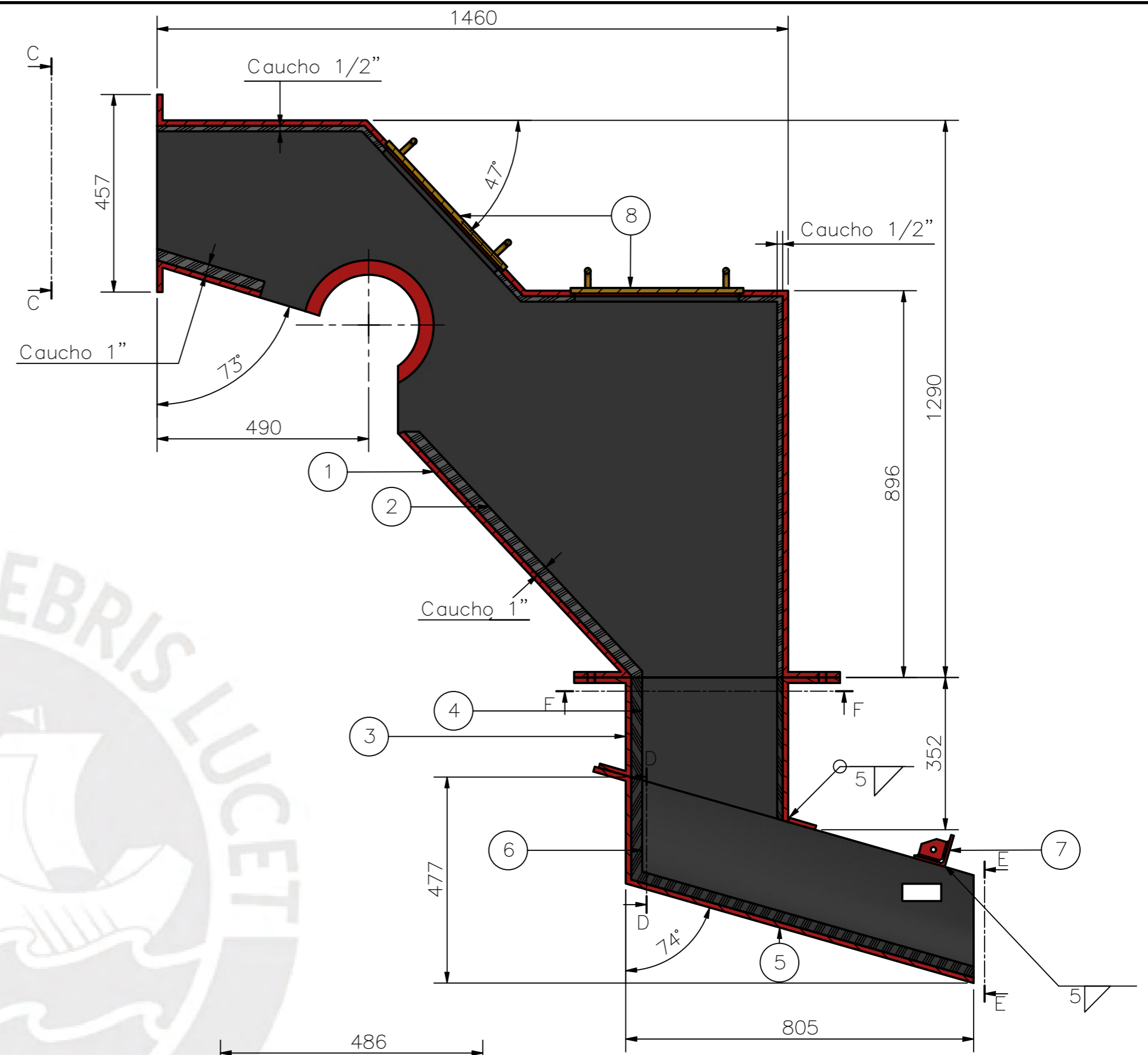
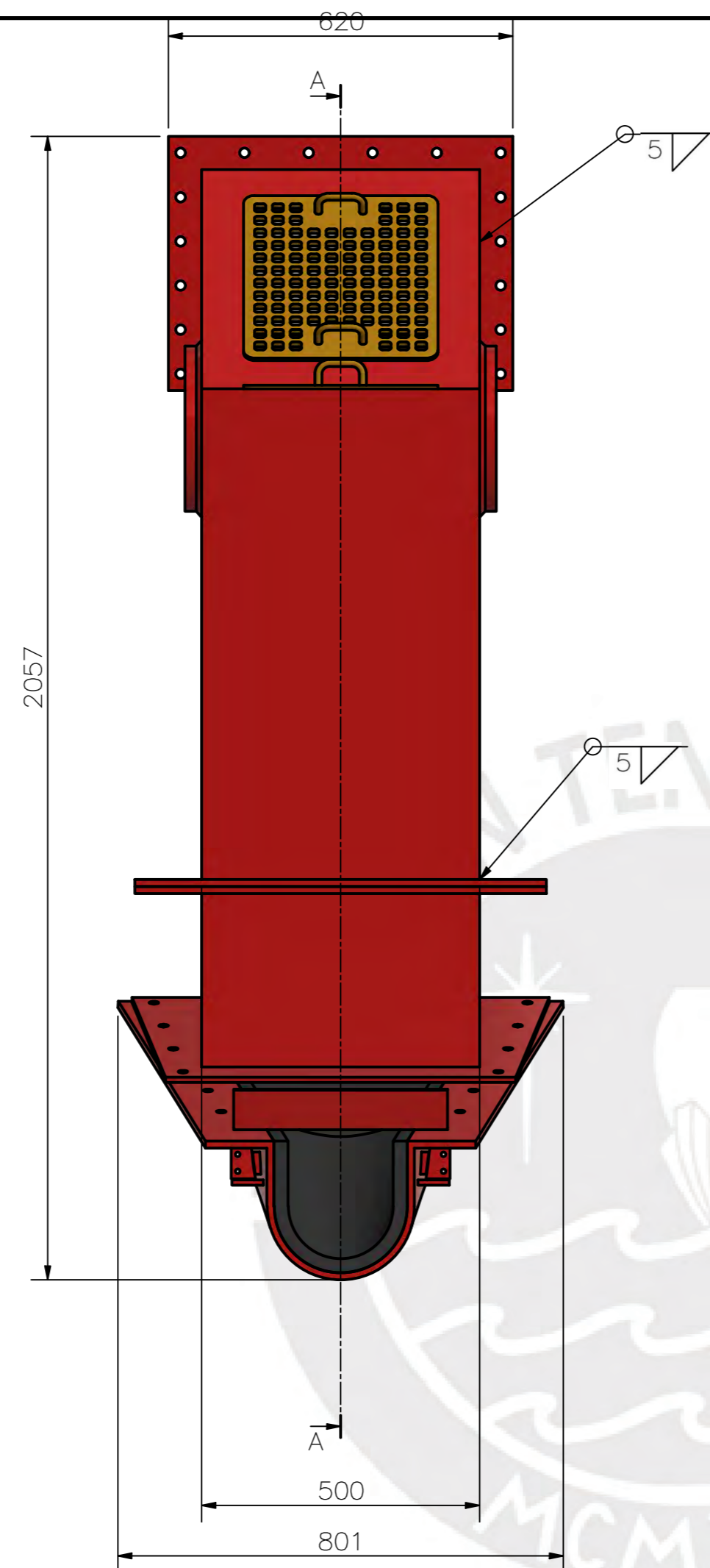
VISTA C-C



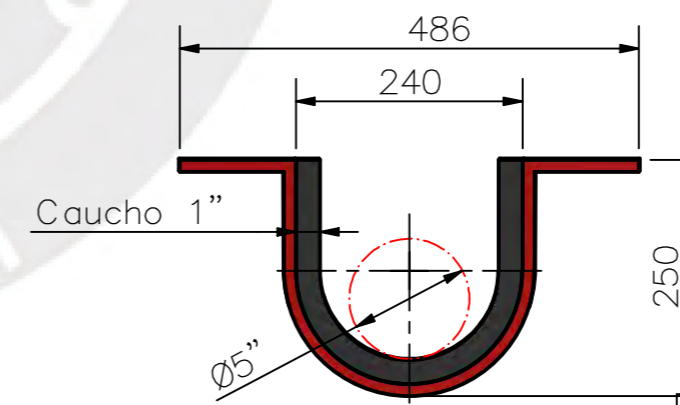
CORTE F-F



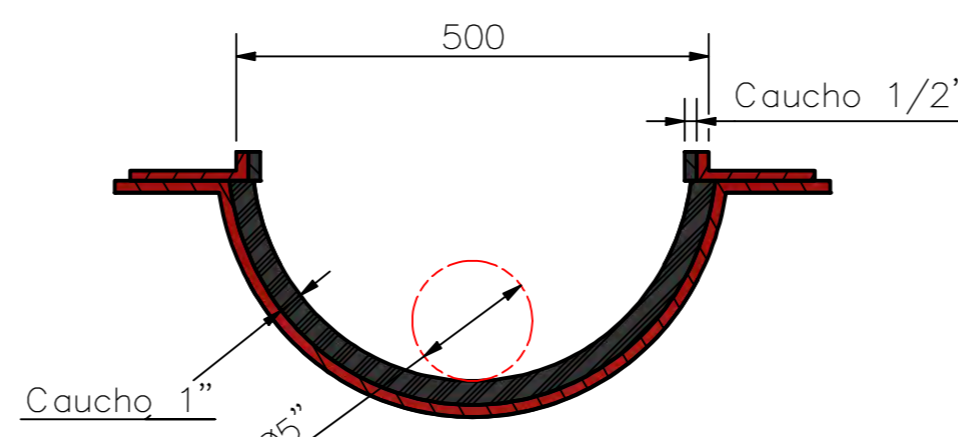
VISTA ISOMETRICA



CORTE A-A



VISTA E-E



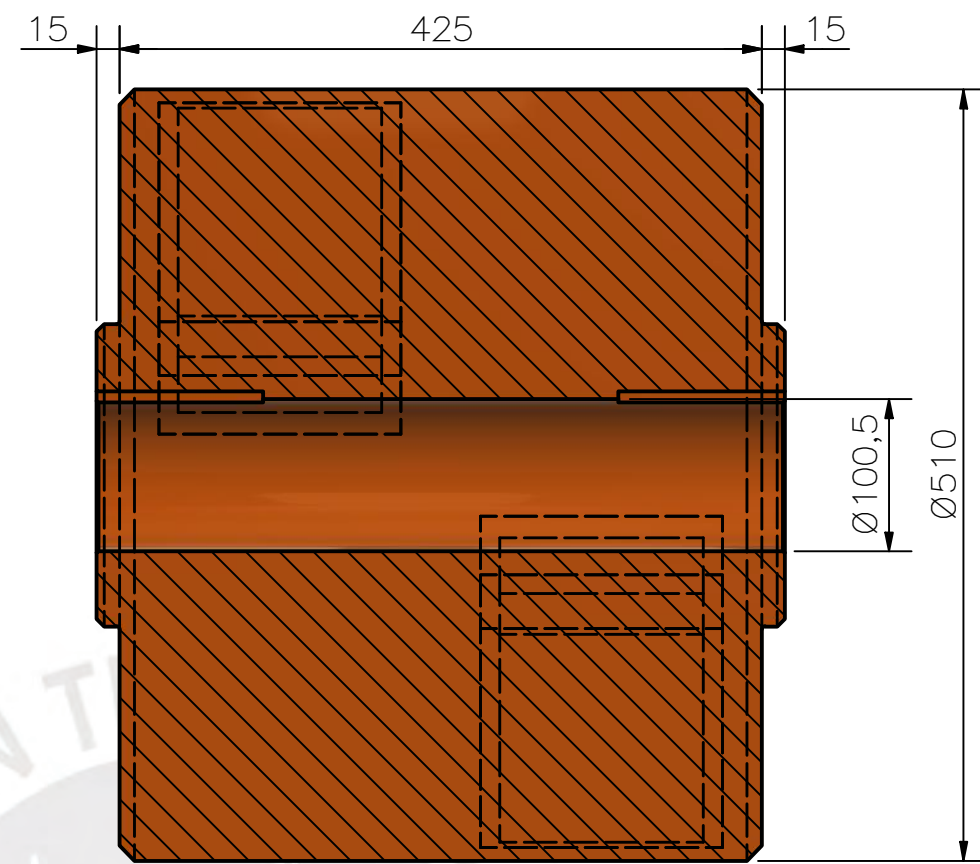
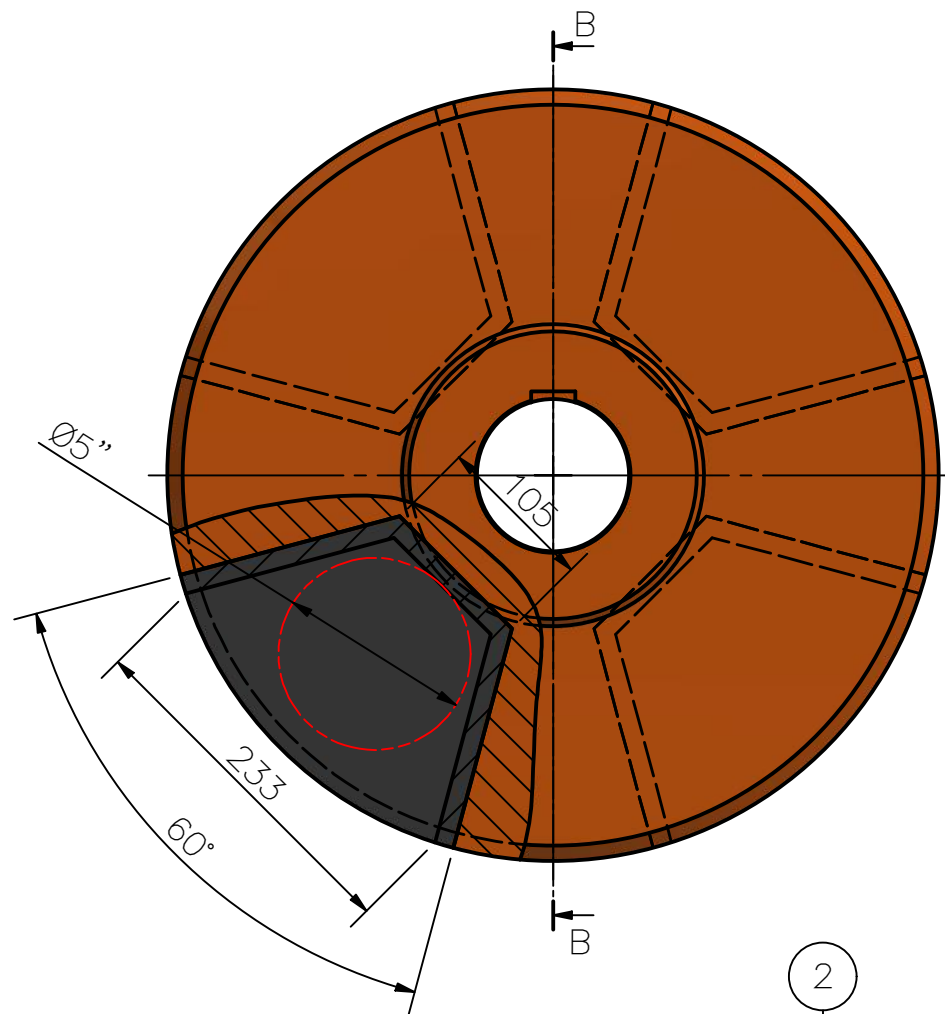
CORTE D-D

DISEÑO PRELIMINAR

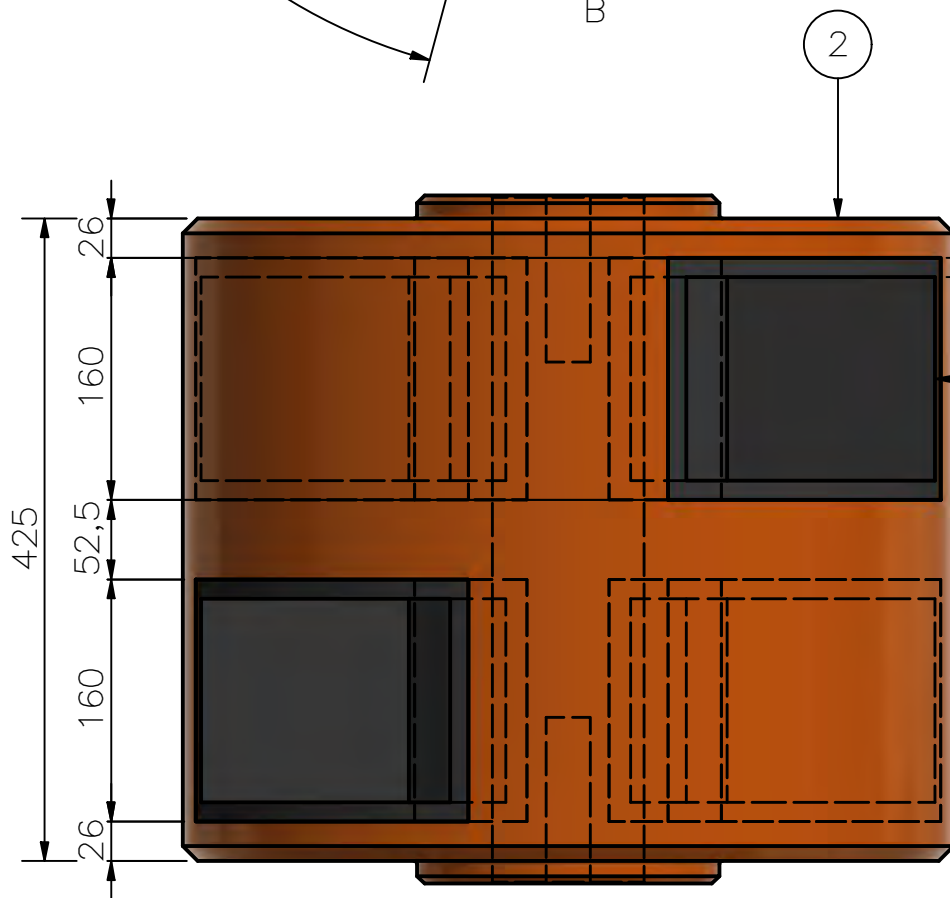
ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION	MATERIAL	MASS
8	2	RG-PUCP-COM1-03	REJILLA ESPESOR 1/2"	ASTM A36	10.282 kg
7	1	RG-PUCP-ANG-03	ANGULO TENSOR	ASTM A36	3.024 kg
6	1	RG-PUCP-RUB3-03	CAUCHO REVESTIDO #3	CAUCHO	13.891 kg
5	1	RG-PUCP-CHU3-03	CHUTE INF. #3 ESPESOR 1/2"	ASTM A36	91.143 kg
4	1	RG-PUCP-RUB2-03	CAUCHO REVESTIDO #2	CAUCHO	6.541 kg
3	1	RG-PUCP-CHU2-03	CHUTE INF. #2 ESPESOR 1/2"	ASTM A36	86.563 kg
2	1	RG-PUCP-RUB1-03	CAUCHO REVESTIDO #1	CAUCHO	41.279 kg
1	1	RG-PUCP-CHU1-03	CHUTE INF. #1 ESPESOR 1/2"	ASTM A36	362.566 kg

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
INGENIERÍA MECATRÓNICA

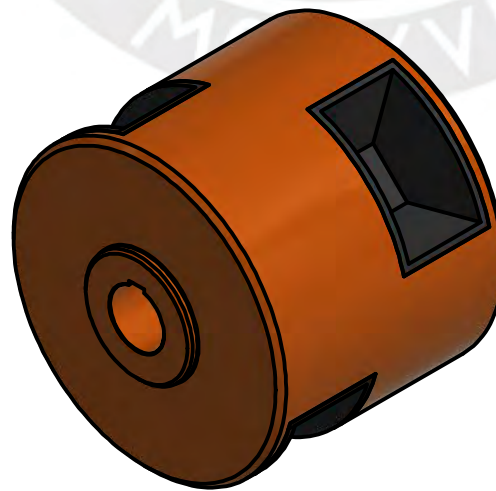
MÉTODO DE PROYECCIÓN	ESCALA
	1/10
PF_PUCP_A4_003	GUTIERREZ BLANCO RENZO
	FECHA: 16/02/2018
	LÁMINA: A3



CORTE B-B



Caucho 1/2"



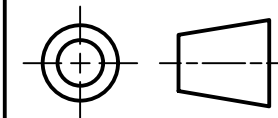
VISTA ISOMETRICA

DISEÑO PRELIMINAR

2	1	RG-PUCP-DOS-04	DOSIFICADOR DE 4 BOLAS	ASTM A36	511.883 kg
1	1	RG-PUCP-RUB-04	CAUCHO REVESTIDO	CAUCHO	5.247 kg
ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION	MATERIAL	MASS

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
INGENIERÍA MECATRÓNICA

MÉTODO DE PROYECCIÓN



DOSIFICADOR
ALIMENTADOR

ESCALA

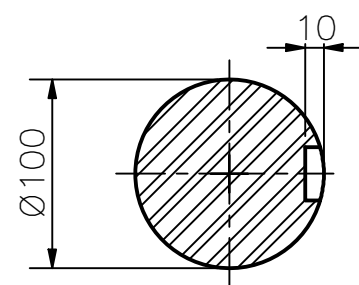
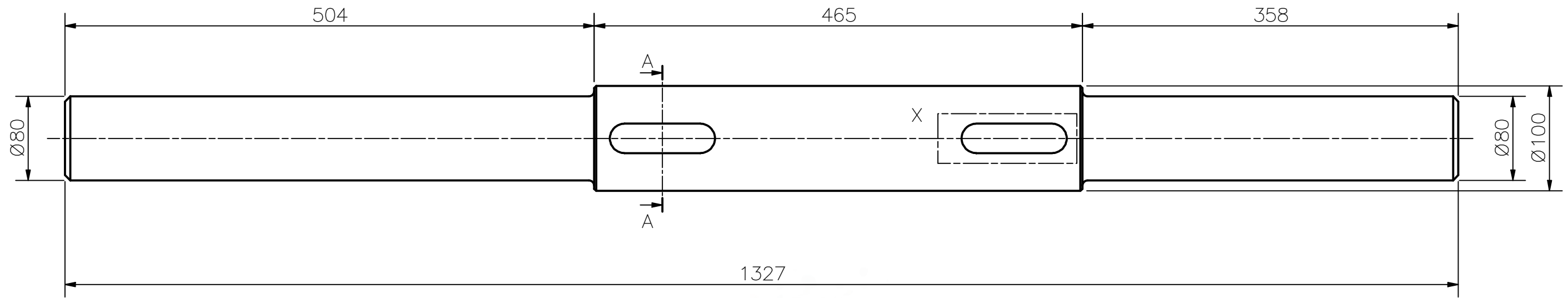
1/5

PF_PUCP_A4_004

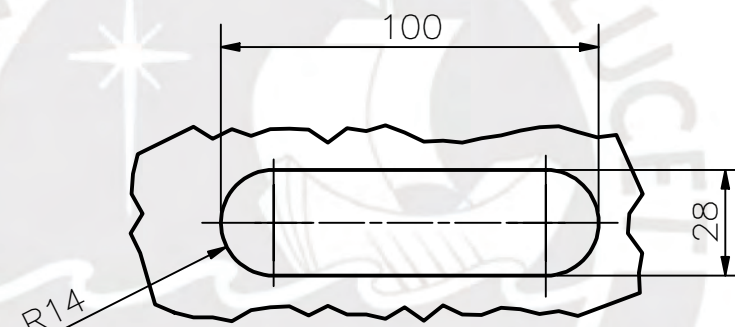
GUTIERREZ BLANCO RENZO

FECHA:
16/02/2018

LÁMINA:
A3

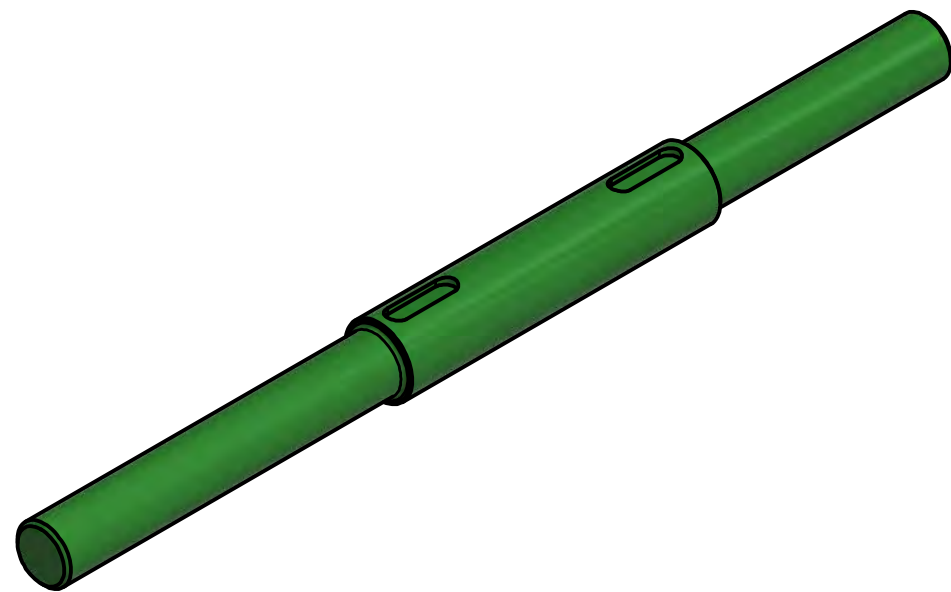


CORTE A-A



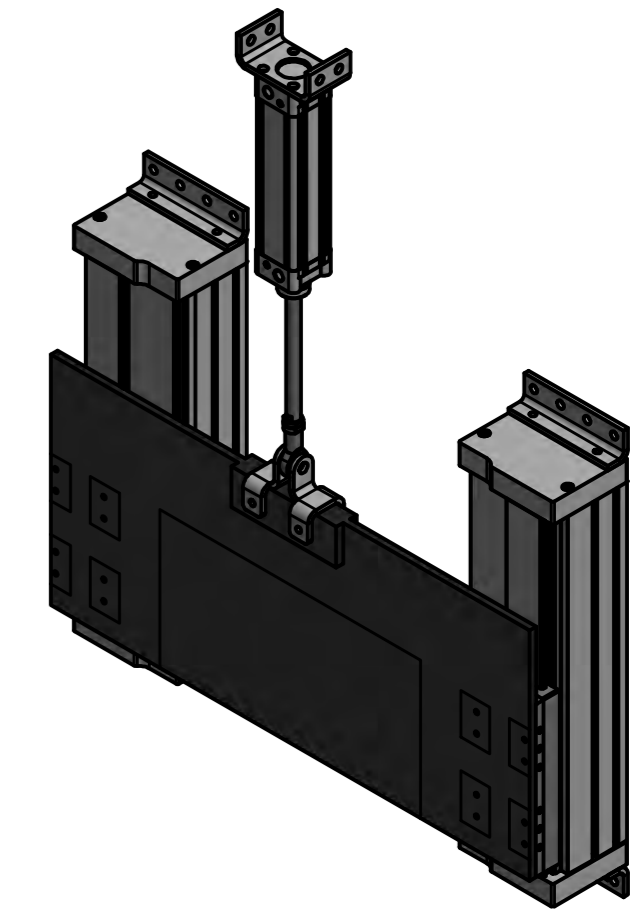
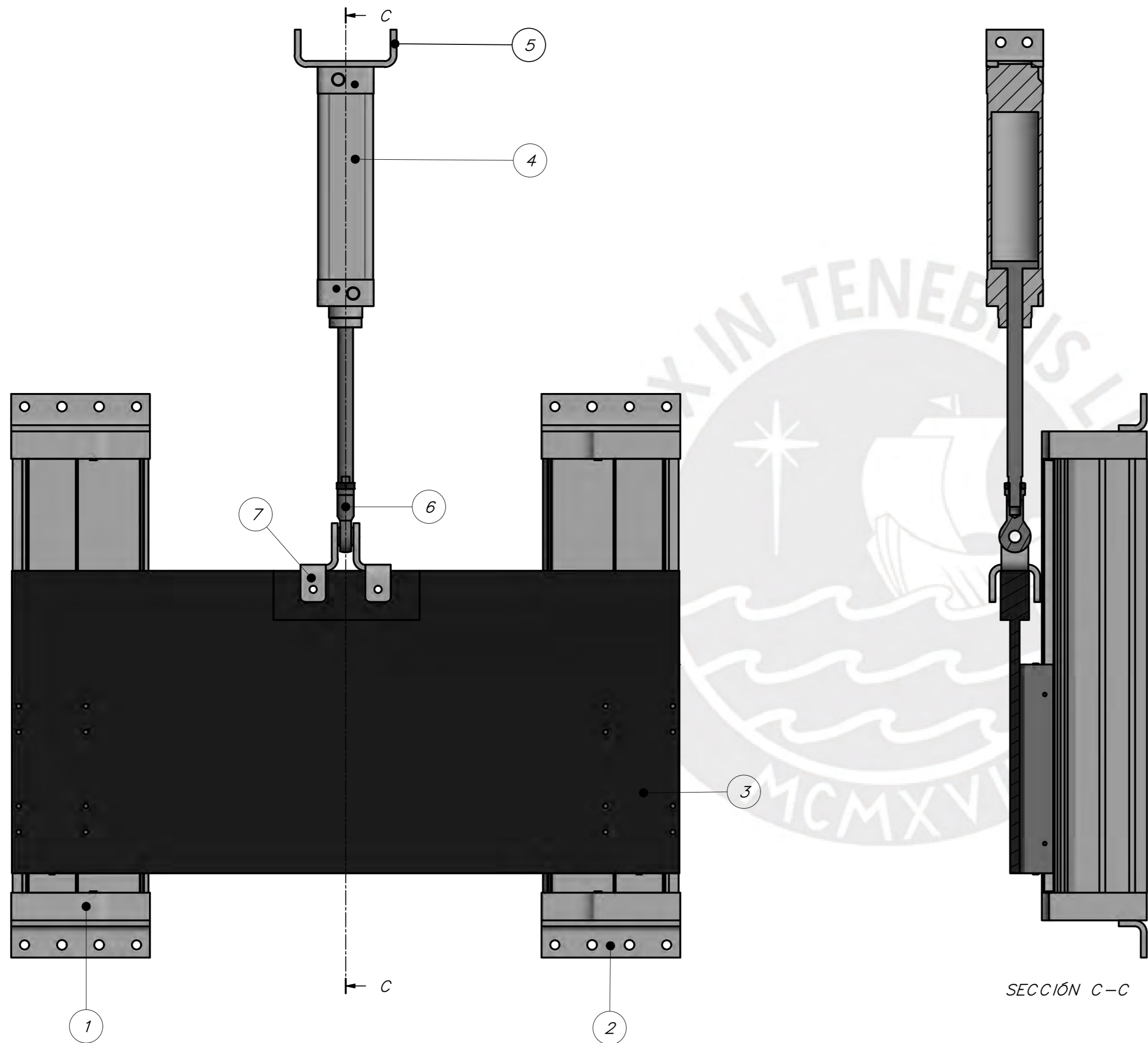
DETALLE X
ESCALA 1 : 2

VISTA ISOMETRICA



DISEÑO PRELIMINAR

1	1	RG-PUCP-EJE-05	EJE MOTRIZ	Acero	62.259 kg
ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION	MATERIAL	MASS
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ INGENIERÍA MECATRÓNICA					
MÉTODO DE PROYECCIÓN			EJE MOTRIZ	ESCALA	
				1/4	
RG-PUCP-CB-005			GUTIERREZ BLANCO RENZO	FECHA: 16/02/2018	
				LÁMINA: A3	

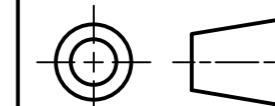


VISTA ISOMETRICA

7	2	ACOPLE ACTUADOR-COMPUERTA	PLANCHA CON ESPESOR DE 8mm	ASTM A36	0.053 kg
6	1	ROD EYE	9263 SGS-M16x1,5	ACERO GALVANIZADO	0.261 kg
5	1	SOPORTE ACTUADOR	SOPORTE DE FESTO DNC-63-200-PPV-A, ISO 15552	ACERO GALVANIZADO	0.106 kg
4	1	ACTUADOR NEUMÁTICO	FESTO DNC-63-200-PPV-A, ISO 15552		1.7 kg
3	1	COMPUERTA	PLANCHA CON ESPESOR DE 1/2"	ASTM A36	40 kg
2	4	SOPORTE RIEL GUÍA	SOPORTE DE FESTO EGC-FA tamaño 185	ACERO GALVANIZADO	0.105 kg
1	2	RIEL GUÍA	FESTO EGC-FA tamaño 185		20.8 kg
ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION	MATERIAL	MASS

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
INGENIERÍA MECATRÓNICA

MÉTODO DE PROYECCIÓN



SUBENSAMBLE
COMPUERTA DE TOLVA

ESCALA

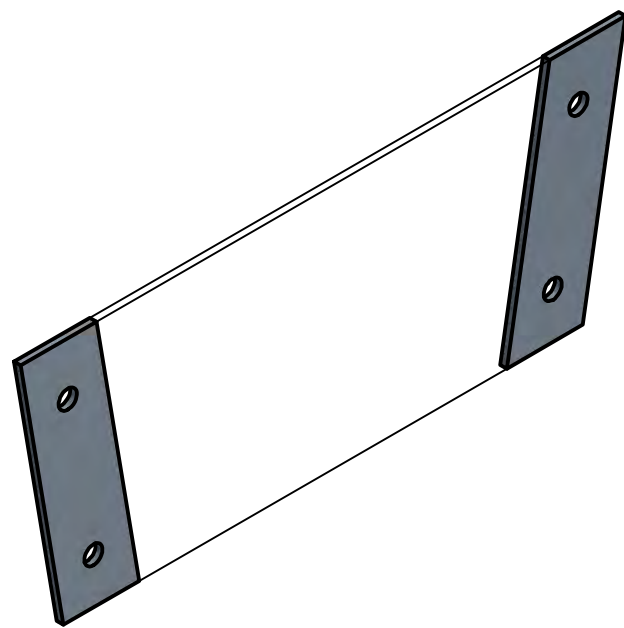
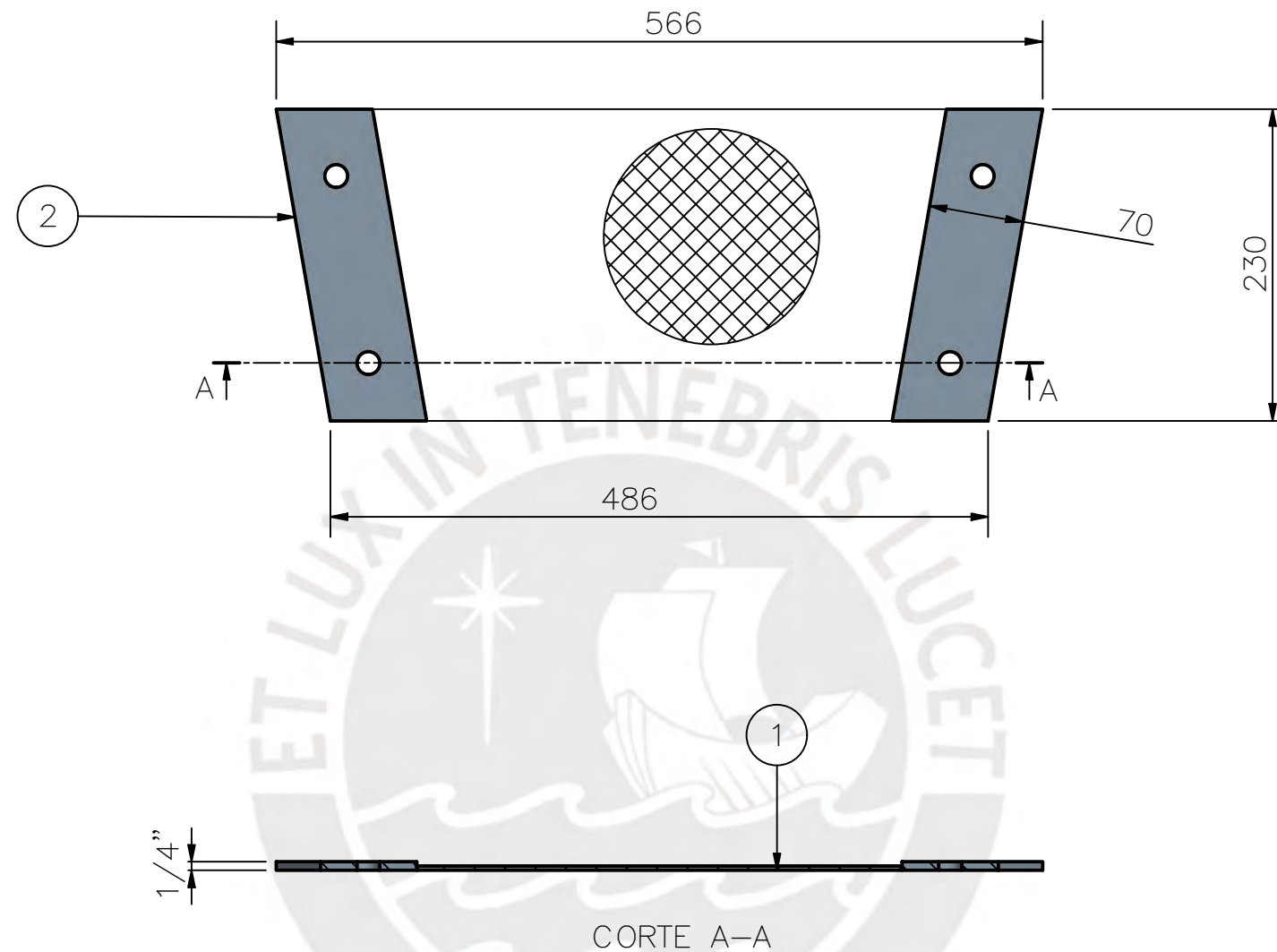
1/5

PF_PUCP_A4_007

GUTIERREZ BLANCO RENZO

FECHA:
16/02/2018

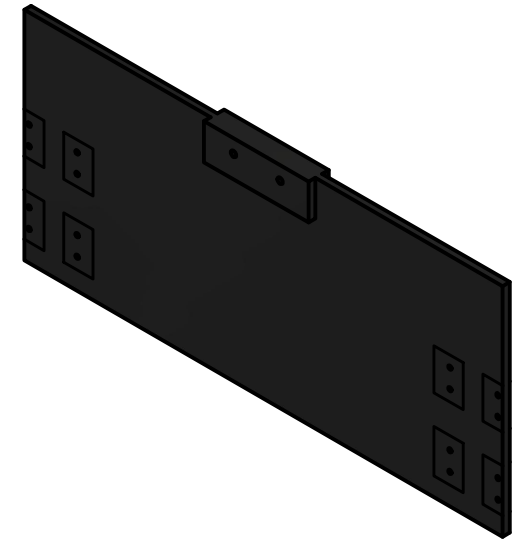
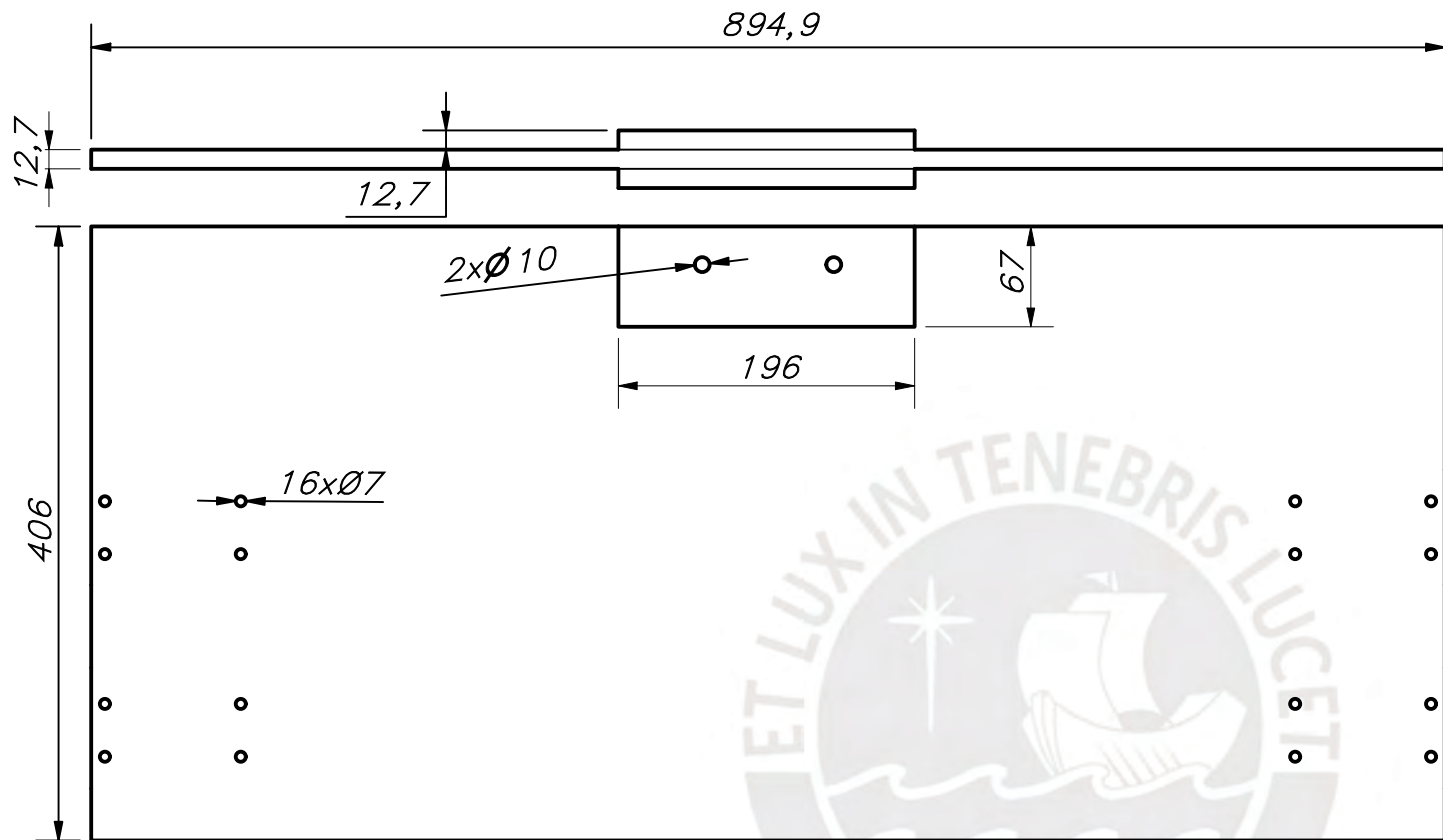
LÁMINA:
A2



VISTA ISOMETRICA

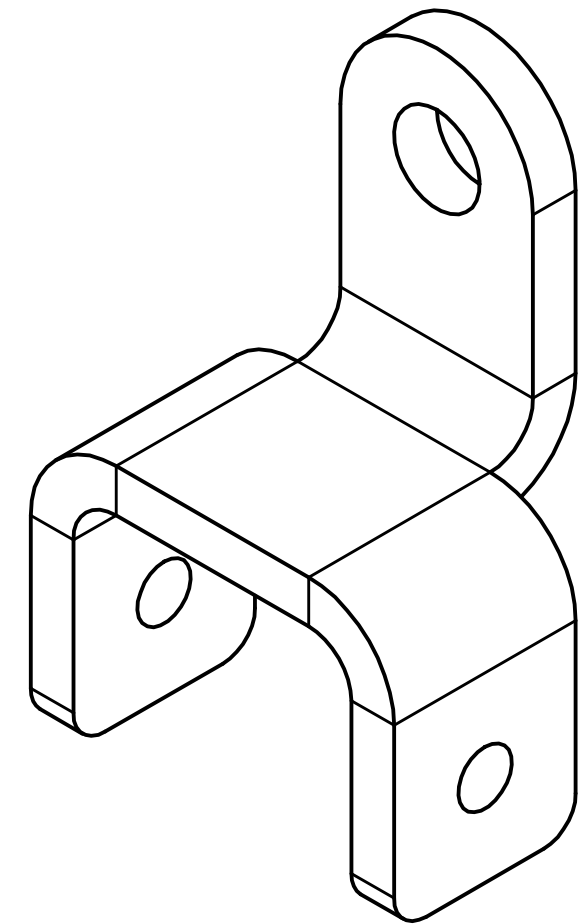
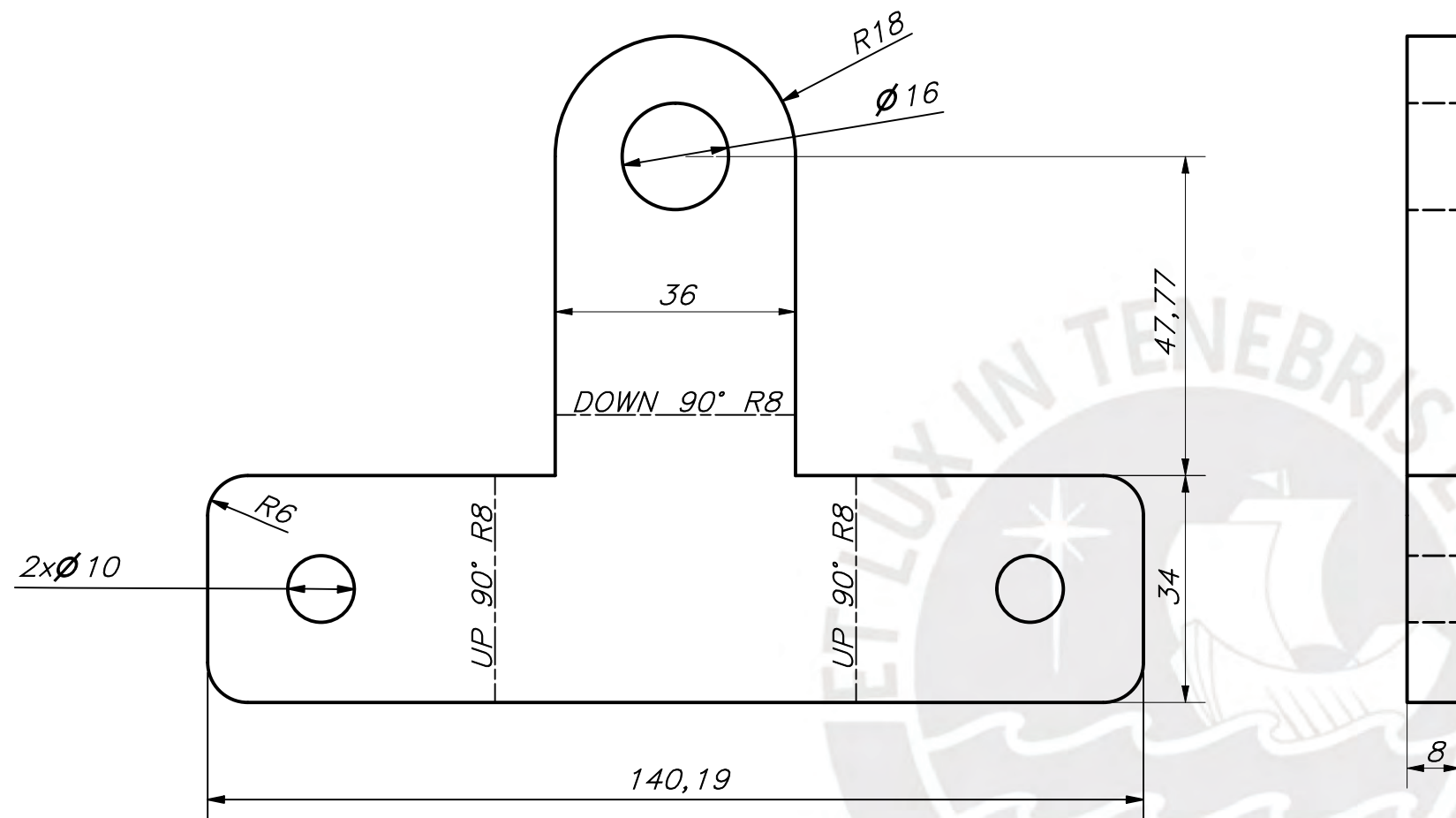
DISEÑO PRELIMINAR

2	1	RG-PUCP-BRI-08	BRIDA PLACA	ASTM A36	1.584 kg
1	1	RG-PUCP-MAL-08	ACRILICO DESPLEGADO	--	--
ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION	MATERIAL	MASS
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ INGENIERÍA MECATRÓNICA					
MÉTODO DE PROYECCIÓN			CUBIERTA METAL DESPLEGADO	ESCALA	
				1/5	
PF_PUCP_A4_008			GUTIERREZ BLANCO RENZO	FECHA: 16/02/2018	
				LÁMINA: A3	



VISTA ISOMETRICA

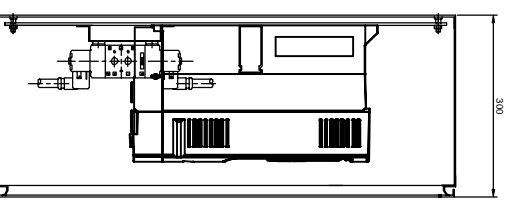
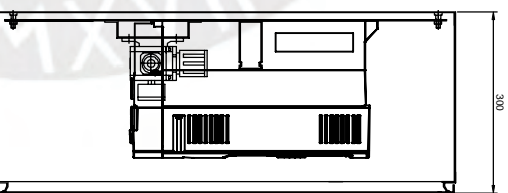
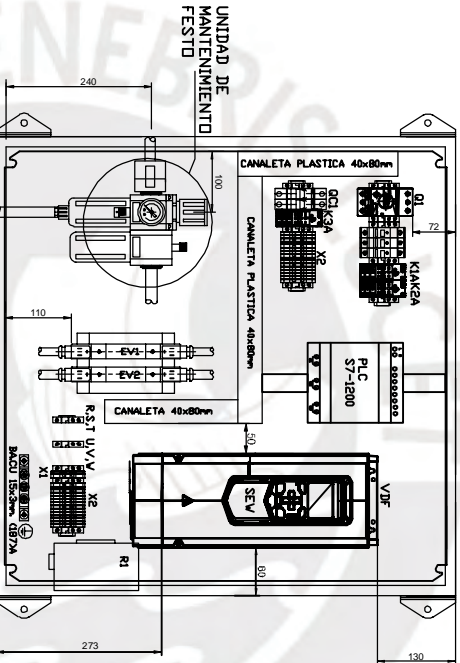
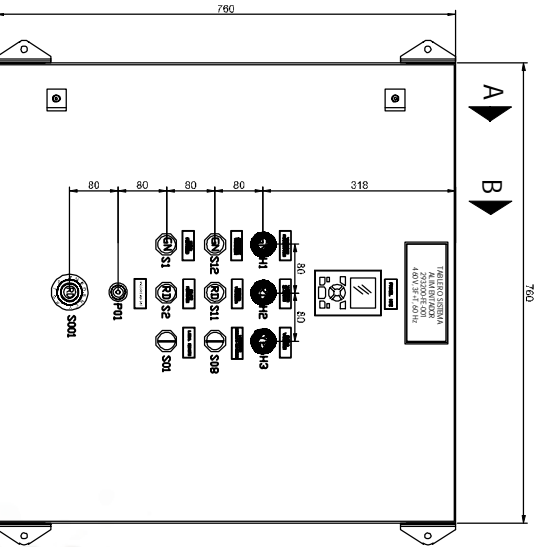
1	1	COMPUERTA	PLANCHA DE 1/2" DE ESPESOR CON REFUERZOS	ASTM A36	40 kg
ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION	MATERIAL	MASS
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ INGENIERÍA MECATRÓNICA					
MÉTODO DE PROYECCIÓN			COMPUERTA	ESCALA	
				1/5	
RG-PUCP-CB-016			GUTIERREZ BLANCO RENZO		FECHA: 16/02/2018
				LÁMINA: A4	



VISTA ISOMETRICA

1	2	ACOPLE ACTUADOR-COMPUERTA	PLANCHA CON ESPESOR DE 8 mm	ASTM A36	0.053 kg
ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION	MATERIAL	MASS
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ INGENIERÍA MECATRÓNICA					
MÉTODO DE PROYECCIÓN		ACOPLE ACTUADOR-COMPUERTA			ESCALA 1/1
		RG-PUCP-CB-017			FECHA: 16/02/2018
		GUTIERREZ BLANCO RENZO			LÁMINA: A3

1	2	3	4	5	6	7	8
ALIMENTACION		PLC		PANEL VIEW		ALIMENTACION	
CIRCUITO CONTROL						SENSORES	



VISTA FRONTAL

VISTA FRONTAL S/PUERTA

CORTE A-A

CORTE B-B

NOTAS:

1 Grado de protección NEMA 4X/176
-Cableado blanco RITRAL

2 CABLE DE CONTROL: Libre halógeno NH-0
Cableado de Control (L) 480VAC Rspn: 14AWG
Cableado de Control (N) 250V/110VAC: Aluminio: 16AWG
Tipo Principal: Verde: 14AWG

3 ROLLADO:
-Rodillos Aluminio e/ adhesivo posterior
-Rodillos de equipos e/ papel autoadhesivo
-Cables rollados con funda empujante
EMBALAJE:
-Carbon, plastico.

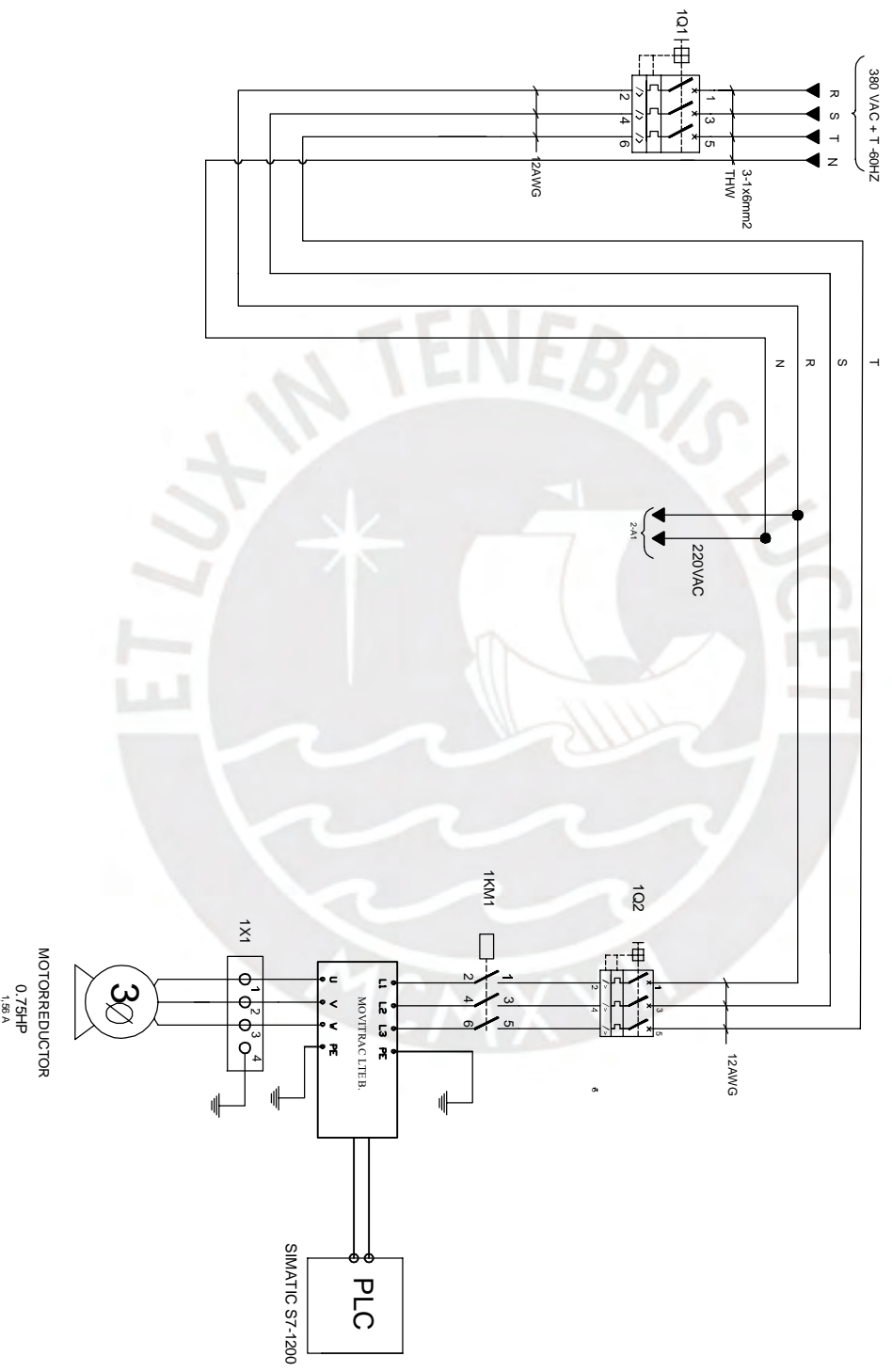
REVISION		FECHA		NOMBRE		FRMA		FECHA		SUPERVISION		ESC:		HOLA:		SIGUE:		TOTAL:		REV:
1	A	PARA REVISION	DESCRIPCION DE REVISION	FECHA	DIBUJO	R.GUTIERREZ		08/11/19					1:1	M4	005			5		A

PLANO: SISTEMA ALIMENTADOR ESQUEMA

ELECTRICO

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU
TRABAJO DE FIN DE CARRERA SISTEMA ALIMENTADOR
ESQUEMA CONTROL GENERAL
TABLERO DE CONTROL Y FUERZA

1	2	3	4	5	6	7	8
INTERRUPTOR PRINCIPAL	ALIMENTACION AC MONOFASICA	MOTOR					



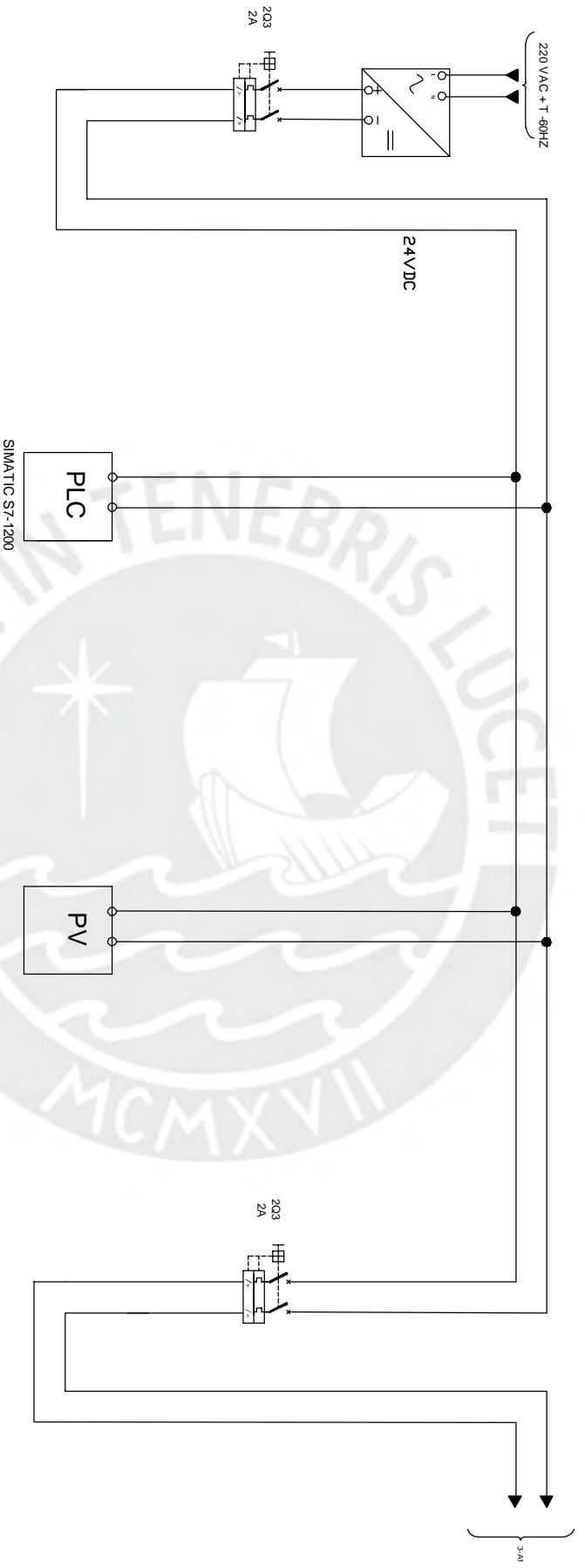
REVISION	FECHA	APROBADO	REVISADO	DIBUJO	NOBRE	FIRMA	FECHA	ESPECIFICACIONES	REVISIONES	TOTAL	REV.
1	08/11/19	J.PORTELLA	R.GUTIERREZ	R.GUTIERREZ						4	A
A	08/11/19	J.PORTELLA	R.GUTIERREZ	R.GUTIERREZ							

PLANO SISTEMA ALIMENTADOR ESQUEMA ELECTRICO

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU
 TRABAJO DE FIN DE CARRERA SISTEMA ALIMENTADOR
 ESQUEMA FUERZA ARRANQUE MOTOR
 TABLERO DE CONTROL Y FUERZA

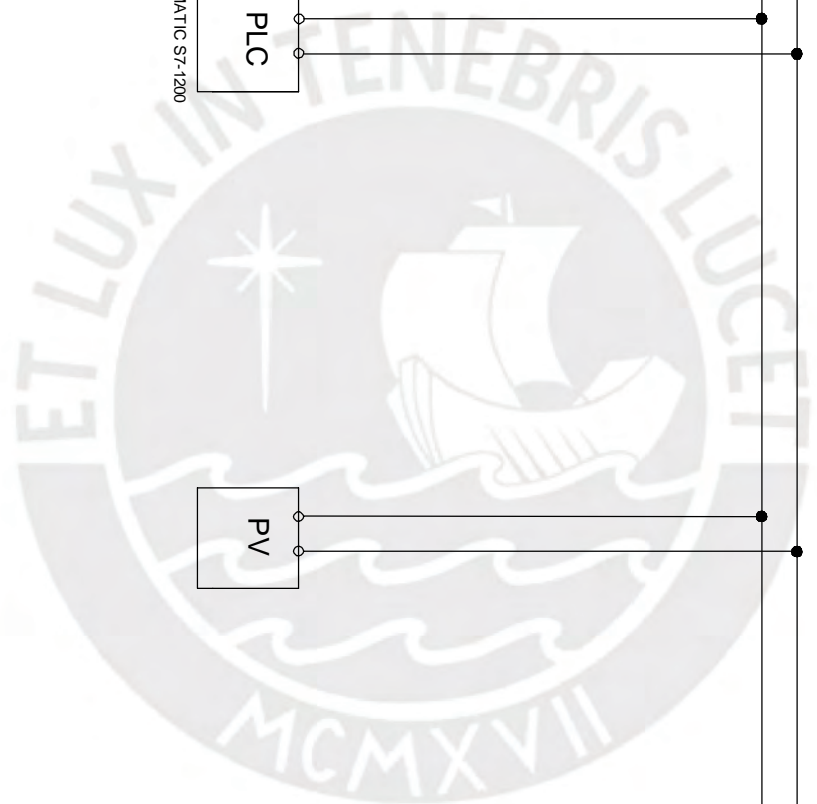
ESC.: 11 14 HORA: 001 SIGUE: 002 TOTAL: 4

1	2	3	4	5	6	7	8
ALIMENTACION		PLC		PANEL VIEW		ALIMENTACION	
CRUCITO CONTROL						SENSORES	



REVISION	DESCRIPCION DE REVISION	FECHA	NOMBRE	FIRMA	FECHA	SUPERVISION	ESC.:	H11 A4	H04:	002	003	TOTAL:	4	REV.
1	PARA REVISION	08/11/19	R.GUTIERREZ					11	14	002	003	4	A	
		08/11/19	R.GUTIERREZ											
			J.PORTELLA											

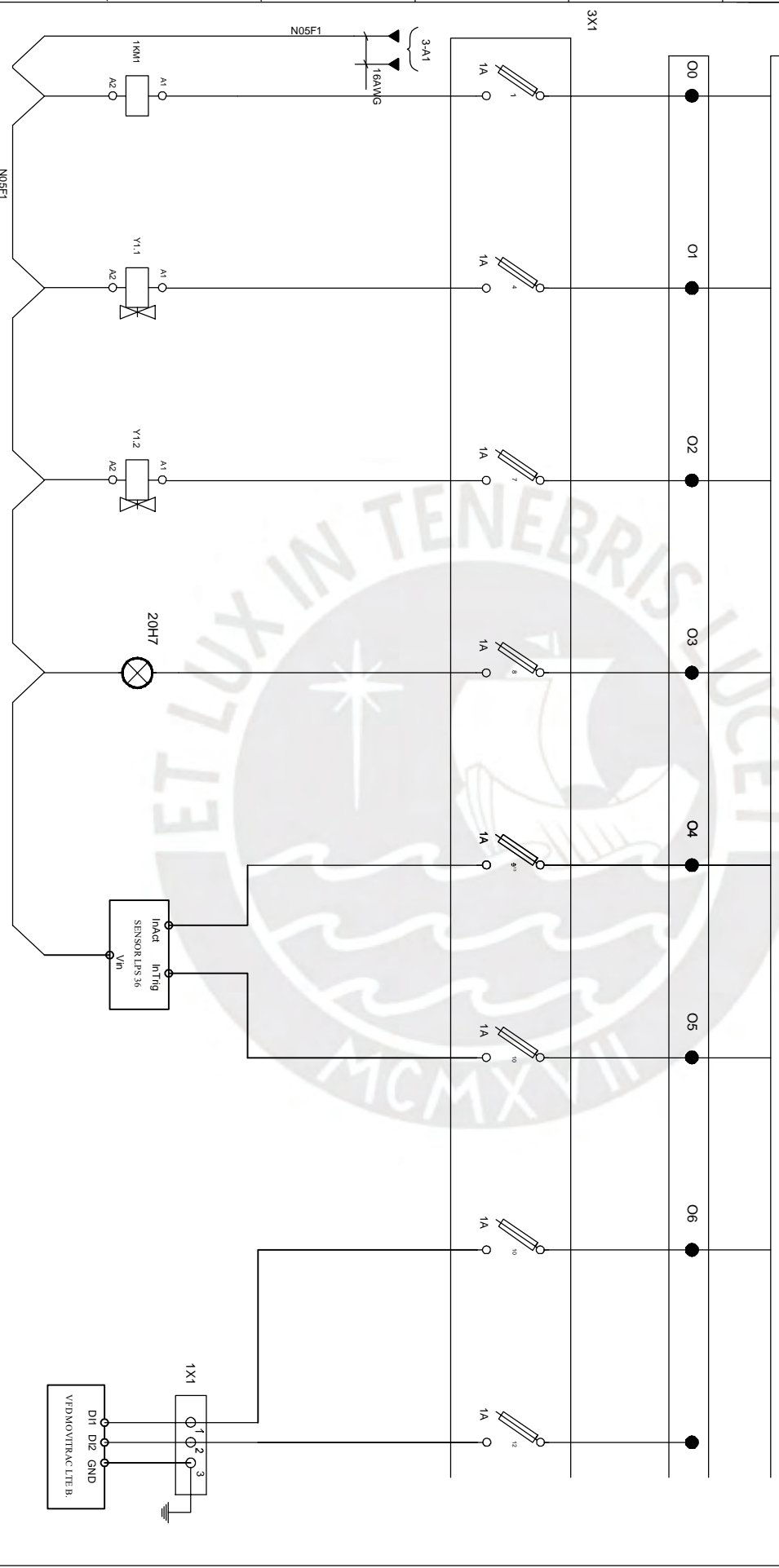
PLANO SISTEMA ALIMENTADOR ESQUEMA ELECTRICO



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU
 TRABAJO DE FIN DE CARRERA SISTEMA ALIMENTADOR
 ESQUEMA CONTROL GENERAL
 TABLERO DE CONTROL Y FUERZA

1	2	3	4	5	6	7	8
ALIMENTACION		PLC		PANEL VIEW			
CRcuito CONTROL							

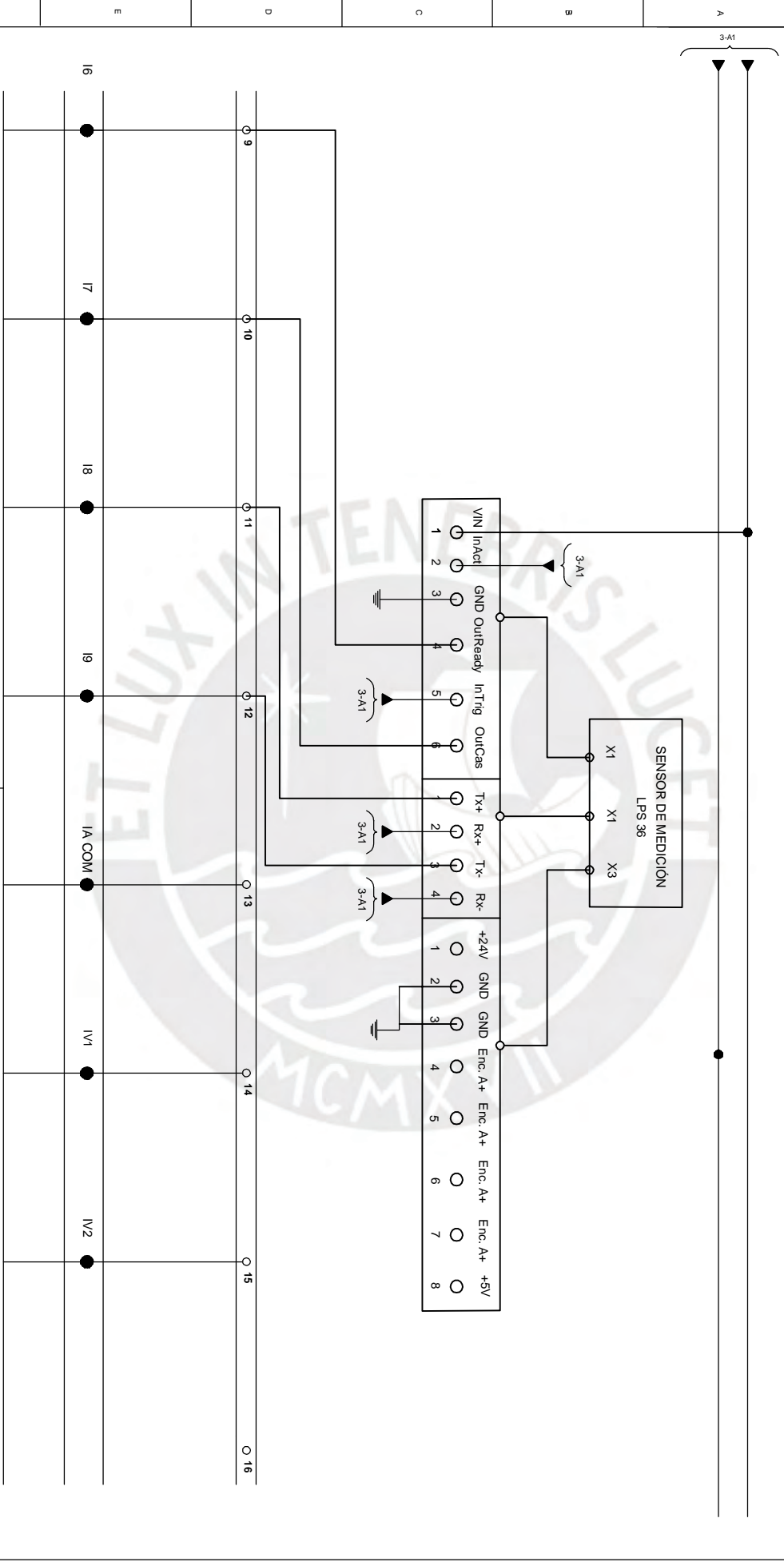
MODULO DE SALIDAS DIGITALES - 16DOX24VDC - S7 1200 CPU 1211C



REVISION		NOMBRE		FIRMA		FECHA	
1	A	PARA REVISION	DESCRIPCION DE REVISION	08/11/19	R.GUTIERREZ	08/11/19	R.GUTIERREZ
1	A	PARA REVISION	DESCRIPCION DE REVISION	08/11/19	J.PORTELLA		
		FECHA	APROBO				

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU							
TRABAJO DE FIN DE CARRERA SISTEMA ALIMENTADOR							
ESQUEMA CONEXION SENSOR							
TABLERO DE CONTROL Y FUERZA							
ESC.:	11	MA:	003	SIGUE:	004	TOTAL:	4
							REV. A

1	2	3	4	5	6	7	8
ALIMENTACION		PLC		PANEL VIEW			
ORCUTO CONTROL							



RACK 0
SLOT 1

ENTRADAS DIGITALES - S7 1200 CPU 1211C

ENTRADAS ANALÓGICAS - S7 1200 CPU 1211C

REVISION	DESCRIPCION DE REVISION	FECHA	APROBO	NOMBRE	FIRMA	FECHA	TRABAJO DE FIN DE CARRERA SISTEMA ALIMENTADOR	ESC.:	H11 A4	H04:	005	SIGUE:	TOTAL:	81	REV.
1	PARA REVISION	08/11/19		R.GUTIERREZ			ESQUEMA CONEXION SENSOR	11	14	04	05	-	81		A
		08/11/19		R.GUTIERREZ			ESQUEMA CONEXION SENSOR								
				J.PORTELLA			TABLERO DE CONTROL Y FUERZA								

PLANO SISTEMA ALIMENTADOR ESQUEMA ELECTRICO

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU

TRABAJO DE FIN DE CARRERA SISTEMA ALIMENTADOR

ESQUEMA CONEXION SENSOR

TABLERO DE CONTROL Y FUERZA

ESC.:

H11 A4

H04:

005

SIGUE:

TOTAL:

81

REV.

A