



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA

DISEÑO DE UN SILO DOSIFICADOR PARA PASTA DE BATERÍAS

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL MECÁNICO

PAULINO ALBERTO ESCUDERO ASTUDILLO

PROFESOR GUÍA
LEONEL NÚÑEZ LAZO

MIEMBROS DE LA COMISIÓN
RODRIGO PALMA HILLERNS
AQUILES SEPÚLVEDA OSSES

SANTIAGO DE CHILE
2016

RESUMEN DE LA MEMORIA PARA OPTAR AL TITULO

DE: *Ingeniero Civil Mecánico.*

POR: *Paulino Alberto Escudero Astudillo.*

FECHA: *20 de Octubre 2016*

PROFESOR GUIA: *Leonel Alejandro Nuñez Lazo.*

Diseño de un Silo Dosificador para Pasta de Baterías

El trabajo muestra el diseño de un silo para el acopio y dosificación de pasta de baterías (PBat), para la línea productiva de una planta industrial y fundición; que se dedica al reciclaje de baterías de plomo-ácido para la obtención de plomo refinado.

El objetivo del trabajo es el diseño de un silo para el acopio y dosificación de PBat integrado en una línea de manejo y dosificación de materiales. Los objetivos específicos son: i) Revisar el estado del arte sobre silos para acopio y dosificación de pastas, ii) Caracterizar la PBat y determinar las condiciones de operación del silo inserto en la línea de producción, iii) Diseñar los mecanismos de extracción de la PBat, iv) Seleccionar y diseñar detalladamente una motorización ad hoc para el silo, y v) Diseñar una lógica de control que permita integrar el silo de PBat con la tecnología Weightfeeders de la línea de manejo y dosificación de materiales.

Para desarrollar los objetivos específicos se emplea una metodología que integra revisión bibliográfica del estado del arte de silos y dosificación de pasta para obtener el marco teórico para el diseño de los componentes principales; revisión de normas internacionales ASTM para diseñar y validar técnicamente los ensayos de caracterización de la PBat. Para el diseño detallado se emplean los resultados de los ensayos y los requerimientos de operación a partir de los que se realiza el dimensionamiento y la configuración de los mecanismos de descarga y dosificación junto con la motorización de ellos. Para abordar el sistema de control se define la filosofía de control, los sensores y los lazos de control.

Los principales resultados del trabajo muestran que:

- i. La tecnología para silos de pasta se centra en los sistemas de descarga. Los sistemas más importantes en la actualidad son descarga mecánica por: movimiento alternativo, ejes encontrados, descargador de tornillo y descargador rotatorio.
- ii. La pasta de baterías es un material reologicamente complejo con facilidad para formar bóvedas con un ángulo de reposo alto, una granulometría heterogénea y un esfuerzo de cizalle relativamente alto de $0,6 \text{ kg/cm}^2$.
- iii. El silo, un estanque cilíndrico-cónico de $4,5 \text{ m}^3$ en AISI 316L, contempla dos sistemas de descarga complementarios: un descargador rotatorio que arrastra la pasta por el fondo del silo sin compactarla descargando el material por una lumbrera y un sistema de arrastre vertical; que destruye las bóvedas al forzar el avance de la pasta hacia el fondo del silo.
- iv. La lógica de control integra los distintos equipos que forman la línea de manejo de materiales plomados. En particular la integración con los weightfeeder está diseñada lograr la dosificación precisa de los materiales involucrados en la línea de proceso.

Tabla de Contenido

1	Introducción.....	1
1.1	Motivación.....	1
1.2	Objetivos.....	2
1.2.1	Objetivo General	2
1.2.2	Objetivos Específicos	2
1.3	Alcances.....	2
2	Metodología.....	3
3	Antecedentes y Estado del Arte.....	4
3.1	Características de las Baterías de Plomo-Ácido	5
3.2	Obtención de Pasta de Baterías.....	6
3.3	Proceso Productivo Mejorado.....	8
3.4	Descripción de las Nuevas Etapas del Proceso Mejorado	9
3.5	Elementos de Teoría de Silos.....	11
3.6	Dosificación Continua de Materiales.....	17
3.7	Ensayos para Caracterización de Sólidos Granulares y Pastas.....	18
3.7.1	Granulometría de Pasta de Baterías.....	18
3.7.2	Ángulo de Reposo para Materiales de Proceso	19
3.7.3	Ensayo de Descarga Gravitacional.....	21
3.7.4	Resistencia al Cizalle	21
4	Resultado de Caracterización de la PBat.....	23
4.1	Ensayo de Granulometría.....	23
4.2	Ensayo del Ángulo de Reposo	25
4.3	Ensayo de Descarga Gravitacional	26
4.4	Ensayo de Cizalle con Celda de Jenike.....	27
4.5	Ensayo de Esfuerzo de Cizalle con Celda Jenike Modificada.....	28
4.6	Ensayo de Esfuerzo Cizalle con Marco	31

4.6.1	Ensayo de Esfuerzo de Cizalle con Carga Vertical de 40 kg	31
4.6.2	Ensayo Esfuerzo de Cizalle con Carga Vertical de 95 kg	33
4.7	Análisis de Resultados de los Ensayos para el Diseño del Silo	37
5	Criterios de Diseño para Silo de PBat	38
5.1	Requerimientos Operacionales de la Planta Recicladora.....	38
5.2	Flujos de Alimentación del Silo.....	39
5.3	Instalación del Silo en la Estructura Existente.....	41
5.4	Análisis de Modelos Descarga para el Silo de PBat.....	42
6	Diseño del Silo de PBat.....	44
6.1	Diseño Conceptual.....	44
6.2	Diseño Detallado del Silo y sus Componentes	45
6.2.1	Descargador Rotatorio.....	45
6.2.2	Cálculo de Ejes.....	53
6.2.3	Unidad Motriz	56
6.3	Circuito Hidráulico del Motor Hidráulico	57
6.4	Circuito hidráulico de los Cilindros de Arrastre.....	59
6.4.1	Arrastre Vertical.....	61
6.5	Diseño del Recipiente	62
6.6	Manto del Silo.....	64
6.6.1	Materialidad del Manto del silo.....	64
6.6.2	Espesor del Manto del Silo.....	65
7	Control Operacional del Silo de PBat	68
7.1	Integración del Silo en la Unidad Productiva	68
7.2	Filosofía de Operación.....	68
7.3	Filosofía de Control	70
7.3.1	Control de los Mecanismos de Arrastre y Enclavamientos.....	70
7.3.2	Arquitectura de Control.....	71
7.3.3	Operación del Sistema de Control.....	72
8	Conclusiones.....	73

9 Bibliografía.....	75
ANEXO: Planos de Diseño Silo Dosificador.....	77

1 Introducción

El trabajo muestra el diseño de un silo para el acopio y dosificación de pasta de baterías (PBat) para la línea productiva de una planta industrial y fundición, que se dedica al reciclaje de baterías de plomo-ácido para la obtención de plomo refinado.

La PBat es una mezcla de material plúmbico compuesto de los residuos de plomo que se obtiene del proceso de trituración y separación de los distintos componentes de las baterías de plomo-ácido en desuso, las baterías recicladas son utilizadas en las fundiciones de plomo secundario como fuente de materia prima. De las baterías se reciclan los elementos ricos en plomo y el polipropileno, que forma las carcasas de las baterías.

La industria del reciclaje de baterías en Chile, por sus características de peligrosidad que implica un riesgo inmediato o potencial para la salud humana por efecto de contaminación con plomo, declarado como sustancia peligrosa [1], se ha abocado a mejorar los estándares y procedimientos de operación referentes al manejo, transporte y almacenamiento de materiales plomados.

La empresa que desarrolla el proyecto (la compañía patrocinadora) ha optado por la innovación tecnológica con el fin de mejorar sus procesos productivos, minimizar la contaminación ambiental y del personal que trabaja en la planta. La innovación tecnológica a implementar en esta empresa se enmarca en su línea de preparación, dosificación y transporte de materiales plomados que se utilizan en el proceso de conversión/fundición en un horno rotatorio.

El núcleo de manejo y dosificación de materiales se compone de un sistema de silos y pesómetros continuos (Weightfeeders) para el control de Pasta de Baterías (PBat), escamilla de hierro (FeO y otros), carbón (Coke) y ceniza de soda. La escamilla de hierro, el carbón y la ceniza de soda son materiales granulares cuyo manejo y dosificación está bien resuelto por la tecnología de Silo – Weightfeeders.

En el contexto de manejo, transporte y dosificación, la PBat es un material reologicamente complejo y difícil de procesar (extruir, compactar, etc.); por lo que es necesario resolver la problemática del silo para que permita integrar la dosificación continua y que se ajuste a los requerimientos operacionales que se desea implementar.

1.1 Motivación

La alta contaminación a las que se exponen los operadores y la comunidad que se encuentra en las inmediaciones de las fundiciones de plomo secundario, por el material plomado que se encuentra expuesto en las zonas de reciclaje de baterías [2]; junto con el aumento de las exigencias sobre la calidad del medio ambiente y seguridad ocupacional, han generado el impulso para que las empresas recicladoras adopten e integren nuevas tecnologías en sus procesos productivos.

En este sentido, la empresa patrocinadora del presente trabajo de título, orientada al reciclaje industrial de productos de plomo, se ha embarcado en un proyecto de innovación tecnológica para lograr el mejoramiento de los procesos productivos de su planta; cuyo propósito principal es lograr una producción más eficiente respecto al rendimiento de conversión de Pb metálico, que sea a su vez limpia y amigable con el medio ambiente y con el personal que labora en ella.

La tecnología que requiere implementar la empresa para mejorar su proceso productivo debe permitir el confinamiento, manejo y dosificación de la PBat; mitigando la polución de óxidos y sulfatos de plomo. La planta cuenta con equipos comerciales y equipos especialmente desarrollados para las aplicaciones requeridas en el proceso productivo, pero no cuenta con silos para el manejo de la PBat.

La falta de oferta tecnológica a nivel nacional de silos dosificadores que sean capaces de manejar satisfactoriamente la PBat, requiere de un diseño que se adecue a las necesidades de manejo y dosificación de materiales plomados que desea implementar la empresa.

El desarrollo que se informa es válido y puede adaptarse para el diseño de silos que manejan materiales pastosos complejos diferentes a la PBat.

1.2 **Objetivos**

1.2.1 **Objetivo General**

Diseñar un silo para el acopio y dosificación de PBat en una línea de manejo y dosificación de materiales.

1.2.2 **Objetivos Específicos**

- i. Revisar el estado del arte sobre silos para acopio y dosificación de pastas.
- ii. Caracterizar la pasta de baterías y determinar las condiciones de operación del silo de PBat inserto en la línea de producción.
- iii. Diseñar mecanismos de extracción de la PBat que permitan manejar eficientemente la compleja reología de la PBat en el silo dosificador.
- iv. Seleccionar y diseñar detalladamente una motorización ad hoc para el silo dosificador.
- v. Diseñar una lógica de control que permita integrar el silo de PBat con la tecnología Weightfeeders de la línea de manejo y dosificación de materiales.

1.3 **Alcances**

El proyecto se aboca al diseño de un silo dosificador de pasta de baterías, con un porcentaje de humedad ente 8 y 20%.

El proyecto considera los siguientes alcances:

- Ensayos de caracterización de la PBat para el diseño del silo dosificador.
- Diseño detallado del silo dosificador, incluyendo el manto, equipos de descarga y sistemas de motorización.
- Elementos de la filosofía de control del silo integrado a una línea de producción.

2 Metodología

La metodología para lograr los objetivos específicos propuestos se describe a continuación:

- i. Revisión bibliográfica del estado del arte de los silos de acopio y dosificación de pasta, que incluye la revisión de normas internacionales y códigos para los ensayos de caracterización del material para el diseño del silo.

Para lograr esta etapa de la metodología, se realiza una revisión de papers, manuales y fichas técnicas de fabricantes de silos para materiales granulométricos y pastas, junto con la revisión de las siguientes normas de caracterización de estos materiales.

- ASTM 422-63: Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils.
- ASTM C 1444-00: Standard Test Method for Measuring the Angle of Repose of Free-Flowing Mold Powders.
- ASTM D6218-97. Standard Test Method for Shear Testing of Bulk Solids Using the Jenike Shear Cell.

Como resultados de esta fase se desarrolla el marco teórico para el diseño de los componentes principales de un silo acumulador/dosificador de pasta. Además, se obtienen los requerimientos y parámetros para la realización de ensayos normados que permiten validar técnicamente los resultados obtenidos.

- ii. Realización de ensayos para la caracterización de la PBat orientados al diseño de un silo dosificador y determinación de las condiciones de operación del silo en una línea productiva.

Para dar cumplimiento a esta etapa de la metodología, se realizan los siguientes ensayos bajo su respectiva norma:

- ✓ Resistencia al cizalle: Este ensayo permite determinar las fuerzas cohesión que posee la PBat.
- ✓ Ángulo de Reposo: El ensayo permite determinar la inclinación crítica de las paredes del silo, en particular la conicidad de éste.
- ✓ Granulometría: Este ensayo permite determinar la distribución por tamaño de las partículas que componen la PBat; esta distribución y tamaño permite determinar los ajustes mínimos requeridos entre las superficies móviles.

Por otro lado se realiza el análisis operacional de la unidad productiva de pasta de batería y la interacción del silo dosificador con los equipos de la línea de manejo de materiales. Para ello se efectúa la revisión de los procedimientos de operación de la planta recicladora.

Como resultado de esta etapa se obtienen los parámetros de diseño de los mecanismos para el manejo, descarga y dosificación de la PBat, junto con los requerimientos y parámetros de operación del silo.

- iii. Realización del diseño detallado del silo y mecanismos de descarga que permitan manejar eficientemente la compleja reología de la PBat.

Para lograr esta etapa de la metodología, se realiza el dimensionamiento básico de acuerdo a los estándares de construcción de silos y de los requerimientos de operación de la planta recicladora. Superada esta etapa del diseño, se realiza el diagrama de carga y soportes del silo proyectado, se calculan los esfuerzos para los mecanismos de descarga y la motorización requerida. Para el desarrollo de planos se utiliza el software de diseño AutoCAD y se utiliza el software Excel para el desarrollo de las memorias de cálculo de la motorización y elementos mecánicos de transmisión.

Como resultado de esta etapa se obtienen los planos aptos para fabricación de los distintos componentes del silo acumulador/dosificador que se deben fabricar. De igual forma se generan las especificaciones técnicas de los elementos comerciales que son parte del silo y su motorización.

- iv. Selección y diseño de una motorización ad hoc para el silo dosificador.

Para lograr esta etapa de la metodología se realiza el análisis de los requerimientos de potencia mecánica de los mecanismos de descarga del silo. Para esto se analiza el flujo requerido, la velocidad angular y el torque del mecanismo de descarga.

Como resultado de esta fase se obtienen las especificaciones técnicas necesarias para la selección de los componentes comerciales para la motorización junto con planos de fabricación y montaje de los mecanismos de descarga.

- v. Diseño de una lógica de control que permita integrar el silo dosificador con la tecnología weightfeeder en la línea de manejo de materiales plomados.

Para lograr esta etapa de la metodología, se analizan los procedimientos de operación de los equipos de la línea de manejo de materiales para establecer las secuencias de funcionamiento del silo. Para esto se revisan los manuales, catálogos y procedimientos de operación de los equipos periféricos. Además, se establecen los lazos de control y las señales de monitoreo del equipo, lo que define la instrumentación necesaria para la integración del silo a la línea productiva.

Como resultado de esta etapa se obtiene la lógica de control que persigue establecer el modo de operación del silo al definir las secuencias y condiciones de puesta en marcha, detención y destrabamiento del silo. Se obtienen además las especificaciones técnicas de la instrumentación y el hardware que permite implementar el control y monitoreo del funcionamiento del silo y de los equipos periféricos.

3 Antecedentes y Estado del Arte

En esta sección se muestran los antecedentes de base y la tecnología que soporta el desarrollo del silo de PBat.

3.1 Características de las Baterías de Plomo-Ácido

Las baterías de plomo ácido constan de los siguientes componentes [2]:

- **Electrolito:** Es una solución de ácido sulfúrico en agua, aproximadamente 33,5% de ácido sulfúrico que puede estar presente en tres estados dentro de la batería:
 - i. Líquido.
 - ii. Gelificado mediante la adición de óxido de silicio.
 - iii. Absorbido por los separadores de fibra de vidrio micro porosa.
- **Rejillas:** Son elementos estructurales que sostienen el óxido de plomo y el plomo esponjoso de los electrodos. Se fabrican de aleación de plomo con algún endurecedor como calcio o antimonio.
- **Electrodos o placas positivas:** Se componen de una estructura o rejilla y material activo que se posa sobre ésta. Dentro de la batería se encuentra el material activo compuesto por Dióxido de Plomo. Existen dos tipos de electrodos:
 - i. Platé.
 - ii. Placas empastadas.
- **Electrodos o placas negativas:** Son iguales a los electrodos positivos, salvo que el material activo se compone de plomo esponjoso.
- **Separadores:** Se sitúan entre los electrodos para aislar uno del otro y así se evitan cortocircuitos. Los separadores de tipo hoja pueden ser Celulósicos, de Fibra de vidrio o de PVC y los de tipo sobre son generalmente de Polietileno (PE).
- **Carcasa:** Mantiene el conjunto de electrodos alineados, permite la interacción con el usuario y recolecta, en su parte inferior, la materia activa que se desprende de los electrodos. Es fabricada generalmente de Polipropileno (PP) y en menos casos de Ebonita (Caucho Endurecido) y Estireno Acrilonitrilo (SAN); éste último es transparente y permite observar el nivel de electrolito.
- **Conectores:** Se fabrican con Plomo Antimonio o Plomo Cobre y permite la conexión interna entre las celdas de carga de la batería.
- **Terminales o Bornes:** Se fabrican de aleación de Plomo y permiten la conexión de la fuente de consumo eléctrico a la batería.

En la Figura 3.1 se presenta un diagrama general de los componentes de las baterías y su ordenamiento en el interior de la carcasa de la batería.

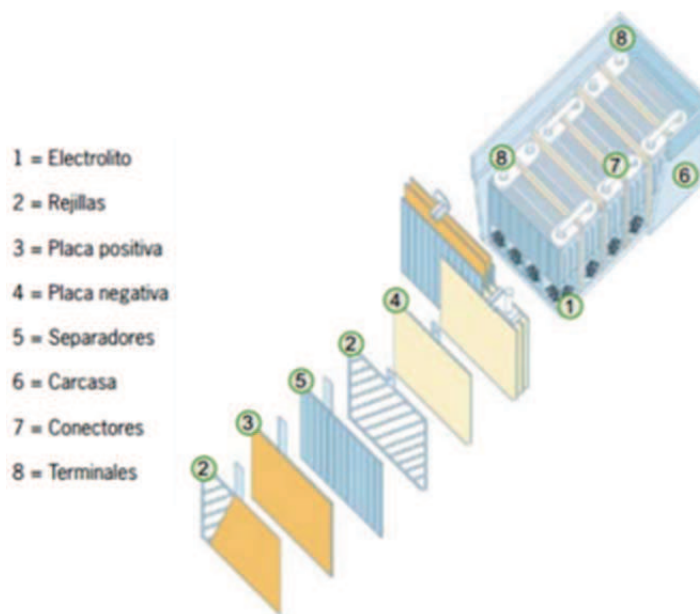


Figura 3.1: Componentes principales de baterías Plomo-Ácido.

Fuente: <http://ingenieriaelectricaexplicada.blogspot.cl/2011/10/caracteristicas-tecnicas-de-las.html>

Los componentes principales de una batería tipo de Plomo-Ácido que se utilizan en el reciclaje para obtención de plomo fino, se muestran en la Tabla 3.1. Estos componentes son la fuente de contaminación en el proceso de manejo de las baterías trituradas.

Tabla 3.1: Materiales plomados de una batería Plomo-Ácido.

Componente	Material plomado	Designación
Rejillas	Pb (Sb)	Plomo metálico
Terminales y puentes	Pb (Sb)	Plomo metálico
Pasta de rejillas	PbO	Óxido de plomo
Placa positiva	PbO ₂	Dióxido de plomo
Pasta	PbSO ₄	Sulfato de plomo

Fuente: Guía Técnica Sobre Manejo de Baterías de Plomo-Ácido Usadas.

3.2 Obtención de Pasta de Baterías

La pasta de baterías se obtiene a partir de las baterías en desuso [3], las que se fracturan en un molino de martillos. Esta trituración se realiza hasta un tamaño de partícula tal que se produzca la separación física de los distintos componentes de la batería.

En un proceso posterior, el polipropileno de las carcasas es separado de las rejillas y barros mediante celdas de flotación, de esta forma se tiene una mezcla de óxidos de plomo, sulfatos de plomo, plomo metálico y laminillas de polietileno. El líquido en exceso es escurrido en forma mecánica para bajar la humedad de la pasta plomada.

En líneas generales el proceso productivo de una planta recicladora de baterías se muestra en la Figura 3.2.

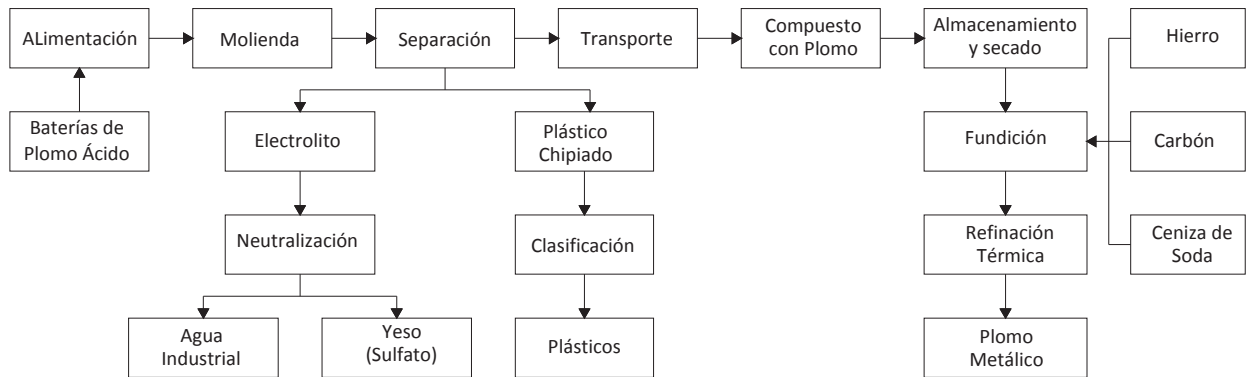


Figura 3.2: Proceso básico de reciclaje de baterías.

Fuente: Nuevo Proceso Productivo para el Reciclaje de Baterías de Plomo [4].

En el proceso actual de la planta recicladora, la pasta de baterías es acopiada en celdas o contenedores abiertos para propiciar el escurrimiento del electrolito, ver Figura 3.3. Al cabo de unos días, la pasta ha disminuido su porcentaje de humedad y es transportada a otro sector donde se incorporan los fundentes (ceniza de soda, carbón y hierro en forma de óxidos), logrando de esta forma la mezcla plomada que alimenta el horno para su fundición.

La pasta de baterías se almacena con aproximadamente un 22% de humedad, de la cual se estima que se pierde hasta un 14% entre el escurrimiento y el secado con el aire ambiente. Esta es una condición importante para el proceso de conversión y fundición en el horno.

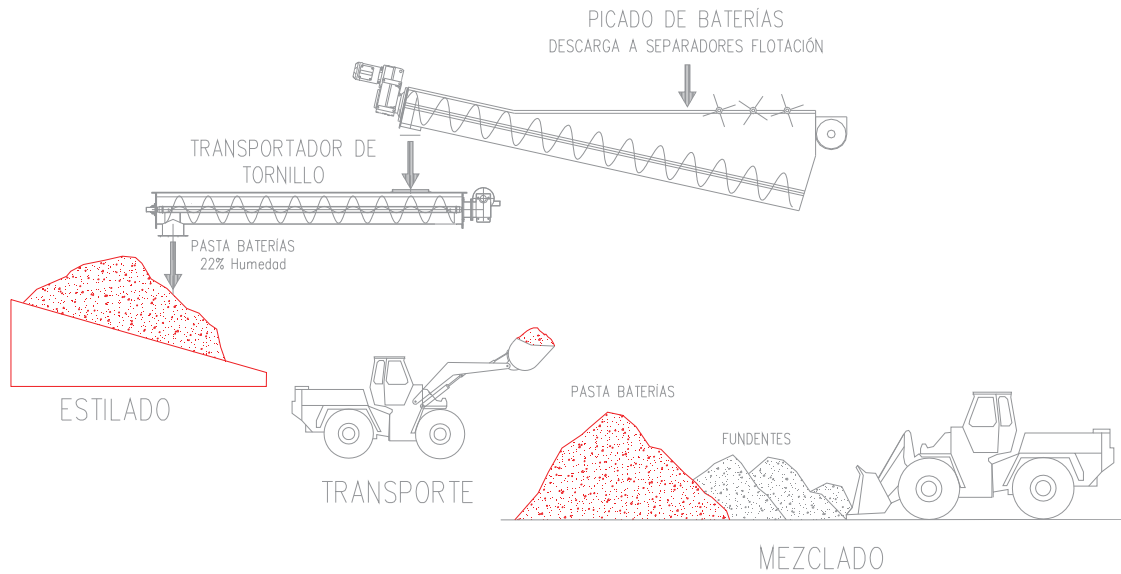


Figura 3.3: Esquema de estilado y mezclado tradicional de PBA y fundentes.
Fuente: Nuevo Proceso Productivo para el Reciclaje de Baterías de Plomo [4].

El material plomado queda expuesto al ambiente propiciando la polución, para que la PBA alcance una humedad apta para el proceso de fundición. La humedad requerida es en torno al 16 %. Este es un foco importante de contaminación por el excesivo tiempo de exposición al ambiente; es por esta razón que el proyecto se enfoca en el almacenamiento y confinamiento del material plomado en un silo dosificador. Otro foco de contaminación ambiental es el proceso de mezclado con los fundentes antes de la carga en el horno de fundición. Una buena medida para minimizar la polución con PBA seca es confinarla en un silo para dosificarla antes del mezclado.

3.3 Proceso Productivo Mejorado

La compañía recicladora de residuos industriales desea desarrollar un nuevo proceso productivo para mejorar el manejo de los materiales, y que además permita disminuir la contaminación ambiental de los procesos de reciclaje de baterías convencionales.

El proceso productivo de reciclaje de baterías mejorado, para el que se requiere diseñar un silo dosificador de pasta, comienza después de la actual etapa de separación del scrap de baterías trituradas, procesando la pasta de baterías obtenida y agregando nuevas áreas/etapas en el proceso convencional [4].

Las etapas adicionales al proceso productivo convencional son:

- ✓ Estrujado de la pasta de baterías.
- ✓ Almacenamiento de materiales (pasta de batería estrujada, fundentes).
- ✓ Dosificación automática de materiales para la mezcla de fundición.
- ✓ Mezclado continuo y automático de los materiales.
- ✓ Almacenamiento y secado de las mezclas.

✓ Pesaje de las mezclas para fundición.

En la Figura 3.4 se muestra un diagrama de flujo del proceso productivo mejorado que la compañía patrocinadora requiere implementar.

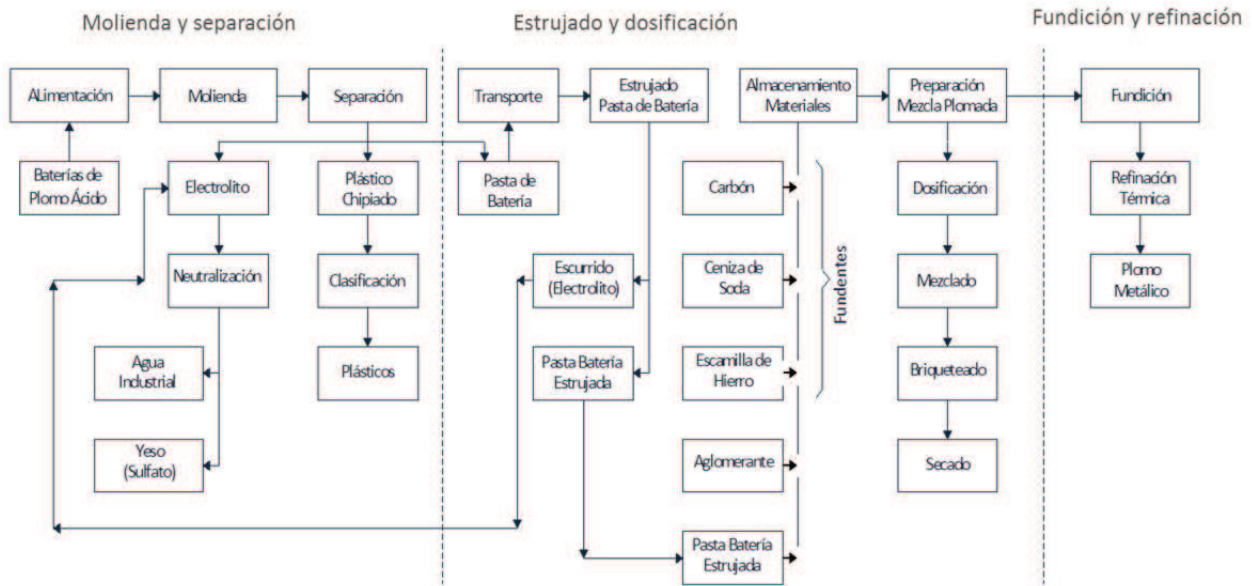


Figura 3.4 Diagrama del nuevo proceso productivo de reciclaje de baterías.
Fuente: Nuevo Proceso Productivo para el Reciclaje de Baterías de Plomo [4].

3.4 Descripción de las Nuevas Etapas del Proceso Mejorado

En términos generales, el proceso productivo mejorado agrega áreas/etapas posteriormente a la etapa de separación por flotación, interviniendo en el actual almacenamiento de pasta de baterías, mezclado y preparación para fundición [4]. El nuevo proceso mejora la línea productiva en diferentes aspectos tales como eficiencia energética, limpieza del ambiente de trabajo, control del proceso y reducción de costos.

En la Figura 3.5 se muestra el proceso productivo mejorado. El foco del proceso productivo que se desea implementar es mantener confinado el material plúmbico desde la zona de triturado hasta el ingreso al horno de fundición. La nueva configuración permite una dosificación precisa de los fundentes requeridos, mejorando significativamente el rendimiento de conversión de la fundición de plomo.

La etapa del proceso productivo en la cual interviene el silo acumulador/dosificador es el área de dosificación y mezclado. En esta área se acumulan los fundentes y la PBat en silos. Para cada uno de los materiales (fundentes y PBat) se dispone en unas cintas dosificadoras que permiten suministrar la cantidad de material requerida de acuerdo a las condiciones de operación de la planta recicladora.

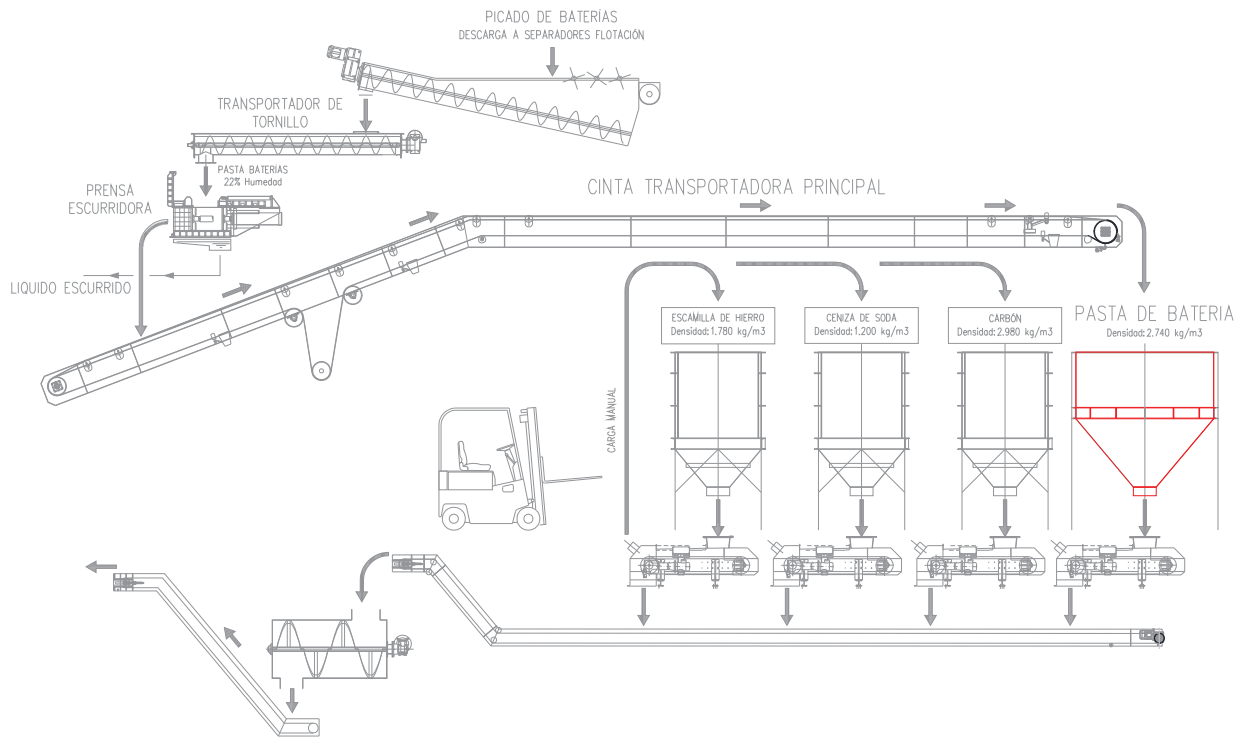


Figura 3.5: Esquema de estrujado de PBA, dosificación y mezcla de fundentes.

Fuente: Nuevo Proceso Productivo para el Reciclaje de Baterías de Plomo [4].

Las nuevas etapas del proceso mejorado son las siguientes:

- Estrujado de pasta de baterías

La pasta de baterías obtenida después de la etapa de separación es sometida a un proceso de compactación/estrujado mediante una prensa hidráulica cuyo objetivo es eliminar el exceso de líquido, desprendiendo/eliminando el electrolito que no se puede separar en la etapa anterior. Con este proceso se elimina el antiguo almacenamiento en pilas utilizado para disminuir la humedad del material mediante el escurrimiento por gravedad del electrolito.

- Silos de almacenamiento de materiales

Se incorporan silos de almacenamiento confinados para la pasta de batería estrujada, fundentes (carbón, ceniza de soda y escamilla de hierro) y aglomerante (Cal apagada); con una autonomía adecuada para permitir al operador ir recargando cada uno de ellos de manera secuencial. El objetivo de la utilización de los silos es:

- Mantener una alimentación constante/continua de los dosificadores gravimétricos empleados para la dosificación de materiales.
- Absorber las pulsaciones o discontinuidades que se puedan generar en la alimentación de los materiales, teniendo un tiempo de retención o autonomía adecuada que permite al ope-

rador tomar las acciones pertinentes, manteniendo la alimentación constante/continua a los dosificadores gravimétricos.

Los fundentes y el aglomerante utilizados en el proceso son materiales granulares en forma de polvo o pellet y no presentan ninguna complicación para la utilización de silos estándar diseñados para tales materiales.

3.5 Elementos de Teoría de Silos

Se define como silo a una estructura cilíndrica o prismática de paredes verticales, que se utiliza para el almacenamiento de materiales a granel. Los silos se utilizan en una amplia gama de aplicaciones de la industria, para almacenar sólidos en cantidades muy variables.

Un medio granular es un aglomerado formado por sólidos macroscópicos en contacto entre sí la mayor parte del tiempo. El manejo de materiales granulares presenta una gran importancia en la industria actual, el desarrollo se encuentra abocado a obtener soluciones tecnológicas para el manejo de los medios granulares [5].

La descarga de los silos puede ser por gravedad o utilizando procedimientos mecánicos. Los silos de acero son de diversos tipos que van desde estructuras formadas por chapas rigidizadas, a láminas. Su sustentación es muy diversa: apoyados en pilares, en su contorno, colgados, etc. Los silos de fondo plano suelen sustentarse directamente en la cimentación.

Definiciones que permiten caracterizan los silos [5]:

- **Ángulo de Reposo.** Corresponde al ángulo entre la superficie del material apilado y el plano horizontal. Notar que el ángulo de reposo no es un parámetro característico del comportamiento del material dentro del silo, y no debe confundirse con el ángulo de fricción interna, el cual sí es un parámetro relevante para determinar el comportamiento del material.
- **Ángulo Efectivo de Fricción Interna.** Corresponde al ángulo entre la abscisa y la tangente a la curva que representa la relación entre la resistencia al corte y la tensión normal que actúa sobre el material. Dentro de sus atributos se encuentra el hecho de que controla las características del flujo y las presiones dentro del material.
- **Coefficiente de Fricción.** Razón entre la tracción ejercida por la fricción y la presión ejercidas por el material sobre la pared del silo.
- **Coefficiente de Empuje Lateral.** Razón entre la tensión horizontal en el sólido en la vecindad con la pared del silo y la tensión vertical.
- **Transición.** Discontinuidad presente en la unión entre la pared vertical del cilindro y el chute del silo.
- **Transición Efectiva.** Región en la cual el canal de flujo de material intercepta la pared del silo. Esta zona se caracteriza esencialmente por la presencia de un incremento significativo de la presión del material sobre la pared del silo.

- **Zona de Flujo Primario.** Zona de flujo correspondiente al material que se moviliza inmediatamente una vez iniciada la descarga del silo.
- **Zona de Flujo Secundario.** Zona de flujo correspondiente al material que se moviliza una vez realizada la descarga de la zona de flujo primario. En esta zona el material se encuentra estático durante la descarga de la zona primaria.
- **Zona Muerta.** Corresponde a la zona de material que no puede ser descargada del silo mediante gravedad.
- **Superficie Efectiva.** Nivel al cual el silo sería llenado si el mismo volumen de material contenido en éste tuviera una superficie superior plana (sin la inclinación dada por el ángulo de reposo).

Para definir el diseño general de un silo, se debe tener en cuenta los siguientes pasos:

- ✓ Determinar las características del flujo del material.
- ✓ Determinar la geometría del silo con el fin de que posea la capacidad necesaria.
- ✓ Obtener un patrón de flujo de características adecuadas y por tanto aceptables, que aseguren una descarga fiable. Pueden utilizarse alimentadores y descargadores mecánicos especiales.
- ✓ Estimar las cargas que actúan sobre el silo, tanto debidas al material almacenado como a otras tales como el viento e instalaciones auxiliares, etc.

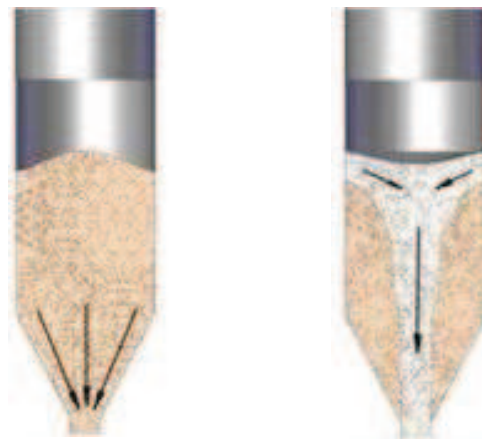
El comportamiento de descarga de los silos con respecto a los distintos productos es uno de los aspectos fundamentales para el diseño del silo, ya que es necesario asegurar un flujo constante en la descarga sin tener segregación del material descargado.

El flujo de un medio granular se define como la masa del material granular que atraviesa el orificio de descarga por unidad de tiempo. En algunos casos se utiliza la definición de flujo granular como el número de partículas por unidad de tiempo que atraviesan el orificio de descarga.

Las definiciones para los distintos tipos de descarga son:

- ✓ **Flujo másico:** En el momento de la descarga todo el producto a granel en el interior del silo está en movimiento.
- ✓ **Flujo central:** Sólo se mueven secciones parciales del producto.

La descarga de un silo puede desarrollar diversos regímenes, como se puede apreciar en la Figura 3.6, donde se observan las líneas de flujo para las condiciones de flujo másico y de flujo central.

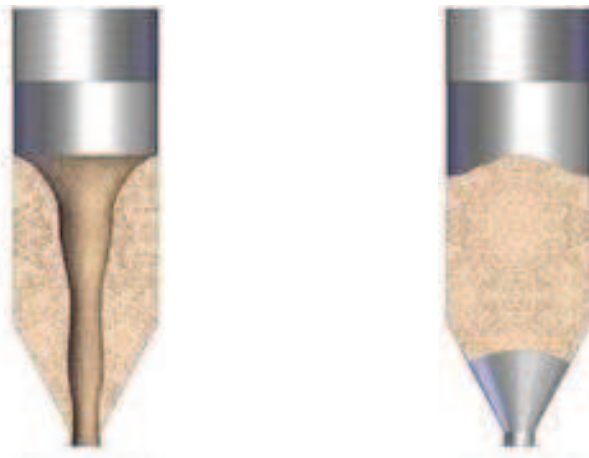


a) Flujo Masico. b) Flujo Central.

Figura 3.6: Descarga de silos de material granular. a) Descarga con flujo másico; b) Descarga con flujo central.

Fuente: <http://www.solids.es/es/instalaciones-sistemas/silos-equipados/instalaciones-de-silos-silos-ade cuados-para-los-productos.html>

Las irregularidades en el flujo de descarga de los silos son esencialmente la formación de chimenea y formación de bóvedas, ambas condiciones impiden la descarga del material; ver Figura 3.7.



a) Formacion de chimenea. b) Formacion de boveda.

Figura 3.7: Irregularidades en el flujo de descarga. a) Flujo irregular con formación de chimenea; b) Discontinuidad en el flujo por formación de bóveda.

Fuente: <http://www.solids.es/es/instalaciones-sistemas/silos-equipados/instalaciones-de-silos-silos-ade cuados-para-los-productos.html>

Una de las características inherentes a todo medio granular es su capacidad para formar arcos, también llamados puentes o bóvedas. Un arco es un conjunto de partículas estructuradas espacialmente de tal modo que se sostienen entre sí, ver Figura 3.8. Las partículas al formar un arco se estabilizan mutuamente entre sí; cuando uno de los granos es eliminado de la estructura de soporte, la estructura se viene abajo debido a la acción de la gravedad [6].

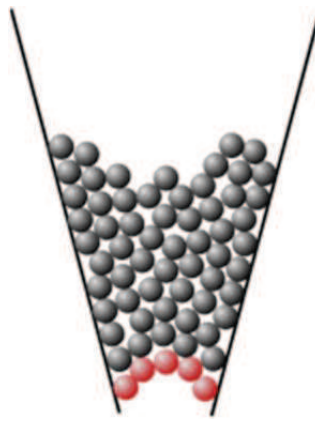


Figura 3.8: Estructuración de partículas formando un arco sustentado.
 Fuente: https://es.wikipedia.org/wiki/Materia_granular.

La cantidad de arcos y su tamaño influye en la fracción de compactación y en el número de coordinación de la interacción de partículas. La carga o peso propio de un elemento granular en particular es sustentado por las partículas que se encuentra bajo ésta al distribuir la carga con los elementos que se encuentran en contacto, ver Figura 3.9. Los arcos son también el origen de la falta de regularidad en la propagación de las fuerzas, así como los causantes de uno de los problemas de mayor importancia en los medios granulares: los atascos cuando fluyen por un orificio [7].

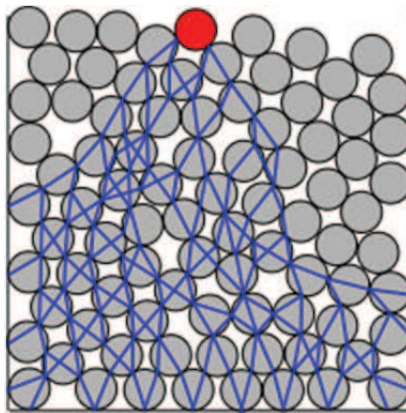


Figura 3.9: Propagación de la carga de un elemento sobre el conjunto de partículas.
 Fuente: https://es.wikipedia.org/wiki/Materia_granular.

Para eliminar los atascos en la descarga de silos es necesario implementar sistemas de extracción mecánicos que faciliten el flujo de material desde el silo.

Los distintos sistemas de extracción y descarga de los silos, que son de interés para el presente trabajo de título, se describen a continuación [8]:

- ✓ **Descarga por gravedad:** Descarga para silos de fondo cónico, utilizado típicamente para materiales granulares que tienen facilidad para fluir, ver Figura 3.10.

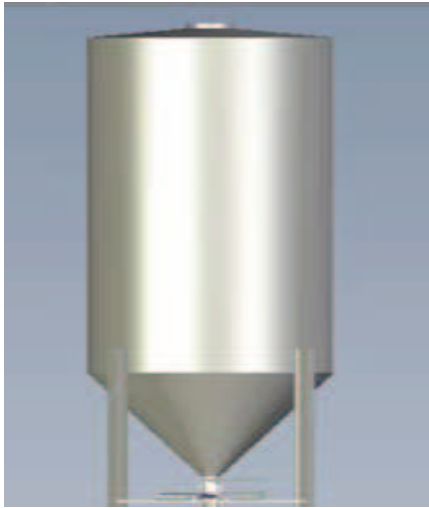


Figura 3.10: Descarga de silo por gravedad.

Fuente: <http://www.sycsa.com>.

- ✓ **Descarga Mecánica Rotativa:** Este sistema de descarga contempla una motorización, que puede ir dentro o fuera del silo. El giro del rotor empuja el material hacia una lumbrera central de descarga, ver Figura 3.11.



Figura 3.11: Descargador rotatorio de silo de fondo plano.

Fuente: Fuente: <http://www.coscollolaengineering.com/almacenamiento/>

- ✓ **Descarga Mecánica de movimiento alternativo:** Este sistema de descarga consiste en un mecanismo de arrastre de movimiento alternativo ubicado en la parte inferior de un silo de fondo plano. Los arrastradores empujan el material hacia la lumbrera de descarga. La descarga mecánica por movimiento alternativo puede ser accionada por cilindros hidráulicos y conformada por un sistema deslizante que empuja el material hasta las bocas de descarga donde se encuentran extractores; ver Figura 3.12.

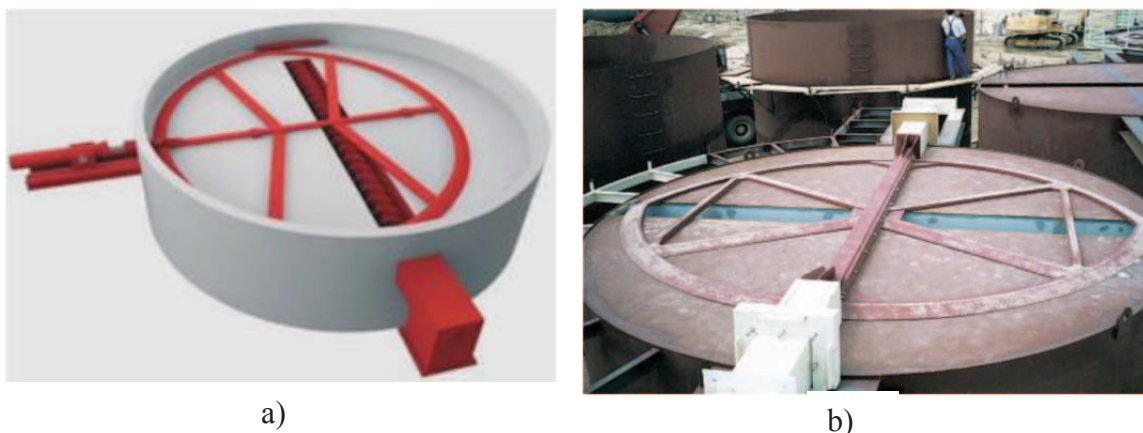


Figura 3.12: Silo de fondo plano. a) Esquema del mecanismo de arrastre de material, b) Mecanismo de arrastre para silos de fondo plano.

Fuente: <http://montaurea.com/productos/extractores-de-silos-de-fondo-plano/>

- ✓ **Descarga Mecánica de ejes encontrados:** Este sistema consiste en dos ejes estriados que giran en sentidos opuestos, el material es arrastrado por estos dos ejes hacia el chute de descarga; el flujo de material es controlado en parte por la abertura entre los ejes y la velocidad de rotación de ellos, ver Figura 3.13.

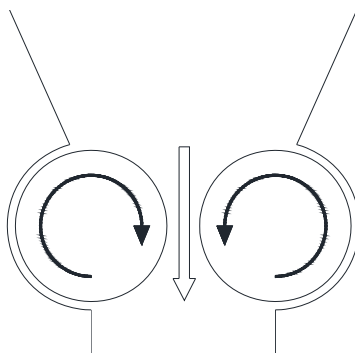


Figura 3.13: Descargador de ejes encontrados.

Fuente: Elaboración Propia.

- ✓ **Descargador de tornillo:** Este mecanismo de descarga utiliza un tornillo helicoidal en la parte baja del silo. La alimentación de este transportador se realiza por gravedad o por elementos que mueven el material hacia la zona de carga del tornillo. El giro del tornillo arrastra material hacia la zona de descarga; ver Figura 3.14.

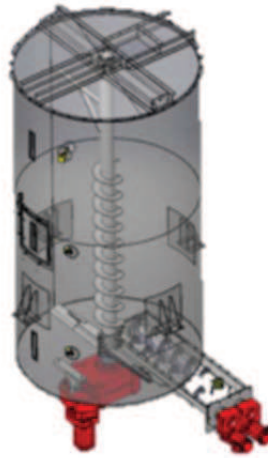


Figura 3.14: Descarga con tornillo helicoidal.

Fuente: <http://www.coscollolaengineering.com/almacenamiento/>

La pasta de baterías es un material complejo que no fluye como los materiales granulares y presenta grandes complicaciones para el diseño del silo. Por ello, es necesario efectuar un desarrollo especial de acuerdo a los requerimientos del material.

3.6 Dosificación Continua de Materiales

La dosificación de materiales se efectúa de manera continua a través de equipos dosificadores gravimétricos [9], ver Figura 3.15. Estos dosificadores son de tipo bandas de pesaje inteligente o básculas dosificadoras (en inglés WeightFeeder) instaladas bajo los silos, que permiten dosificar cada material en la justa proporción. De esta manera se obtiene la mezcla deseada bajo los parámetros estipulados/definidos por la planta. Esta etapa del proceso, utilizando Weightfeeder, permite que el ingeniero de procesos pueda modificar las proporciones de cada uno de los materiales que constituye la mezcla con una alta precisión, logrando un gran control sobre el proceso productivo con la posibilidad de optimizar la utilización de materiales y el rendimiento de la fundición.

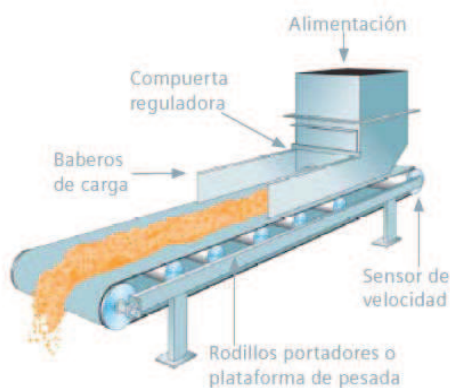


Figura 3.15: Descripción de componentes de un WeightFeeder.

Fuente: <http://w3.siemens.com/mcms/sensor-systems/es/sistemas-de-pesaje-y-dosificacion/soluciones-y-aplicacion>

En general, el funcionamiento típico de una báscula dosificadora consiste en el control del flujo entrante/saliente de material a un proceso. Una compuerta mecánica integrada regula la descarga de material (altura, perfil) en el transportador según su granulometría. La velocidad de avance del transportador regula el flujo del material.

Con la deflexión de la celda de carga se determina la carga de material en la cinta. Una electrónica de pesaje (integrador) procesa la señal y la velocidad de la cinta para determinar la velocidad de avance del material en la cinta. La velocidad de avance se mantiene constante aumentando o disminuyendo la velocidad de la cinta conforme aumenta o disminuye la descarga de material en la báscula dosificadora. El motor conectado a un variador de frecuencia (VDF) y controlado por un programable logic computer (PLC), controla la velocidad de la cinta.

La báscula dosificadora permite alimentar una cantidad dosificada de material de un punto a otro del mismo proceso. La báscula dosificadora logra:

- Calcular la cantidad total de material transportado.
- Emitir señales de salida para registro de operaciones.
- Generar alarmas de caudal alto/bajo o de velocidad de cinta.

3.7 Ensayos para Caracterización de Sólidos Granulares y Pastas

3.7.1 Granulometría de Pasta de Baterías

Para poder desarrollar satisfactoriamente el diseño del silo dosificador, ya que la pasta de baterías tiene distintos tamaños de partículas desde borras a bornes de baterías; se realiza el ensayo de granulometría por tamizado. Se hace necesario conocer el tamiz de los materiales constituyentes a fin de poder diseñar o seleccionar correctamente los equipos a emplear [10].

Por análisis granulométrico de un agregado se entiende al procedimiento manual o mecánico por medio del cual se puede separar las partículas constitutivas del agregado según tamaños; de tal manera que se puedan conocer las cantidades en peso de cada tamaño que aporta el peso total. Para separar por tamaños se utilizan las mallas de diferentes aberturas, las cuales proporcionan el tamaño máximo de agregado en cada una de ellas. En la práctica los pesos de cada tamaño se expresan como porcentajes retenidos en cada malla con respecto al total de la muestra.

Los principales parámetros y respuesta derivados de un ensayo de granulometría por tamizado son [10]:

- ✓ **Módulo de Finura:** Corresponde a la centésima parte de la suma de los porcentajes acumulados retenidos en los tamices de la serie preferida o estándar de acuerdo a la normativa a la que se aplica el ensayo.
- ✓ **Porcentaje acumulado que pasa por un tamiz:** Porcentaje en masa de todas las partículas de menor tamaño que la abertura de un determinado tamiz. Se calcula como la diferencia entre el 100% y el porcentaje acumulado retenido en ese tamiz.

- ✓ Porcentaje acumulado retenido en un tamiz: Porcentaje en masa de todas las partículas de mayor tamaño que la abertura de un determinado tamiz. Se calcula como la suma del porcentaje parcial retenido en ese tamiz más todos los porcentajes parciales retenidos en los tamices de mayor abertura.
- ✓ Porcentaje parcial retenido en un tamiz: Porcentaje en masa correspondiente a la fracción directamente retenida en un determinado tamiz.

En el acondicionamiento y tamaño de la muestra de ensayo establecido en la NCh. 164-2009 [11] se detalla que la muestra de laboratorio se homogeneiza cuidadosamente en estado húmedo y se reduce por cuarteo para obtener, en estado seco, un tamaño ligeramente superior a los valores que se indican. No se permite hacer la reducción en estado seco ni tampoco reducir a una masa exacta predeterminada. Luego la muestra se seca hasta masa constante en estufa u horno a 110 ± 5 °C.

En la Tabla 3.2 se muestra el número de tamiz, su abertura según la norma ASTM D-422.

Tabla 3.2: Serie de tamices ASTM D422.

Número	Abertura	Número	Abertura	Número	Abertura	Número	Abertura
5"	127,00	0,875"	22,23	8	2,360	80	0,180
4,24"	107,70	0,75"	19,05	10	2,000	100	0,150
4"	101,60	0,625"	15,88	12	1,700	120	0,125
3,5"	88,90	0,53"	13,46	14	1,400	140	0,106
3,25"	82,55	0,5"	12,70	16	1,180	170	0,090
3"	76,20	0,4375"	11,11	18	1,000	200	0,075
2,5"	63,50	0,375"	9,53	20	0,850	230	0,065
2,12"	53,85	0,3125"	7,94	25	0,710	270	0,053
2"	50,80	0,265"	6,73	30	0,600	325	0,041
1,75"	44,45	0,25"	6,35	35	0,500	400	0,035
1,5"	38,10	4	4,75	40	0,430	450	0,031
1,25"	31,75	5	4,00	50	0,360	500	0,028
1,06"	26,92	6	3,35	60	0,250	635	0,021
1"	25,40	7	2,80	70	0,212		

Fuente: ASTM D-422.

3.7.2 Ángulo de Reposo para Materiales de Proceso

Para poder desarrollar satisfactoriamente el diseño del silo dosificador y las inclinaciones críticas en las zonas de carga-descarga de la PBat, uno de los parámetros importante lo constituye la obtención del ángulo de reposo [12].

El ángulo de reposo de un material es el ángulo entre la horizontal y el perímetro del cono que se forma al apilar libremente esta materia. En la Figura 3.16, se muestra un esquema de la instalación para la determinación del ángulo de reposo.

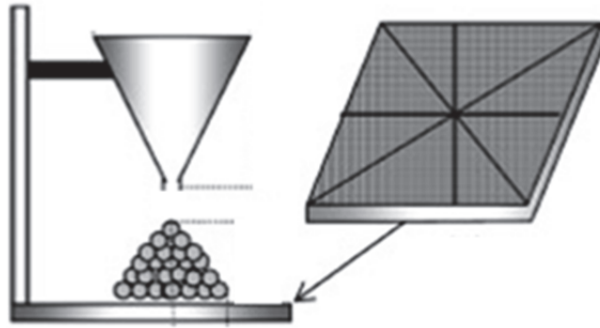


Figura 3.16: Esquema de montaje para determinar el ángulo de reposo de un material.

Fuente: <http://www.scielo.cl/fbpe/img/ric/v22n2/fig05-01>

Los instrumentos para realizar la prueba y medición del ángulo de reposos son los siguientes:

- ✓ Cono con diámetro de salida entre 64 mm y 94 mm y para 113,5 g y 227,2 g de material.
- ✓ Estructura para sostener el cono.
- ✓ Tapón para la salida del cono.
- ✓ Base plana de madera o metal de al menos 30,5 cm x 30,5 cm.
- ✓ Papel para cubrir la base plana.
- ✓ Pie de metro con capacidad para medir sobre 30,5 cm.
- ✓ Cartón con altura de 3,81 cm.

El ensayo se realiza según la siguiente rutina:

- a) Obtener una muestra de por lo menos 454 g desde un contenedor con 30% o 50% más que la muestra representativa.
- b) Medir el diámetro interno del cono.
- c) Instalar la estructura para sostener el cono. Fijar la altura a la base empleando el cartón de 3,81 cm.
- d) Asegurar el tapón en la salida del cono y llenarlo con el material hasta el tope.
- e) Retirar el tapón del cono y verter el material a aproximadamente la misma tasa en que éste cae desde el cono, hasta que el tope del material tope con la boca del cono.
- f) Medir en 4 puntos el diámetro del montículo considerando hasta la partícula más lejana a 13 mm. El diámetro resultante del examen es el promedio de estos 4.
- g) Devolver el material al contenedor inicial, revolver y repetir desde el punto a) hasta obtener 3 muestras del diámetro.

h) Para las tres muestras obtenidas, calcular el ángulo de reposo con la ecuación [3.1]

$$\theta_0 = \tan^{-1} \left[\frac{2H}{D_a - d} \right] \quad [3.1]$$

Donde:

θ_0	Ángulo de reposo.
H	Altura del cono de descarga.
D_a	Diámetro basal.
d	Diámetro descarga embudo.

3.7.3 Ensayo de Descarga Gravitacional

El ensayo de descarga gravitacional se realiza para verificar la formación de bóvedas en la zona de descarga. Además, se evalúa la utilización de medios mecánicos de vibración para destruir las bóvedas y permitir el flujo de descarga. Se utiliza un silo de base piramidal a escala con ángulo de pared de 51° , la lumbrera de descarga tiene una sección de paso de $0,04 \text{ m}^2$. El silo de ensayo está confeccionado con UHMWPE para minimizar el efecto de roce entre las paredes y el material.

Método de ensayo: El silo se carga con PBat hasta $1/3$ de la altura de la zona piramidal y se evalúa la capacidad de descarga. Posteriormente se adiciona un volumen de pasta hasta completar el siguiente tercio y así sucesivamente; hasta que el material no se pueda descargar por gravedad.

Cuando se forma la bóveda en la zona de descarga se utiliza una sonda vibradora para inducir el flujo y, de esta forma, evaluar la destrucción de bóvedas por vibración focalizada.

3.7.4 Resistencia al Cizalle

A diferencia de los fundentes y aglomerantes, cuyas características permiten utilizar silos convencionales de base piramidal o cónica para su almacenamiento y con descarga por gravedad, la pasta de baterías presenta propiedades particulares/peculiares que obligan a efectuar un desarrollo especial para su almacenamiento. En este sentido una de las principales complicaciones es su escasa capacidad para fluir existiendo dos aspectos determinantes: i) Geometría del silo, que determina la inviabilidad para el escurrimiento de material en silos de base piramidal o cónica y ii) Mecanismo de evacuación, del cual se deduce que no es factible evacuar la pasta de baterías por gravedad. De este modo, el ensayo de cizalle de sólidos a granel que utiliza el método de la celda de Jenike, tiene por objetivo determinar la fuerza de cohesión que posee la pasta de baterías para el desarrollo de un silo de fondo plano y descarga por arrastre mecánico.

La metodología de ensayos de cizalle se basa en la Norma ASTM D6218-97 [13] que define el método utilizado para medir las fuerzas de cohesión y las propiedades de flujo de un sólido con un tamaño pequeño de partícula. Esta metodología genera planos de deslizamiento y permite la evaluación de los esfuerzos involucrados en éstos. El procedimiento incluye los siguientes pasos:

- Estandarización de la pasta de baterías, esto es la hidratación de la pasta hasta obtener un rango de humedad de 12 hasta 15 % medido en relación peso-peso.
- Medición de las cargas de empuje horizontal necesarias para obtener los desplazamientos relativos requeridos.
- Llenado de los marcos para ensayos con pasta de baterías estandarizada.
- Compactación y nivelación de la superficie superior del marco, instalación de cargas verticales, la pasta de baterías debe quedar homogéneamente distribuida en los marcos para los ensayos.

Ensayo de celda Jenike.

La celda de Jenike está compuesta por un anillo inferior cerrado y un anillo superior del mismo diámetro sobre el cual se dispone una tapa. El material sólido es vaciado en la celda y luego se aplica una carga sobre la tapa. La parte superior de la celda es desplazada horizontalmente mediante un cilindro de empuje, tal como se muestra en la Figura 3.17, originando una deformación de cizalle en el sólido donde se obtiene/calcula el esfuerzo normal y el esfuerzo cortante, dividiendo ambas fuerzas por la sección transversal de la celda [13].

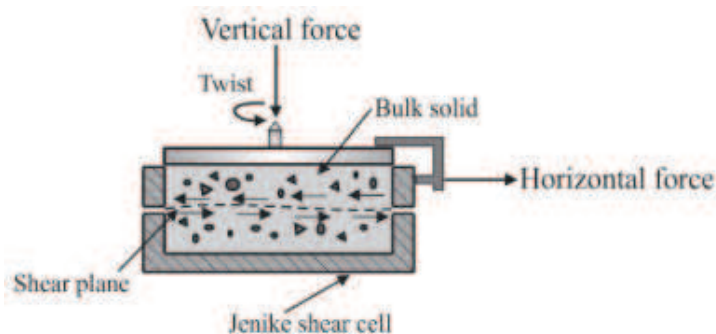


Figura 3.17: Esquema de celda de Jenike.

Fuente: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-69162013000300003.

El ensayo de Jenike no considera el ajuste de fuerza por roce entre los anillos, para el cilindro de empuje utilizado se corrige la fuerza en función de la presión del cilindro; dado que se tiene un resorte de compresión al interior del cilindro. Las dimensiones de la celda de Jenike de tamaño pequeño se muestran en la Tabla 3.3.

Tabla 3.3: Dimensiones de celda de Jenike.

Designación	Valor	Unidad
Diámetro del anillo	63,5	mm
Altura anillo superior	11,1	mm
Altura anillo inferior	9,5	mm

Fuente: ASTM D6218-97.

4 Resultado de Caracterización de la PBat

4.1 Ensayo de Granulometría

El ensayo de granulometría por tamizado de la PBat se realizó en el Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Central de Chile (LEMUC). Los resultados de la muestra enviada a analizar se muestran en la Tabla 4.1.

Tabla 4.1 Ensayo de granulometría de la pasta de batería.

Pasta de Batería		
Tamiz	Peso Acumulado	% que pasa
1/2"	12,50	100
3/8"	9,50	94
1/4"	6,30	88
N°4	4,75	83
N°8	2,36	63
N°16	1,18	42
N°30	0,60	35
N°50	0,30	28
N°100	0,15	19
MF		3,36

Fuente: Elaboración propia.

La PBat está compuesta por un material no homogéneo respecto al tamaño de partículas, se desprende de los resultados que un porcentaje no menor (19 %) de partículas presentan un tamaño inferior a 0,15 mm (tamiz malla 100). Este material forma una pasta que aporta a la cohesión de las partículas mayores.

El porcentaje de PBat retenido en los tamices se muestra en la Tabla 4.2. Se observa que el 41% del material de la muestra tiene tamaño de partícula menor a 4,75 mm y mayor que 1,18 mm.

Tabla 4.2: Porcentaje de PBat retenido en cada tamiz.

Pasta de Batería		
Tamiz	Luz Tamiz	% Retenido
1/2"	12,50 mm	0
3/8"	9,50 mm	6
1/4"	6,30 mm	6
N°4	4,75 mm	5
N°8	2,36 mm	20
N°16	1,18 mm	21
N°30	0,600 mm	7
N°50	0,300 mm	7
N°100	0,150 mm	9
< N° 100	< 0,150 mm	19

Fuente: Elaboración Propia.

El gráfico de la Figura 4.1 muestra la distribución porcentual del tamaño de partícula de la muestra de PBat, se puede observar que los tamices N°8 y N°16 tienen un alto porcentaje de material retenido; también se observa que hay un porcentaje importante de material de tamaño fino (#100).

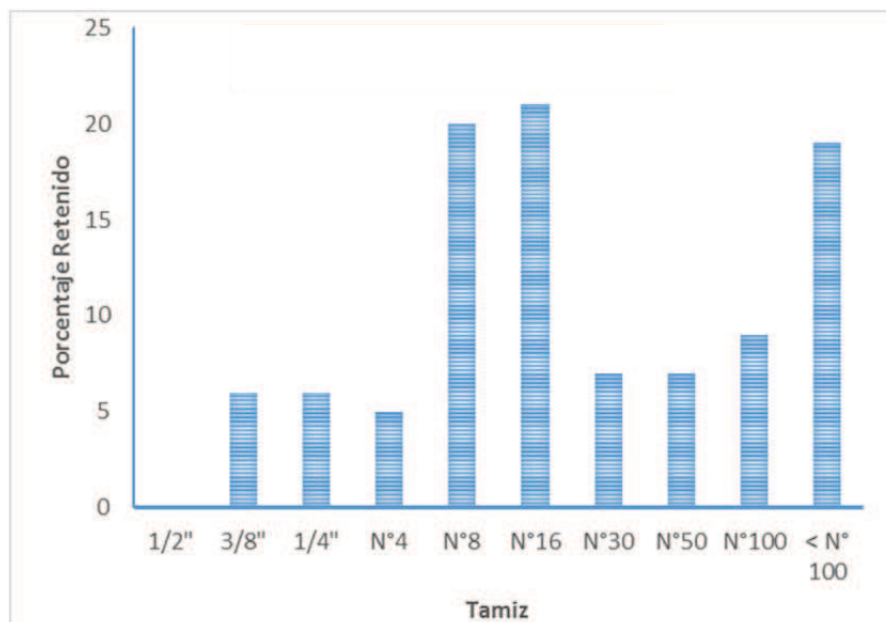


Figura 4.1: Histograma de distribución de porcentual de tamaño partícula de la PBat.

Fuente: Elaboración Propia.

4.2 Ensayo del Ángulo de Reposo

El ensayo del ángulo de reposo de la PBat proporciona los datos experimentales de Tabla 4.3, en la que se muestran los valores del diámetro basal de distintas muestras de PBat.

Tabla 4.3: Diámetros basales en ensayo de ángulo de reposo.

Muestra	Diámetro basal	Unidad
1	71,50	mm
2	68,50	mm
3	71,00	mm

Fuente: Elaboración Propia.

Para el cálculo del ángulo de reposo se utiliza el promedio de las distintas muestras ensayadas, el resultado se muestra en la Tabla 4.4.

Tabla 4.4: Ángulo de reposo de la PBat.

Parámetro	Valor	Unidad
D_A	70,33	[mm]
d	9,00	[mm]
H	38,10	[mm]
Ángulo Reposo	51,17	[°]

Fuente: Elaboración Propia.

Los principales factores que influyen en el ángulo de reposo de un material en particular son los siguientes:

- ✓ Tamaño de la partícula.
- ✓ Rugosidad de la superficie de la partícula.
- ✓ Esfericidad de la partícula.
- ✓ Humedad del material.
- ✓ Homogeneidad del material.

El ángulo de reposo indica la fricción interparticular, a mayor ángulo mayor fricción interparticular. En el estudio, el ángulo de reposo obtenido en los ensayos es de $51,17^\circ$, lo que indica que es un material que no fluye fácilmente. Para el diseño del silo dosificador este dato es de vital importancia ya que determina el ángulo de elevación de la conicidad de la zona de descarga.

4.3 Ensayo de Descarga Gravitacional

El ensayo de descarga gravitacional permite visualizar la viabilidad de la utilización de silos convencionales para materiales reológicamente complejos como la PBat.

Para la realización de este ensayo se utiliza un silo revestido de UHMWPE el cual tiene un coeficiente de roce menor que el de acero AISI 316, de esta forma se verifica que el atascamiento y formación de bóvedas es atribuible principalmente a las propiedades reológicas del material.

Formación de Bóvedas

En la descarga gravitacional de un silo de acumulación de PBat de base piramidal, ver Figura 4.2, como los utilizados para la acumulación de los fundentes para el proceso de dosificación de materiales, se comprueba que no es viable este tipo de descarga para la pasta de baterías; dado que el material forma bóvedas en la zona de descarga.

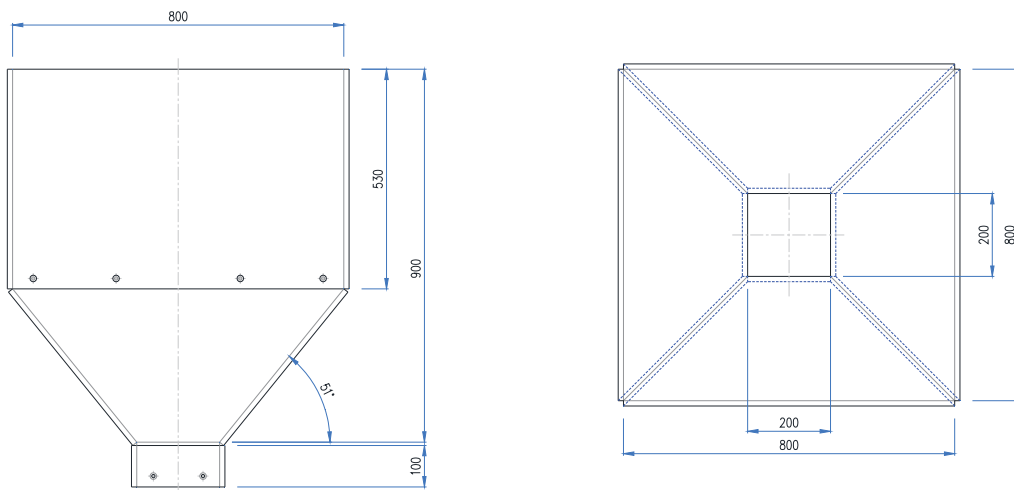


Figura 4.2: Silo de ensayo de base piramidal para descarga gravitacional.

Fuente: Elaboración Propia.

En la Figura 4.3 se observa la formación de bóveda en la descarga del silo de prueba, este atascamiento se produce al cargar el silo con un cuarto de la capacidad nominal de éste. Además, se observa que no hay compactación de la PBat en la zona de descarga debido a la baja carga del silo.

La PBat no fluye en la zona de descarga formando una bóveda en la parte inicial del chute, se utiliza una sonda vibratoria para producir perturbación en la cohesión de las partículas constituyentes de la pasta. La sonda no logra hacer fluir el material, solo se generan orificios en la zona de descarga.



Figura 4.3: Atasco en la salida de la tolva del silo de ensayo.
Fuente: Elaboración Propia.

4.4 Ensayo de Cizalle con Celda de Jenike

Para realizar el ensayo de cizalle con celda de Jenike [13] se utiliza un cilindro hidráulico de simple efecto para ejercer la fuerza necesaria para el desplazamiento y el corte del material de ensayo, ver Figura 4.4. La parte inferior de la celda inferior se fija con un cilindro empernado a la base para evitar el desplazamiento y el volteo de ésta. La carga vertical requerida se aplica instalando peso calibrados sobre la tapa del anillo superior, ver Figura 4.5

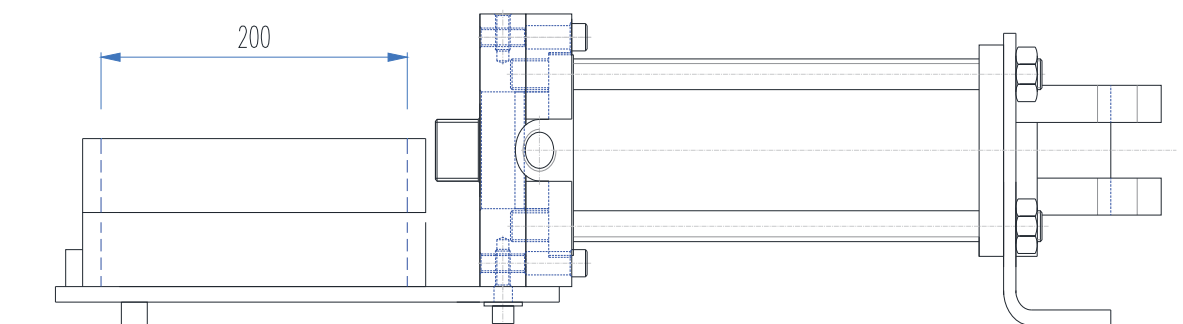


Figura 4.4: Equipo de ensayo para generar el plano de corte.
Fuente: Elaboración Propia.

En el ensayo de granulometría se aprecia que la PBat tiene un 6 % de partículas con un tamaño superior a 9,5 [mm] y la altura del anillo inferior de la celda de Jenike es de 9,5 [mm] quedando elementos sólidos entre los anillos, los que son sometidos a esfuerzos de corte. Un análisis visual de la pasta de batería, muestra que las partículas de tamaño superior a 9,5 mm están formadas por láminas delgadas (separadores de la batería) y trozos sólidos de plomo metálico (parte de los bornes de las baterías). Por lo anterior, se requieren anillos de mayor altura que 9,5 [mm].

4.5 Ensayo de Esfuerzo de Cizalle con Celda Jenike Modificada

A partir del análisis del desempeño de ensayos con celda de Jenike original se decide modificar la altura de la celda para determinar la cohesión entre partículas y no el esfuerzo de ruptura de las partículas en forma individual (en particular los trozos de bornes). Las modificaciones de las dimensiones de la celda de Jenike se observan en la Tabla 4.5.

Tabla 4.5: Modificaciones a la altura de la celda de Jenike para ensayo de PBat.

Designación	Valor	Unidad
Diámetro del disco	63,5	mm
Altura celda superior	25,0	mm
Altura celda inferior	25,0	mm

Fuente: Elaboración Propia.

La celda de Jenike modificada en la altura (25 mm) permite evaluar el esfuerzo de cizalle de la PBat sin la perturbación en la medición por el esfuerzo de ruptura de elementos sólidos, ver Figura 4.5.

El procedimiento para realizar el ensayo para determinar el esfuerzo de cizalle y la generación de un plano de corte es el siguiente:

- Instalar la carga vertical sin PBat entre los anillos.
- Calibrar la presión de corrección en el cilindro de empuje, por el efecto del roce entre los anillos de ensayo.
- Llenar los anillos de ensayo, compactar y allanar la zona superior. Aplicar la presión hidráulica para el desplazamiento y generar el plano de corte por cizalle en la PBat.
- Retirar los anillos una vez que se ha realizado el desplazamiento relativo de éstos y verificar la formación de un plano de corte por cizalle en la PBat.

Para realizar el ajuste de la presión para compensar el resorte interior del cilindro de simple efecto, se realiza el recorrido del vástago del cilindro sin tener instalada la celda de Jenike; de esta forma se tabula la presión necesaria para un desplazamiento dado.



Figura 4.5: Ensayo de celda de Jenike.
Fuente: Elaboración Propia.

La fuerza máxima ejercida por el resorte del cilindro hidráulico para un desplazamiento del vástago de 35 mm, se muestra en la Tabla 4.6. Este es el desplazamiento máximo que se puede obtener de un anillo sobre el otro, sin que se desequilibren los pesos que ejercen la carga vertical.

Tabla 4.6: Fuerza del resorte para desplazamiento de 35 mm.

Carrera Vástago [mm]	Presión de prueba [kg/cm²]	Fuerza [kg]
35	0,3	14

Fuente: Elaboración Propia.

La preparación de la muestra para realizar el ensayo consiste en la hidratación de la pasta de baterías. Posteriormente se rellenan los anillos con el material allanado la superficie superior para luego instalar la tapa y los pesos equivalentes a una carga vertical de 18 kg.

El ensayo realizado con una carga vertical de 18 kg y un desplazamiento de 35 mm, ver Figura 4.6, se observa que no se logra generar un plano de corte bien definido, además se puede ver que al inicio del desplazamiento relativo de los anillos hay arrastre de material por parte del anillo superior, ver Figura 4.7.



Figura 4.6: Carga aplicada a la celda de Jenike.
Fuente: Elaboración Propia.



Figura 4.7: Zona de desplazamiento de material en celda de Jenike.
Fuente: Elaboración Propia.

La presión manométrica del cilindro hidráulico, tanto para compensar la carga del resorte como para efectuar el desplazamiento, se utiliza para calcular la fuerza efectiva ejercida para el desplazamiento relativo de los anillos. Esta fuerza se obtiene al multiplicar la diferencia de las presiones (total – corrección) por el área de presión del cilindro. Estos valores se muestran en la Tabla 4.7.

Tabla 4.7: Fuerza para desplazamiento relativo de 35 mm.

Desplazamiento [mm]	Presión total [kg/cm²]	Presión de corrección [kg/cm²]	Fuerza [kg]
35	0,85	0,3	26
35	0,80	0,3	23

Fuente: Elaboración Propia.

En estos ensayos se observa que el anillo superior se desplaza en forma vertical aproximadamente 1 mm. Por tratarse de un desplazamiento dentro del orden de magnitud del largo de los filamentos, que componen la pasta de baterías, se observa un pequeño volumen que se desplaza en la dirección del movimiento del anillo superior.

4.6 Ensayo de Esfuerzo Cizalle con Marco

El sistema de descarga mecánica de los silos, contempla desplazamientos muy superiores a los alcanzados con los ensayos de celda de Jenike. Además, se debe evaluar la separación entre los elementos transportadores tal que se genere un plano de corte, se minimice el arrastre y se produzca una posterior compactación en la zona inmediatamente superior al área de descarga.

Para los ensayos de cizalle para generar un plano de corte se utilizan marcos de corte de distinto largo, con el fin de evaluar la distancia mínima requerida para generar un plano de corte definido y de esta forma dimensionar correctamente los elementos de arrastre del descargador del silo de fondo plano.

Las dimensiones de estos marcos se muestran en la Tabla 4.8, la altura de los marcos es la suficiente para evitar la influencia de la rotura de las partículas sólidas en forma individual.

Tabla 4.8: Dimensiones de marcos para ensayo de esfuerzo de cizalle.

Dimensión	Marco 1 [mm]	Marco 2 [mm]
Altura	38	38
Ancho	100	100
Largo	200	350

Fuente: Elaboración Propia.

4.6.1 Ensayo de Esfuerzo de Cizalle con Carga Vertical de 40 kg

Para el ensayo de esfuerzo de cizalle se utiliza el marco de acero de 100 x 200 mm, sobre éste se aplica una carga vertical de 40 kg compuesta por pesos calibrados. La fuerza de corrección se define como la fuerza ejercida por el cilindro para vencer la fuerza del resorte y el roce de un marco sobre el otro con una carga vertical de 40 kg. Los resultados se muestran en la Tabla 4.9.

Tabla 4.9: Fuerza de corrección del cilindro para carga vertical de 40 kg.

Carrera Vástago [mm]	Presión de corrección [kg/cm ²]	Fuerza de corrección [kg]
100	0,8	38

Fuente: Elaboración Propia.

Los resultados de los ensayos de esfuerzo de cizalle se muestran en la Tabla 4.10. En esta tabla se observa que la fuerza se incrementa en un 27% cuando el desplazamiento difiere solo en un 10%, esto indica que la distancia requerida para generar el plano de corte por cizalle es de 100 mm.

Tabla 4.10: Resultados de ensayos con 40 kg de carga vertical.

Desplazamiento [mm]	Presión total [kg/cm ²]	Fuerza [kg]	Esfuerzo [kg/cm ²]
100	1,96	55,1	0,55
90	1,54	40,0	0,36

Fuente: Elaboración Propia.

En ambas pruebas con una carga vertical de 40 kg, la pasta de baterías se acumula en gran parte de la sección que se desplaza; levantando los pesos que ejercen la carga vertical. En la Figura 4.8 se observa la compactación y acumulación de la PBat antes de generar un plano de corte.

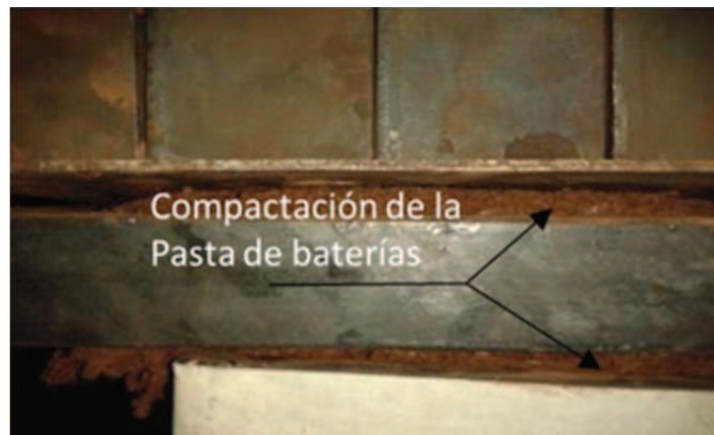


Figura 4.8: Ensayo de corte y compactación antes de generar el plano de corte.

Fuente: Elaboración Propia.

En la Figura 4.9 se puede observar la formación de un plano de corte, este plano no es completo con respecto a la sección de unión que queda al completar el desplazamiento de los marcos.



Figura 4.9: Formación de un plano de corte parcial.
Fuente: Elaboración Propia.

4.6.2 Ensayo Esfuerzo de Cizalle con Carga Vertical de 95 kg

Para el ensayo de esfuerzo de cizalle con un desplazamiento superior a 100 mm se utiliza un marco de 100 x 350 mm, este marco se utiliza para poder extender el desplazamiento para conseguir un plano de corte extendido. Se aplica una carga vertical de 95 kg instalando pesos calibrados sobre la pasta de baterías.

La fuerza de corrección para un desplazamiento de 150 mm y una carga vertical de 95 kg se muestra en la Tabla 4.11.

Tabla 4.11: Fuerza de corrección del cilindro.

Carrera Vástago [mm]	Presión de corrección [kg/cm ²]	Fuerza de corrección [kg]
150	1,32	63

Fuente: Elaboración Propia.

El resultado del ensayo se muestra en la Tabla 4.12. El ensayo se detuvo por peligro de volcamiento de los pesos que ejercen la carga vertical, ver Figura 4.10, la inestabilidad se debe a la acumulación de pasta en la zona de corte.

Tabla 4.12: Resultado de ensayo con 95 kg de carga vertical.

Desplazamiento [mm]	Presión Total [kg/cm ²]	Fuerza [kg]
140	3,56	106

Fuente: Elaboración Propia.



Figura 4.10: Volcamiento de pesos para carga vertical 95 kg.

Fuente: Elaboración Propia.

Tal como se puede observar en Figura 4.11, la pasta de baterías se acumula en la zona de desplazamiento y en forma preferente en la zona cercana al extremo posterior de la placa de arrastre.

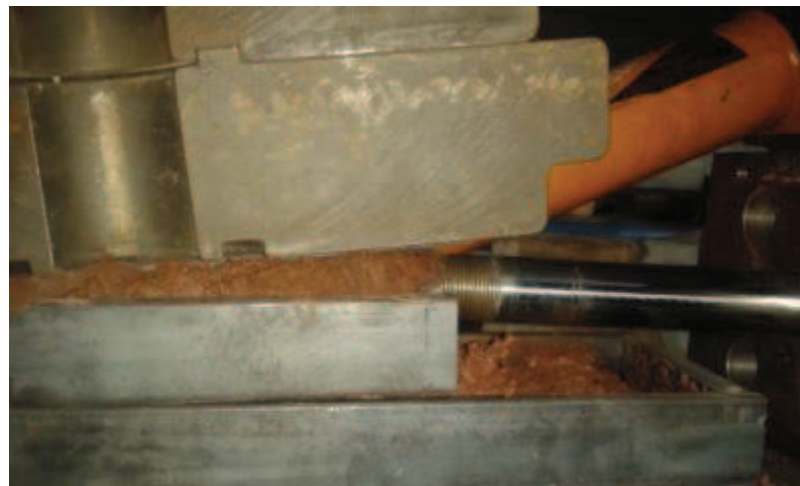


Figura 4.11: Acumulación de pasta de batería en la zona posterior del marco de ensayo.

Fuente: Elaboración Propia.

En la Figura 4.12 se observa que el desplazamiento del marco superior forma un vacío en la parte frontal del marco inferior, esto es debido al arrastre y acumulación de material en el marco superior. Además, se puede observar que toda la sección de deslizamiento genera acumulación de pasta de baterías.



Figura 4.12: Arrastre de pasta de baterías.
Fuente: Elaboración Propia.

En la Figura 4.13 se logra apreciar que en la parte frontal hay arrastre de material y en la zona central la pasta se compacta. Además, se observa escurrimiento de líquido en la parte trasera debido a la compactación de la pasta.



Figura 4.13: Compactación de pasta de baterías.
Fuente: Elaboración Propia.

En el gráfico de la Figura 4.14 se observa la fuerza de empuje sobre la placa de prueba versus el desplazamiento de ésta. La fuerza de empuje se calcula con la presión de aceite del cilindro, me-

didada directamente de un manómetro instalado en la línea de carga del cilindro. El desplazamiento de la placa superior se mide con una regla instalada en la placa fija. Se tabulan los resultados de presión cada 10 mm de desplazamiento.

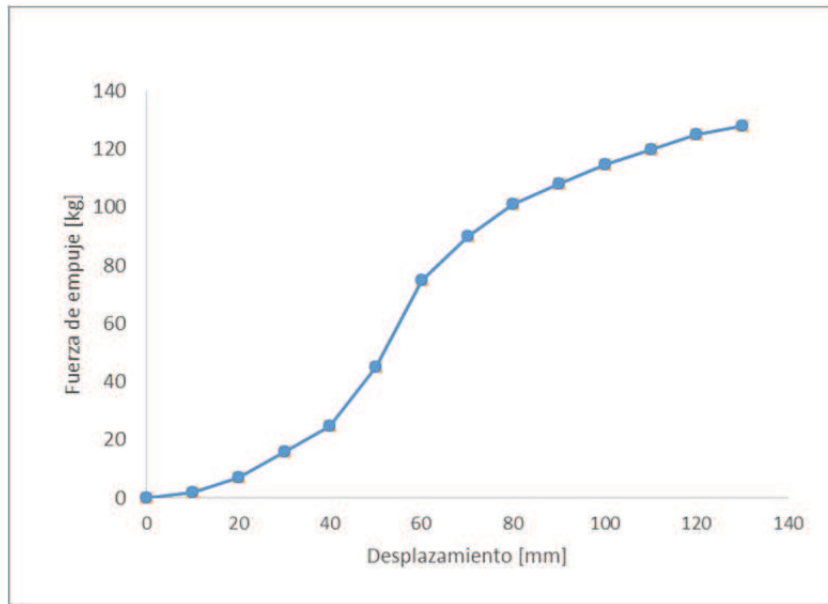


Figura 4.14 Gráfico de fuerza de empuje vs desplazamiento en ensayo de cizalle.
Fuente: Elaboración Propia.

En el gráfico de la Figura 4.15 se observa el esfuerzo de corte de la PBat versus el desplazamiento de la placa de prueba. El esfuerzo de corte se calcula como la razón entre fuerza de empuje y el área de traslape de las placas de ensayo, para cada desplazamiento tabulado.

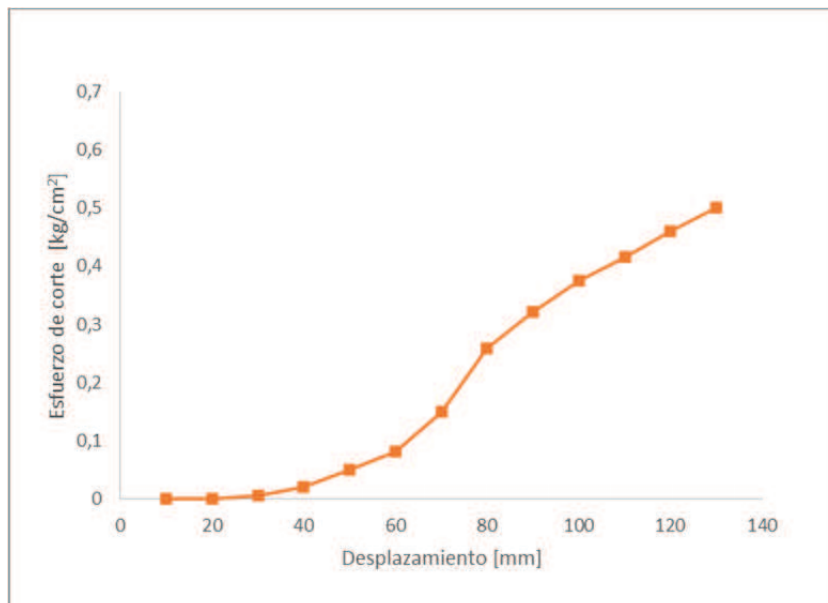


Figura 4.15 Gráfico de esfuerzo de corte vs desplazamiento en ensayo de cizalle.
Fuente: Elaboración Propia.

4.7 Análisis de Resultados de los Ensayos para el Diseño del Silo

El análisis de los resultados de los ensayos de granulometría, ángulo de reposo, descarga gravitacional, celda de Jenike y esfuerzo de cizalle realizados a la PBat; para el diseño del silo dosificador y su mecanismo de descarga se describe a continuación.

Composición y Granulometría de la Pasta de Baterías

La PBat es un material heterogéneo respecto al tamaño de las sus partículas constituyentes; la distribución del tamaño de partícula comprende desde partículas de 9,5 mm de diámetro hasta partículas de tamaño inferior a 0.15 mm.

- ✓ La PBat está compuesta por un porcentaje importante de material (42%) que tiene un rango de tamaño entre 1,18 y 4,75 mm y un 19 % de la muestra está compuesta por material particulado fino menor a 0,15 mm, ver Figura 4.16.
- ✓ El particulado fino es una amalgama cuando la humedad del producto está cerca del 20 %, dificultando el escurrimiento del producto.
- ✓ Las laminillas de polipropileno tienden a formar un tejido que impide el libre flujo del material, esta condición se acrecienta cuando la PBat es sometida a compresión. Las laminillas son relativamente fuertes a la tracción, lo que impide realizar un corte sin arrastre de pasta.

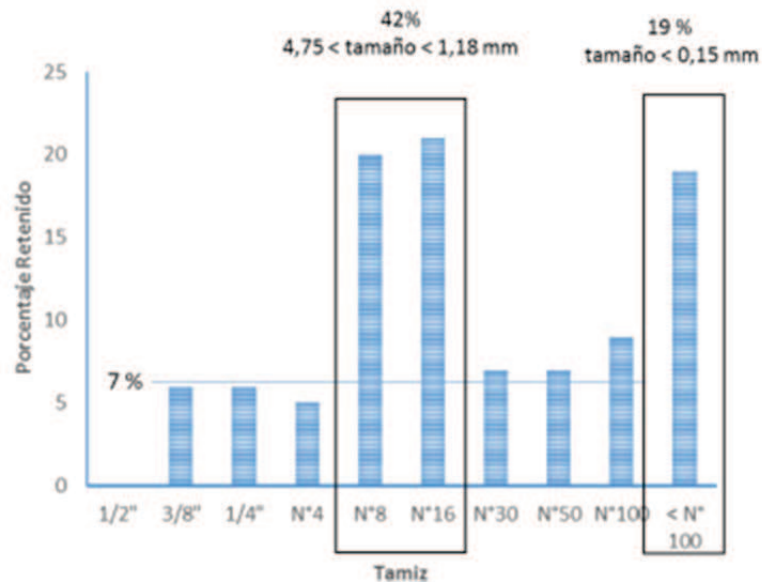


Figura 4.16: Histograma de distribución granulométrica de la PBat.

Fuente: Elaboración Propia.

Ángulo de Reposo.

- ✓ El ángulo de reposo es de 51,2° lo que indica que es un material que no fluye fácilmente.
- ✓ La inclinación de la pared del cono del silo está acotada por el ángulo de reposo, además las zonas de cambio de sección o chute de salida deben tener como mínimo dicho ángulo.

Descarga Gravitacional.

- ✓ La descarga gravitacional no es posible ya que el material no fluye en la zona de descarga del silo de prueba, por la formación de bóvedas en la parte baja del silo.

Ensayo de cizalle con Celda de Jenike.

- ✓ Los ensayos de cizalle con celda de Jenike no proporcionan resultados válidos ya que las dimensiones de la celda no permiten generar el plano de corte, debido al tamaño de las partículas de la PBat.

Esfuerzo de Cizalle.

- ✓ El cizalle se caracteriza por una curva de esfuerzo de corte versus desplazamiento relativo de las placas de ensayo, se observa una zona de compactación de la PBat antes de iniciar el corte de la pasta entre las placas de ensayo.
- ✓ Cuando el desplazamiento relativo de las placas de ensayo es inferior a 50 mm. no se genera un plano de corte completamente definido en el área del plano de deslizamiento.
- ✓ La pasta de baterías se compacta en el frente del desplazamiento antes de generar un plano de corte.
- ✓ El esfuerzo de cizalle requerido para iniciar un plano de corte en la pasta de batería es de aproximadamente $0,3 \text{ kg/cm}^2$. La formación de un plano de corte y la compactación de la pasta, en el frente de desplazamiento ya desarrollado, es de unos $0,58 \text{ kg/cm}^2$.
- ✓ El esfuerzo máximo de cizalle para el análisis de los requerimientos de la potencia en los sistemas de descarga se establece en $0,6 \text{ kg/cm}^2$.

Estos son los resultados más importantes para caracterizar la PBat y para el diseño detallado del silo dosificador.

5 Criterios de Diseño para Silo de PBat

La PBat contiene ácido sulfúrico diluido (electrolito de las baterías), el acero AISI 316L posee una excelente resistencia al ataque de este ácido, con una pérdida de peso inferior a 25 mg/dm^2 por día. En consecuencia se utiliza el acero AISI316L para el manto y los mecanismos de descarga.

La unión entre el silo y el weightfeeders es a través de un chute de traspaso, este chute se debe instalar inmediatamente a la salida de la lumbrera del silo.

5.1 Requerimientos Operacionales de la Planta Recicladora

En la actualidad la planta recicladora de baterías procesa unas 1.800 toneladas de baterías mensuales, la cual cumple con la demanda o cuotas del mercado nacional de reciclaje de baterías. El flujo de proyectado por la empresa para el reciclaje de baterías, es de unas 2.000 toneladas de baterías por mes.

Para evaluar los requerimientos de carga y los flujos de PBat en la línea de producción, esto con la finalidad de dimensionar la capacidad de carga del silo de acumulación y dosificación de PBat, se consideran los siguientes aspectos y definiciones básicas:

- Flujo estándar: Es el flujo de materiales actualmente procesados es de unas 1.800 toneladas de baterías en desuso por mes.
- Flujo máximo: Es el flujo de materiales requeridos para cumplir con el mercado de baterías proyectado de unas 2.000 toneladas de baterías en desuso por mes.
- Los flujos son referidos a los requerimientos de producción de la planta. Se estima que la pasta de baterías utilizable es el 70 % (relación en peso) de una batería en desuso.
- El régimen de trabajo considera dos turnos diarios con tiempo real de trabajo de 09 horas por turno.

De acuerdo a lo indicado los flujos de PBat se muestran en la Tabla 5.1.

Tabla 5.1: Flujo de PBat actual y proyectado en la línea de dosificación y mezclado.

Flujo PBat	Baterías [ton/mes]	PBat [ton/mes]	PBat [ton/día]
Flujo Actual	1.800	1.260	42
Flujo Proyectado	2.000	1.400	46

Fuente: Elaboración Propia.

5.2 Flujos de Alimentación del Silo

El flow sheet del proceso se muestra en la Figura 5.1. El silo recibe carga de la prensa estrujadora y del filtro prensa. El silo recibe cargas discretas (batch), ya que los equipos que lo alimentan tienen ciclos de carga y descarga. Los equipos que alimentan el silo de PBat se describen a continuación:

Prensa Estrujadora

La pasta de baterías obtenida después de la etapa de separación es sometida a un proceso de compactación/estrujado mediante una prensa hidráulica cuyo objetivo de bajar su humedad, desprendiendo/eliminando el electrolito que no se puede separar en la etapa anterior. Esta prensa opera en ciclos de 15 min, entregando la carga en bloques de unos 1.500 kg.

Filtro prensa

El filtro prensa recupera los materiales finos que no son retenidos por la prensa estrujadora. Este filtro opera en ciclos de 180 min, tiempo en que se recupera el nivel del estanque decantador; el filtro entrega bloques de carga de 330 kg.

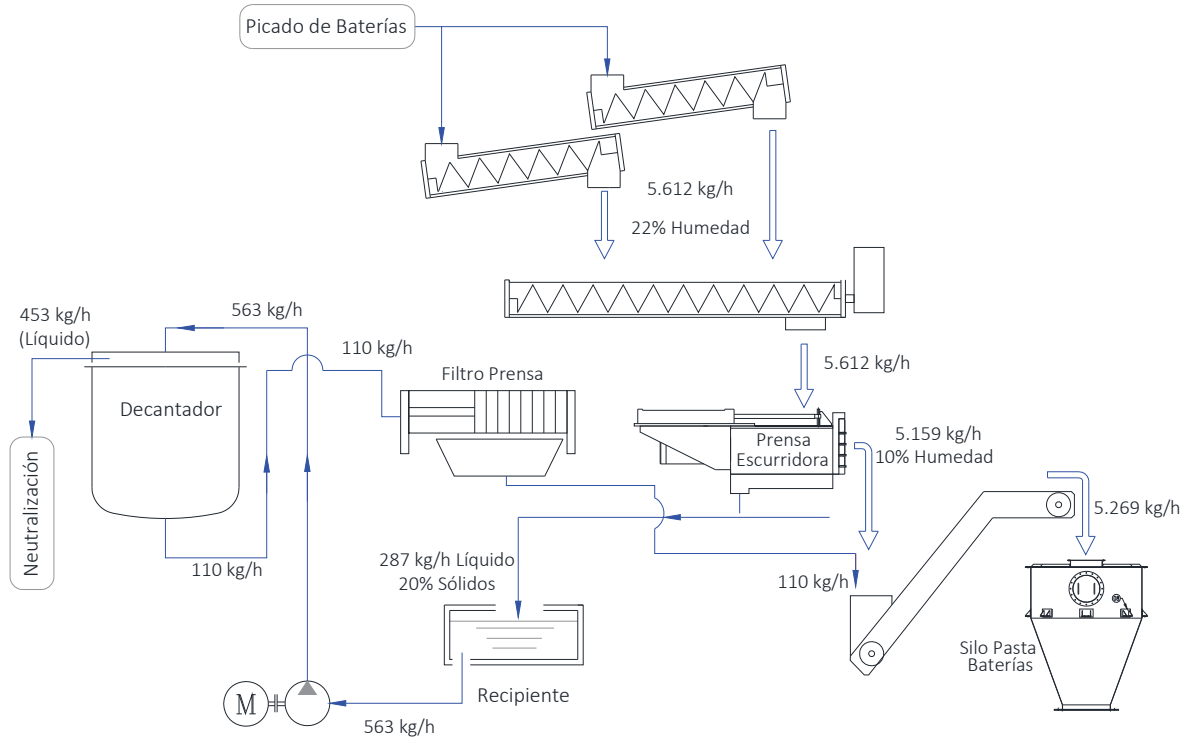


Figura 5.1: Flow sheet para alimentación del silo dosificador con PBat.
Fuente: Elaboración Propia.

En función de los requerimientos de producción de la planta recicladora, para lograr las cuotas de material para la fundición y así cumplir con los planes de reciclaje, se necesita el siguiente flujo másico de PBat.

- Flujo másico filtro prensa: 110 kg/h.
- Flujo másico prensa estrujadora: 5.119 kg/h.

La producción de pasta de baterías estrujada en la planta recicladora para alimentación y operación continua del horno de fundición se establece con el siguiente flujo másico normalizado a 16% de humedad en relación peso/peso:

Flujo Másico Normalizado. $\dot{m} = 5.500 \frac{kg}{h}$

La densidad aparente de la PBat, declarada por la empresa recicladora es la siguiente:

Densidad Aparente. $\rho_A = 2.740 \frac{kg}{m^3}$

Con las condiciones anteriores el flujo volumétrico requerido:

Flujo Volumétrico.

$$\dot{v} = \frac{\dot{m}}{\rho_a} = 2,0 \frac{m^3}{h}$$

Los flujos máscicos y volumétricos de descarga del silo de PBat se muestran en la Tabla 5.2.

Tabla 5.2 Requerimientos de flujo máscico del silo.

Descripción	Valor	Unidad
Flujo máscico requerido	5.500	kg/h
Densidad aparente pasta baterías	2.740	kg/m ³
Flujo volumétrico requerido	2,0	m ³ /h

Fuente: Elaboración Propia.

El silo de PBat debe proporcionar unos 120 min de independencia de operación de la zona de mezclado, para lograr esta autonomía el volumen útil del silo debe ser de 4 m³.

5.3 Instalación del Silo en la Estructura Existente

El silo de PBat se debe instalar en una estructura metálica existente con las siguientes restricciones de espacio:

Cota superior: La altura máxima que puede tener el silo está determinada por la altura de la descarga de la cinta transportadora que alimenta el silo. Además, se deben tener en cuenta los espacios requeridos para acceder a los raspadores de la cinta y las funciones de mantenimiento de los equipos.

Cota inferior: La cota inferior es la mínima altura a la cual puede quedar la zona de descarga del silo, está acotada por la altura de la cinta del Weightfeeder. También se debe considerar el espacio requerido para la instalación de la unidad de homogenización de la cama y las operaciones de mantenimiento del Weightfeeder, ver Figura 5.2.

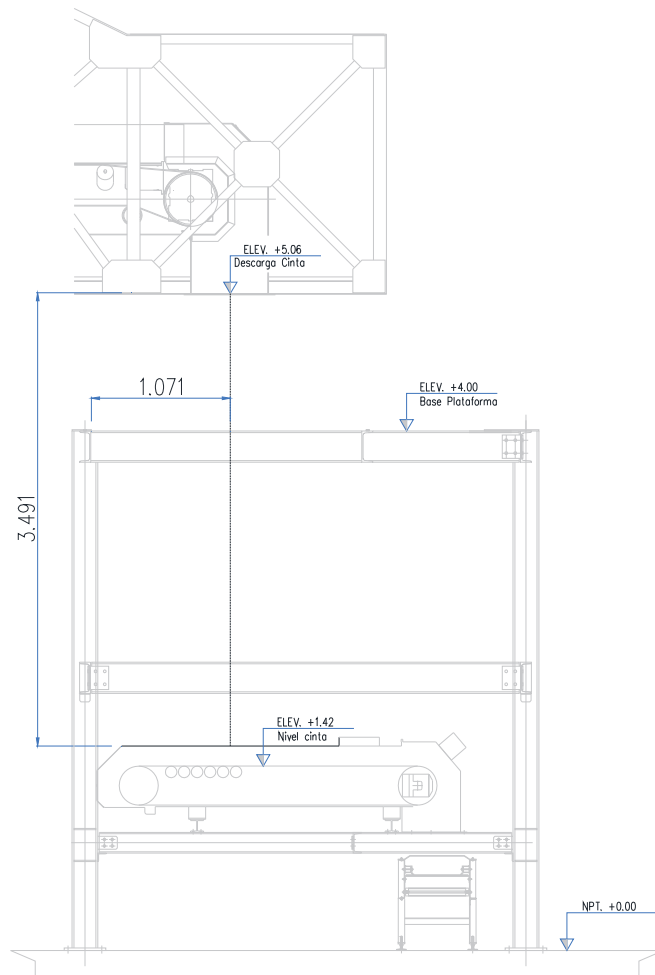


Figura 5.2: Confinamiento de silo en estructura metálica.
Fuente: Elaboración Propia.

La altura máxima disponible para la instalación del silo de PBat es de 3.491 mm. El diámetro máximo del silo para que la descarga de la cinta sea centrada con respecto al eje de éste es de 2.140 mm.

5.4 Análisis de Modelos Descarga para el Silo de PBat

Las opciones de descarga aplicables son:

- Descarga Mecánica por movimiento alternativo.
 - i. Descarga Mecánica de ejes encontrados.
 - ii. Descargador de tornillo.
 - iii. Descarga Mecánica Rotativa.

El análisis de las ventajas e inconvenientes de cada uno de los sistemas nombrados se muestra a continuación.

Descarga Mecánica de movimiento alternativo

Ventajas: El sistema de movimiento alternativo es una complejidad relativamente baja en los equipos para su implementación debido a que los elementos que realizan el movimiento alternativo pueden ser cilindros hidráulicos. Esta configuración permite un control preciso del desplazamiento y por ende de la dosificación de la PBat. Además, no hay mayores restricciones al tamaño del fondo del silo.

Inconvenientes: El sistema de movimiento alternativo realiza la descarga del material en uno de los extremos en el fondo del silo, bajo esta condición el retroceso del mecanismo de descarga comprime la pasta contra el manto del silo en la parte contraria a la descarga. Para eliminar esta contingencia el mecanismo debe descargar en lados opuesto del silo y para esto el silo debe contar con un chute de descarga que conduzca a un solo punto sobre la cinta del Weightfeeder. Por restricciones de espacio (altura del chute) esta solución no es viable.

La descarga con movimiento alternativo implica que todo el fondo del silo se mueve al unísono en cada ciclo del descargador, ya que se forma una zona de compactación cuando se genera el plano de corte; todo el fondo del silo tendría ciclos de compactación.

Descarga Mecánica de ejes encontrados

Ventajas: Los descargadores de ejes encontrados no tienen ventajas comparativas para la aplicación con PBat, aunque son ampliamente utilizados para la descarga de elementos de alta plasticidad; con buenos resultados en el control de flujo.

Inconvenientes: La separación entre los ejes, el diámetro y el largo de ellos, determinan las dimensiones del fondo del silo; debido a que se requiere un gran ángulo del manto del silo para limitar la formación de bóvedas/atascamientos, no es posible cumplir con la capacidad requerida que está limitada por el espacio destinado. Además, las laminillas que componen la PBat tienden a arrastrar material; lo que provocaría una sobre presión entre los ejes y un bajo control del flujo de descarga.

Descargador de tornillo

Ventajas: El sistema de descargador de tornillo permite un control eficiente del flujo de descarga al regular la velocidad angular. Además, poseen un único punto de descarga; el que puede posicionarse sobre la cinta del weightfeeder.

Inconvenientes: El transportador de tornillo requiere que el material deslice sobre el helicoide, la PBat puede formar un núcleo solidario al tornillo evitando que el material sea transportado fuera del silo. De igual forma que el sistema de ejes encontrados, la geometría del fondo del silo impide cumplir con la con la capacidad requerida.

Descarga Mecánica Rotativo Este sistema de descarga contempla una motorización que se encuentra fuera del silo. El giro del rotor empuja el material hacia una lumbrera central de descarga. En operación continua solo en una sección del fondo del silo se genera un plano de corte, en las secciones restantes solo se presentan desplazamientos de la pasta.

Ventajas: El sistema de descarga rotativo no presenta inconvenientes de compactación de material, el ajuste de la velocidad de giro permite la regulación del caudal de salida; además el sistema permite barrer por completo el fondo del silo.

Inconvenientes: La descarga del arrastrador de material giratorio queda condicionada a la descarga por gravedad en la lumbrera de salida.

De las alternativas de descarga mecánica de silos la descarga rotativa presenta ventajas comparativas a los otros métodos analizados, ya que se adecua para el tipo de material que se desea almacenar junto con las condiciones de operatividad de los weightfeeder.

6 Diseño del Silo de PBat

6.1 Diseño Conceptual

- ✓ La visión sistémica del diseño conceptual del silo PBat se construye con todos los elementos desarrollados previamente e incluye:
- ✓ Recipiente cilíndrico cónico de acero AISI 316L de 4,5 m³ de capacidad, en el que se instalan todos los sistemas para operación y monitoreo.
- ✓ Un sistema de suportaciones estructurales, para acomodar el silo en la superestructura que lo aloja y que también permite transferir las cargas de accionamiento.
- ✓ Un descargador rotatorio principal compuesto por un motor, transmisión y accesorios.
- ✓ Un descargador auxiliar compuesto por elemento de empuje, guías de alineamiento y accesorios de arrastre vertical de pasta.
- ✓ Bandejas contenedoras y canalización para los líquidos que puede contener la PBat.

La Figura 6.1 muestra el diseño conceptual desarrollado y proporciona una visualización de sus principales componentes. En el plano MMP-ADO-ID-06-67, en el anexo planos, se aprecia el diseño conceptual con buena precisión.

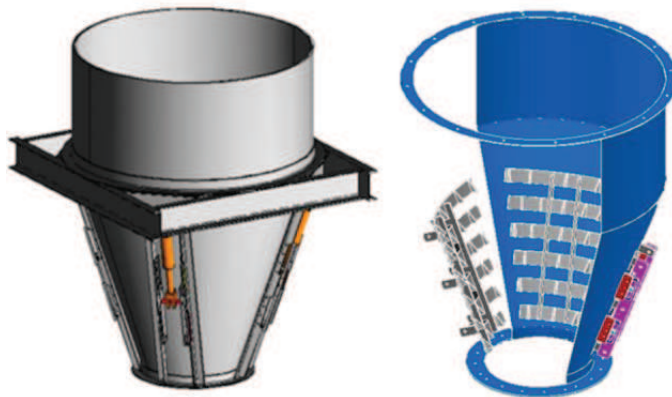


Figura 6.1 Diseño conceptual del silo de PBat.
Fuente: Elaboración Propia.

6.2 Diseño Detallado del Silo y sus Componentes

6.2.1 Descargador Rotatorio

El descargador rotatorio es un elemento mecánico instalado en el fondo del silo dosificador conformado por una masa a la cual se empernan 06 aspas de arrastre de distribución radial. Además, la masa central tiene un cono distribuidor, esta masa central se conecta a un eje motriz que permite el giro de las aspas, ver Figura 6.2.

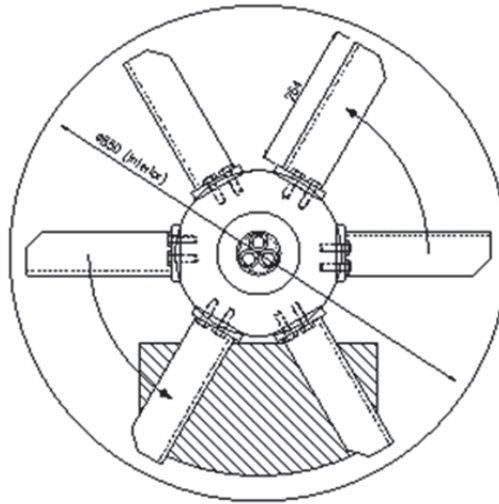


Figura 6.2 Esquema del descargador rotatorio.
Fuente: Elaboración Propia.

La descarga del material se realiza por una lumbrera ubicada en la parte plana en fondo del silo, el material es arrastrado por las aspas en forma secuencial hasta la lumbrera. El material cae por gravedad, por la lumbrera en forma de bloque con un flujo discontinuo sobre la cinta del Weightfeeder.

El descargador rotatorio está compuesto por los siguientes elementos principales, ver Figura 6.3:

1. Paletas de arrastre.
2. Cono de distribución.
3. Masa central.
4. Eje motriz.
5. Soporte de rodamientos.
6. Sprocket Motriz.

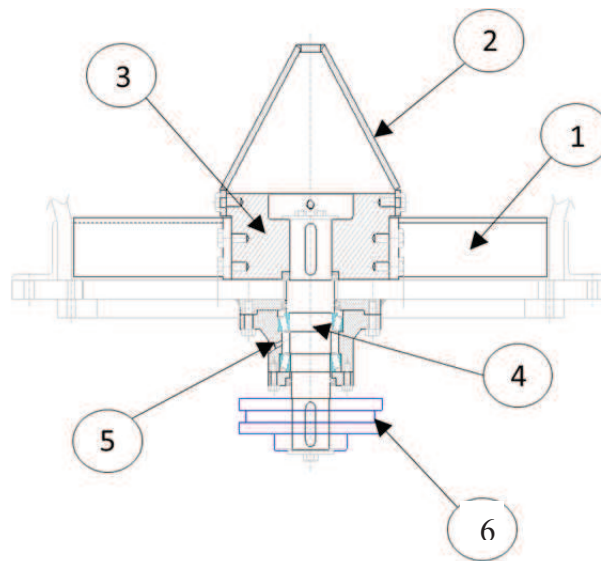


Figura 6.3: Componentes del descargador rotatorio.
Fuente: Elaboración Propia.

Torque Requerido para la Descarga del Material.

El aspa del descargador rotatorio del silo de PBat genera el plano de corte al girar en el fondo del silo, el torque resistivo sobre el eje se debe a la fuerza requerida para generar un plano de corte en secciones de anillos concéntricos infinitesimales. Durante la operación normal de la descarga del silo, solo en la sección que se acaba de llenar con pasta posterior al vaciado en la lumbrera de salida, se produce el torque resistivo por la generación del plano de corte. Las líneas de fuerza debido al plano de corte se pueden observar en la Figura 6.4.

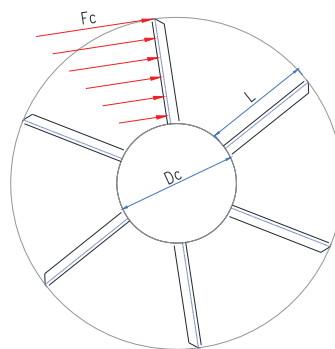


Figura 6.4: Diagrama de la fuerza ejercida por el cizalle sobre un aspa del descargador.
Fuente: Elaboración Propia.

Cuando se produce el llenado del silo y el descargador rotatorio se encuentra detenido y vacío, el material se introduce en las 06 secciones entre las espas de arrastre, al iniciar el giro todas las espas deben generar un plano de corte; ésta es la condición más desfavorable para el cálculo del torque requerido en el descargador rotatorio. Las líneas de fuerza que actúan sobre cada una de las espas del descargador se pueden observar en la Figura 6.5

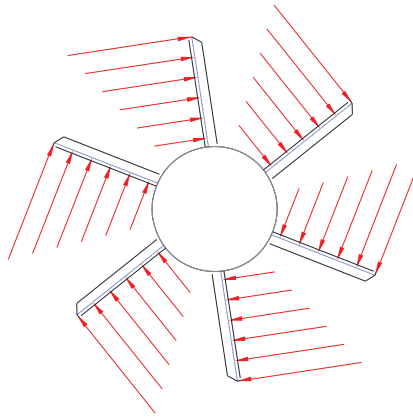


Figura 6.5: Diagrama de fuerza al inicio de operación de descarga.
Fuente: Elaboración Propia.

La condición de operación normal del descargador rotatorio corresponde a flujo constante de material y se mantiene un nivel de carga que cubre en su totalidad las espas de descarga, bajo esta condición solo una sección del descargador está sometida a la fuerza resistiva por la formación del plano de corte.

La sección que está sometida al corte es la que se vacía en la descarga, una vez que está se vuelve a llenar y, al girar el descargador se produce el corte. Posteriormente la sección está sometida a esfuerzos de roce que son sustancialmente más bajos que los esfuerzos de corte iniciales. El ciclo se repite para cada sección cuando pasa por la zona de descarga.

La sección de un anillo que está sometido a los esfuerzos de cizalle, al generar el plano de corte por la descarga se observa en la Figura 6.6.

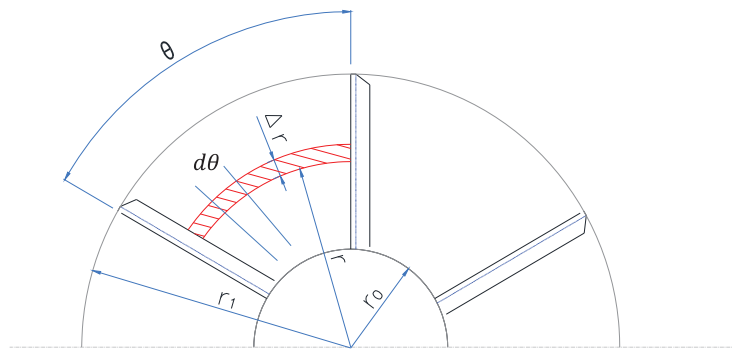


Figura 6.6 Esquema de carga de una sección del anillo del descargador rotatorio
Fuente: Elaboración Propia.

La fuerza ejercida por el segmento de anillo de ancho " dr " a una distancia " r " del centro se calcula con la ecuación [6.3]:

$$dF_r = \tau_{pbat} r dr d\theta \quad [6.3]$$

Donde:

τ_{pbat} : Esfuerzo de cizalle de la PBat.

r : Radio del elemento.

El torque ejercido por la fuerza dF_r a una distancia r del centro de rotación se calcula de acuerdo a la ecuación [6.4]:

$$dT_r = r * dF_r = \tau_{pbat} r^2 d\theta dr \quad [6.4]$$

El torque ejercido sobre una paleta del descargador rotatorio se calcula de acuerdo a la ecuación [6.5]. El radio mínimo (r_0) es el radio de la masa central, de igual forma el radio máximo (r_1) es el radio del fondo del silo:

$$T_{total} = \int_{r_0}^{r_1} \int_0^{2\pi} \tau_{pbat} r^2 d\theta dr \quad [6.5]$$

El torque total ejercido por la PBat sobre el eje motriz del descargador rotatorio se calcula de acuerdo a la ecuación [6.6]. Esta es la condición de operación más desfavorable.

$$T_{total} = \frac{2}{3} \pi \tau_{pbat} (r_1^3 - r_0^3) \quad [6.6]$$

En la Tabla 6.1, se muestran los valores de los parámetros de cálculo y el torque para cizallar la pasta sobre el eje motriz del sistema de descarga rotatorio.

Tabla 6.1: Parámetros y valores para el cálculo del torque ejercido por el esfuerzo de corte.

Parámetro	Valor	Unidad
Radio mínimo de barrido (r_0)	0,150	m
Radio máximo de barrido (r_1)	0,425	m
Área	0,497	m ²
Esfuerzo de corte	58.800	N/m ²
Fuerza de corte	29.195	N
Torque	9.038	Nm

Fuente: Elaboración Propia.

Potencia Requerida para Accionar el Sistema Descargador Rotatorio

La velocidad angular del descargador rotatorio para un flujo volumétrico de descarga dado, se calcula de acuerdo a la ecuación [6.7]:

$$\omega_{descarga} = \frac{\text{Flujo volumetrico}}{\text{Volumen descarga Paleta}} * 2\pi \quad [6.7]$$

Donde:

$\omega_{descarga}$: Velocidad angular del eje de raspadores.

La altura de la paleta de arrastre es de 80 mm, el área de barrido de las paletas es 0,497 m², el volumen de la zona de descarga es 0,039 m³.

$$\omega_{descarga} = \frac{2,007}{0,039} * 2\pi = 0,088 \frac{Rad}{s} = 0,84 RPM$$

La potencia requerida para mover el eje se calcula de acuerdo a la ecuación [6.8]

$$P = \omega \times T_{total} \quad [6.8]$$

Donde:

P :	Potencia Motriz.	[W]
ω :	Velocidad angular.	[rad/s]
T_{total} :	Torque motriz.	[Nm]

La potencia en el eje motriz del descargador es de 795 [W]

Para el accionamiento del descargador primario se emplea un motor hidráulico porque permite la inversión de giro y mantiene el torque a baja RPM. Además, el sistema de descarga contempla una transmisión de cadena doble, ver Figura 6.7. Esta configuración permite una alta flexibilidad en el montaje de los equipos.

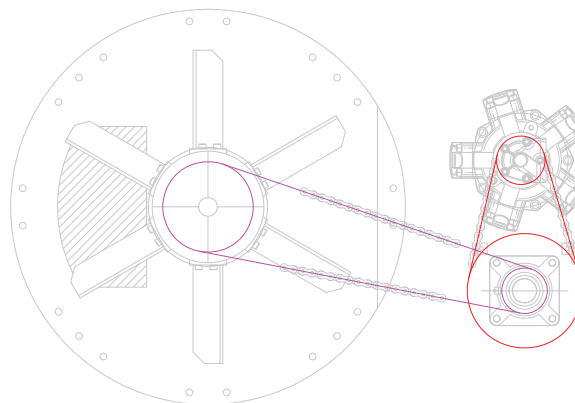


Figura 6.7: Transmisión de cadena doble en el sistema de descarga.
Fuente: Elaboración Propia.

En la Figura 6.8 se observa la transmisión de cadenas que permite rebajar las RPM y el torque del motor Hidráulico.

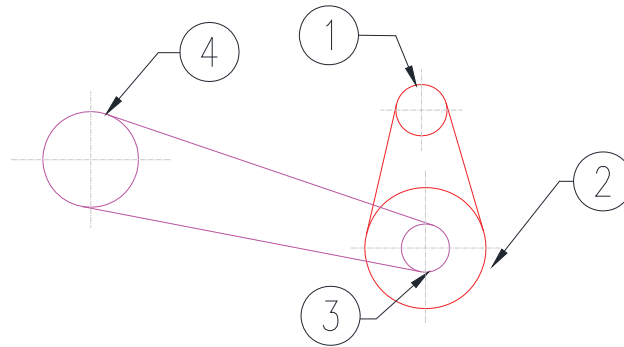


Figura 6.8: Transmisión de cadenas para impulsión del descargador principal.
Fuente: Elaboración Propia.

Las dimensiones de los sprocket que conforman el tren de reducción de transmisión, se muestran en la Tabla 6.2.

Tabla 6.2: Diámetros de sprocket y relación de transmisión.

Sprocket	Diámetro [mm]	Relación de Transmisión
Sprocket 1	130	2,26
Sprocket 2	307	
Sprocket 3	122	1,99
Sprocket 4	243	

Fuente: Elaboración Propia.

La eficiencia de una transmisión de cadena abierta (sin baño de aceite) es de $0.91 \leq \eta \leq 0.93$ [15].

Los valores de la potencia requerida, la velocidad angular y el torque del eje motriz del descargador rotatorio del silo de PBat se muestran en la Tabla 6.3.

Tabla 6.3: Parámetros de operación eje descargador.

Parámetro	Valor	Unidad
Torque eje descargador	9.038	Nm
Velocidad angular eje	0,08	rad/s
Potencia	795,34	W

Fuente: Elaboración Propia.

Los parámetros de operación del eje intermedio de la transmisión de cadena de la motorización del descargador rotatorio se muestran en la Tabla 6.4.

Tabla 6.4 Parámetros de operación eje intermedio de transmisión de cadena.

Parámetro	Valor	Unidad
Torque eje intermedio	5.141	Nm
Relación de transmisión	1,99	s/u
Velocidad angular eje	0,17	rad/s
Eficiencia transmisión	0,91	s/u
Potencia	874,00	W

Fuente: Elaboración Propia.

Los parámetros de operación del motor hidráulico de la motorización del descargador rotatorio se muestran en la Tabla 6.5.

Tabla 6.5: Parámetros de operación eje del motor hidráulico.

Parámetro	Valor	Unidad
Torque eje motor	2.431	Nm
Relación de transmisión	2,26	s/u
Velocidad angular eje	0,39	rad/s
Eficiencia transmisión	0,91	s/u
Potencia	960,44	W

Fuente: Elaboración Propia.

La tensión de la cadena de la transmisión de potencia se calcula de acuerdo a la ecuación [6.9].

$$Tensión\ Cadena = \frac{Torque\ eje}{Radio\ sprocket} \quad [6.9]$$

La tensión de la cadena de la transmisión del eje intermedia al eje del descargador se muestra en la Tabla 6.6.

Tabla 6.6: Parámetros de operación de la transmisión de cadena del eje intermedio y del eje descargador.

Parámetro	Valor	Unidad
Torque en eje descargador	9.038	Nm
Radio Sprocket eje	0,1245	m
Tensión cadena	72.594	N

Fuente: Elaboración Propia.

La selección de la cadena para la transmisión entre el eje intermedio y el eje del descargador requiere una resistencia mínima a la tensión de 72.594 [N]. La cadena seleccionada es la 16B-2 según la norma DIN 8187, ver Figura 6.9.



Figura 6.9: Descripción de cadena de transmisión DIN 8187 doble.

Fuente: Rexnord Quality Chains [19].

La tensión de la cadena de la transmisión entre el eje intermedia al eje del motor hidráulico se muestra en la Tabla 6.7.

Tabla 6.7: Parámetros de operación transmisión de la cadena entre el eje intermedio y el eje del motor.

Parámetro	Valor	Unidad
Torque en eje intermedio	5.141	Nm
Diámetro Sprocket eje	0,1535	m
Tensión cadena	33.451	N

Fuente: Elaboración Propia.

La selección de la cadena para la transmisión entre el eje intermedio y el motor, requiere una resistencia mínima a la tensión de 33.451 [N]. La cadena seleccionada es la 16B-1 según la norma DIN 8187, ver Figura 6.10.

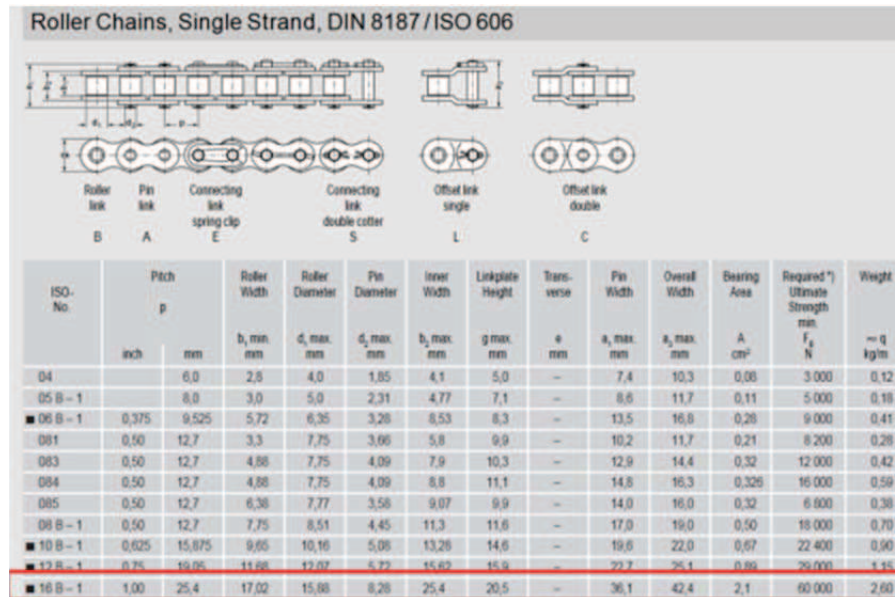


Figura 6.10. Descripción de la cadena de transmisión DIN 8187 simple.
Fuente: Rexnord Quality Chains [19].

6.2.2 Cálculo de Ejes

El diámetro del eje se calcula con la ecuación [6.10] del código ASME.

$$d = \sqrt[3]{\frac{32}{\pi \sigma_{adm}} \sqrt{(k_s k_f M)^2 + (k_s k_f T)^2}} \quad [6.10]$$

Donde:

- σ_{adm} : Esfuerzo admisible del material del eje
- k_s : Factor de carga impulsiva (1,5)
- k_f : Concentrador de esfuerzo por chaveteros (1,6)
- M : Momento flector
- T : Torque motriz

El esfuerzo admisible del acero SAE 4340 templado y revenido es de 300 [MPa]

Eje Motriz

La Figura 6.11, muestra el diseño del eje soporte del descargador rotatorio, este eje se encuentra bajo el fondo plano del silo.

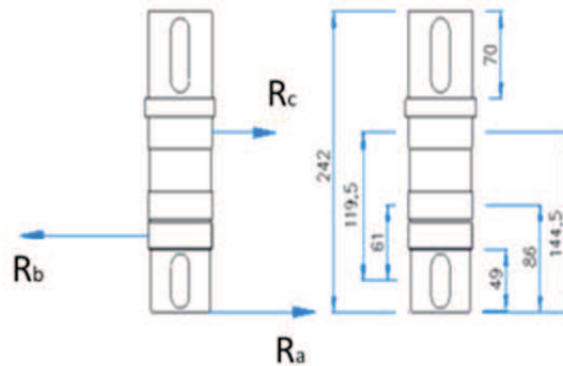


Figura 6.11: Eje descargador rotatorio.
Fuente: Elaboración Propia

Las reacciones y los momentos flectores del eje intermedio se pueden ver en la Tabla 6.8.

Tabla 6.8: Reacciones del eje del descargador rotatorio.

Reacciones	Designación	Valor	Unidad
Reacción en A	R_a	74.388	N
Reacción en B	R_b	184.686	N
Reacción en C	R_c	110.299	N
Separación A-B	L_{ab}	0,086	m
Separación A-C	L_{ac}	0,144	m
Separación C-B	L_{cb}	0,058	m
Momento flector en A	M_a	0	Nm
Momento flector en B	M_b	6.397	Nm
Momento flector en C	M_c	0	Nm

Fuente: Elaboración Propia.

El diámetro mínimo del eje en la sección crítica en el punto B (más Solicitado) es de 53 mm. El diseño detallado del eje motriz se puede ver en Anexo A, Plano: MMP-ADO-ID-06-84

Eje Intermedio

La Figura 6.12 muestra el eje de transmisión intermedio.

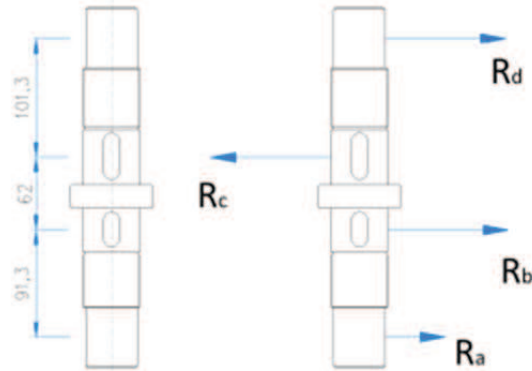


Figura 6.12: Eje transmisión potencia intermedio.

Fuente: Elaboración Propia.

Las reacciones y los momentos flectores del eje intermedio se pueden ver en la Tabla 6.9.

Tabla 6.9: Reacciones del eje del intermedio.

Reacciones	Designación	Valor	Unidad
Reacción en A	R_a	24.668	N
Reacción en B	R_b	29.561	N
Reacción en C	R_c	-110.299	N
Reacción en D	R_d	56.070	N
Separación A-B	L_{ab}	0,091	m
Separación B-C	L_{bc}	0,062	m
Separación C-D	L_{cd}	0,1	m
Momento flector en A	M_a	0	Nm
Momento flector en B	M_b	2.244	Nm
Momento flector en C	M_c	5.606	Nm
Momento flector en D	M_d	0	Nm

Fuente: Elaboración Propia.

El diámetro del eje en la sección crítica en el punto C (más Solicitado) es de 51 mm. El diseño detallado del eje intermedio se puede ver en Anexo A, Plano: MMP-ADO-ID-06-55

6.2.3 Unidad Motriz

La motorización del descargador rotatorio se realiza utilizando un motor hidráulico de pistones radiales, las condiciones de operación para la selección de este motor se muestran en la Tabla 6.10.

Tabla 6.10 Condiciones de operación del motor hidráulico.

Parámetro	Valor	Unidad
Torque eje motor	2.431	Nm
Velocidad angular eje	0,39	Rad/s
Potencia	960,44	W

Fuente: Elaboración Propia.

La Figura 6.13 muestra un motor hidráulico de 5 pistones radiales del fabricante Intermot. Estos motores tienen la peculiaridad de mantener un alto torque a bajas revoluciones. La configuración de este modelo de motor hidráulico permite la inversión de giro sin pérdida de potencia, además, las bajas perdidas por infiltraciones internas permiten mantener el torque a bajas revoluciones, tal como lo requiere la motorización del silo



Figura 6.13: Motor Hidráulico de pistones radiales.

Fuente <http://www.intermot.com/it/applicazioni/calandre.aspx>.

El torque requerido en el eje del motor hidráulico es de 2.431Nm. En la Figura 6.14, se muestran las condiciones de operación del motor de pistones radiales IAM-H3, en ella se puede observar que la presión mínima de trabajo es de 250 [bar].

El diseño detallado del montaje de la unidad motriz se puede ver en el Anexo A, plano: MMP-ADO-ID-06-56.

IAM H3 - TECHNICAL DATA

MODEL	N° of pistons	Displacement	Specific Torque	Pressure			Speed			Max Power	Dry Weight	Inertia moment of rotating parts	
				Max Cont.	Max Int.	Peak	Max Continuous	Peak	Max Case Pressure				
				cc/ rev	Nm/ bar	bar	bar	bar	rpm				rpm
350	5	349	5,6	250	300	350	630	700	6	91	68	68	214
400	5	397	6,3	250	300	350	600	680	6	91	68	68	214
450	5	452	7,2	250	300	350	600	680	6	91	68	68	214
500	5	491	7,8	250	300	350	600	680	6	91	68	68	214
600	5	594	9,4	250	300	350	550	630	6	91	68	68	214
IAM H3 → 650	5	660	10,5	250	300	350	500	580	6	91	68	68	214
700	5	707	11,2	250	300	350	450	500	6	91	68	68	214
800	5	791	12,6	250	300	350	400	450	6	91	68	68	214

Figura 6.14 Condiciones de operación motor modelo IAM H3-650.

Fuente: Interbot, catalogo motor IAM-H3.

El modelo IAM-H3 650 tiene un torque de 2.625 [Nm] operando a 250 [bar], para esta condición el caudal de aceite requerido es de 2,460 [l/min]. Dado lo anterior, las condiciones para la selección de la bomba hidráulica para la alimentación del motor hidráulico se muestran en la Tabla 6.11.

Tabla 6.11: Condiciones de Operación de la bomba hidráulica.

Parámetro	Mínimo	Máximo	Unidad
Presión	250	350	bar
Caudal	2,40	5,00	l/min

Fuente: Elaboración Propia

6.3 Circuito Hidráulico del Motor Hidráulico

El circuito hidráulico del motor del silo de PBat se puede observar en la Figura 6.15. Este circuito permite la inversión de giro, además permite la calibración de la velocidad angular del motor hidráulico.

Los bloques del circuito hidráulico del motor son los siguientes:

- ✓ Unidad motriz, compuesta por bomba hidráulica y motor eléctrico, además tiene una válvula de sobrepresión y filtro para el retorno al estanque.
- ✓ Unidad de cambio de giro, compuesta por una electro válvula 5/2 de centro abierto.
- ✓ Unidad motor, la unidad está compuesta por un motor hidráulico de pistones radiales, sensores de presión y válvulas reguladoras de caudal.

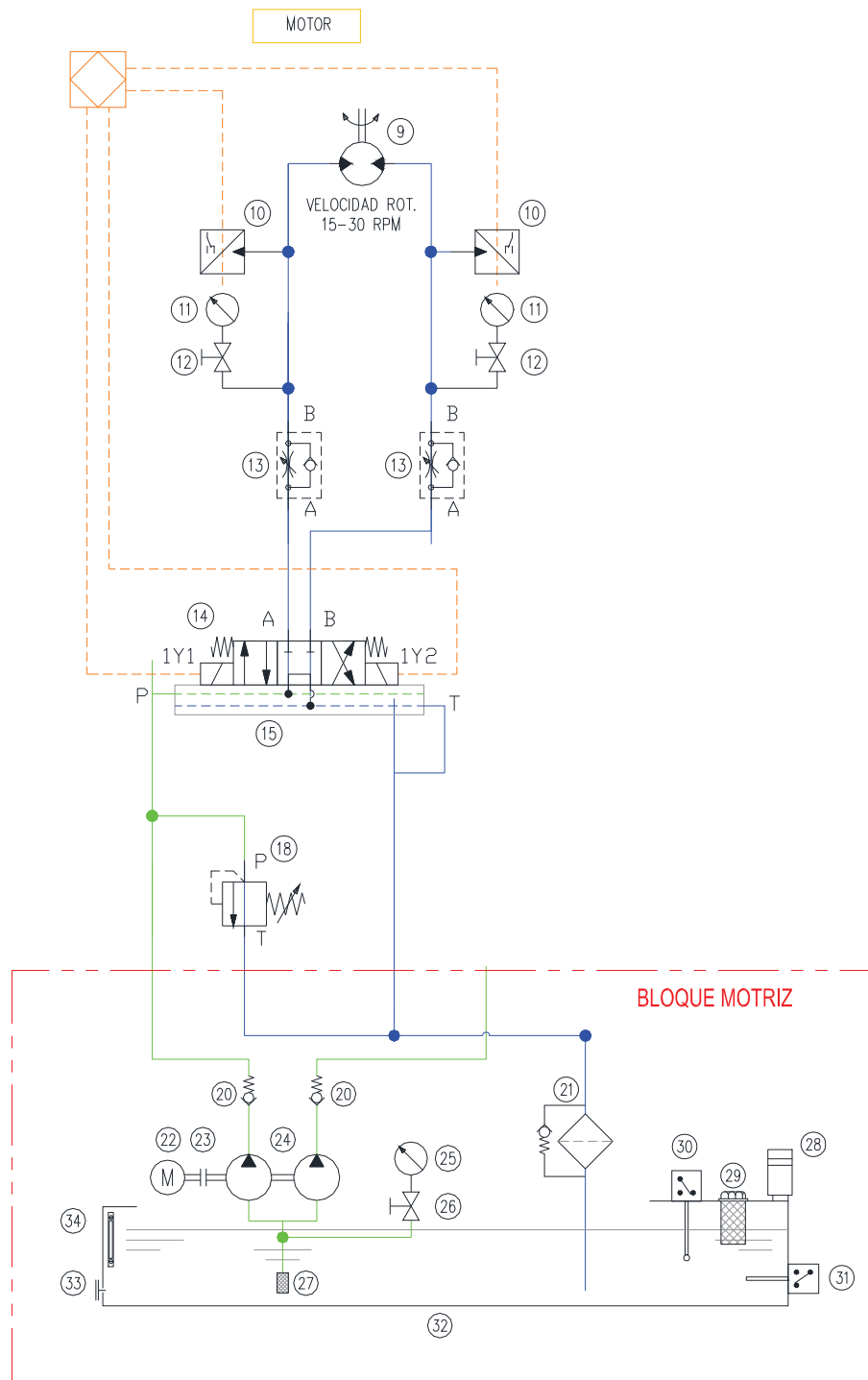


Figura 6.15: Circuito hidráulico del motor del silo de PBat.
Fuente: Elaboración Propia

6.4 Circuito hidráulico de los Cilindros de Arrastre

El circuito hidráulico de los cilindros de arrastre vertical se puede ver en la Figura 6.16. Este circuito contempla la activación de cilindros en pares contrapuestos.

Los bloques del circuito hidráulico del motor son los siguientes:

- ✓ Bloque motriz, compuesto por bomba hidráulica y motor eléctrico, además tiene una válvula de sobrepresión y filtro para el retorno al estanque.
- ✓ Bloque de válvulas, compuesto por 02 electro válvula 5/2 de centro abierto que permiten la activación de los cilindros por pares contrapuestos.
- ✓ Bloque cilindros, compuesto por 04 cilindros hidráulicos, válvulas diversificadoras de flujo, sensores de presión y válvulas reguladoras de caudal.

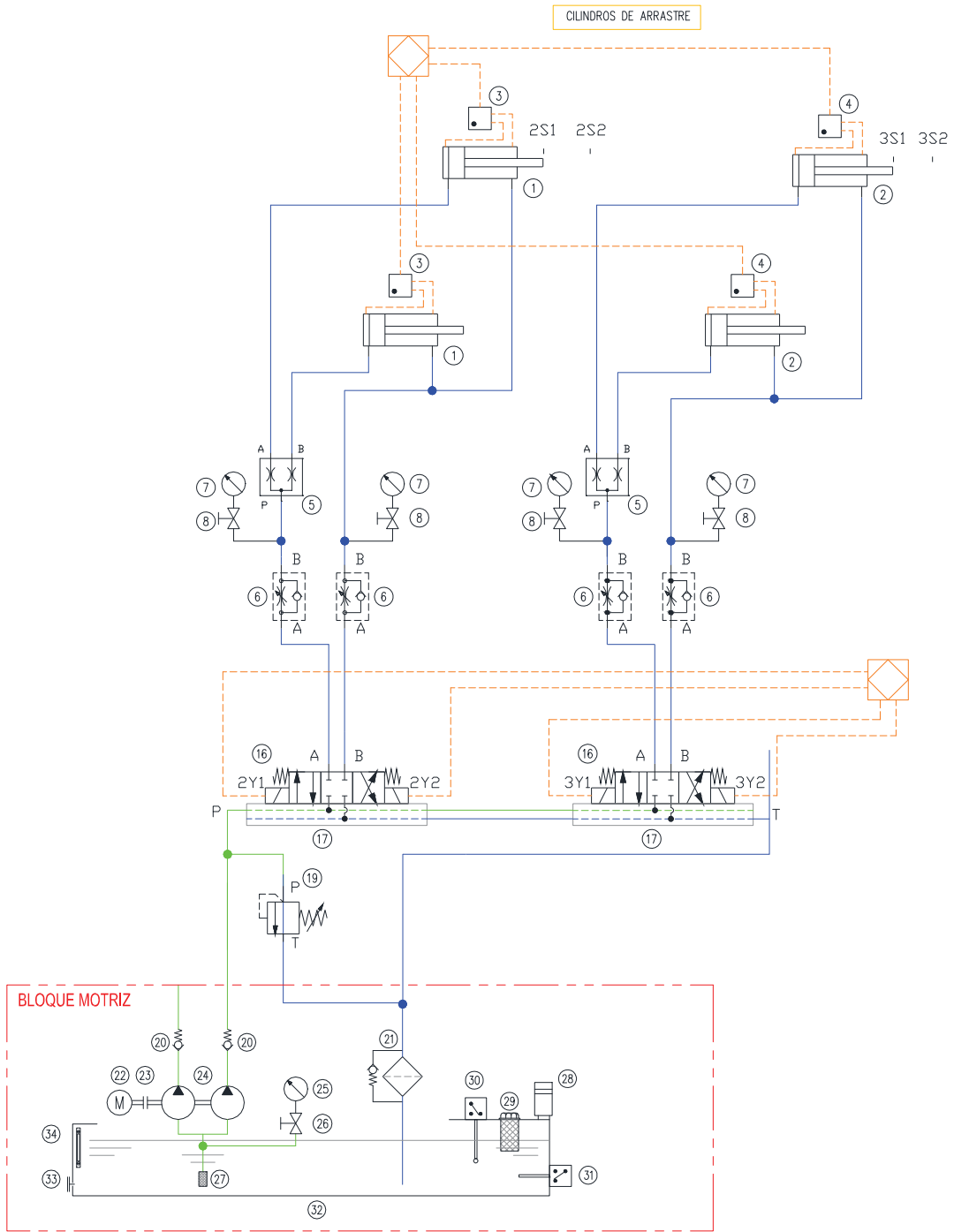


Figura 6.16: Circuito Hidráulico de los cilindros de los arrastradores verticales.
Fuente: Elaboración Propia

6.4.1 Arrastre Vertical

El diseño del silo de PBat consta con un mecanismo de arrastre vertical, el que fuerza toda la masa de pasta cuando ésta eventualmente llegue a formar bóvedas en la zona baja del silo. Este mecanismo está configurado por placas que se encuentra sobre el manto interno del silo. Estas placas dentadas están conectadas a guías de deslizamiento, las que son impulsadas por medio de cilindros hidráulicos adosados a la estructura metálica, ver Figura 6.17.



Figura 6.17: Mecanismo de arrastre vertical de la PBat.
Fuente: Elaboración Propia.

El mecanismo de arrastre vertical se compone de los siguientes elementos, ver Figura 6.18.

- Soportes laterales.
Los soportes laterales se encuentran empernados a la placa de soporte perforada del manto del silo, esta guía lateral es reemplazable ya que está sometida a desgaste por el accionamiento del mecanismo.
- Guías de deslizamiento.
Permiten mantener el bastidor de soporte de las cuñas de arrastre en la posición paralela al manto del silo cuando se realiza el movimiento de las cuñas de arrastre.
- Bastidor central.
El bastidor central es la estructura que soporta las cuñas de arrastre.
- Cilindro hidráulico.
El cilindro hidráulico genera el movimiento de las cuñas de arrastre, en las carreras de potencia y retroceso para posicionar en estado de reposo.
- Cuñas de arrastre.
Las cuñas de arrastre están formadas por una placa curva de soporte y por las cuñas interiores, que arrastran la pasta en una sola dirección.

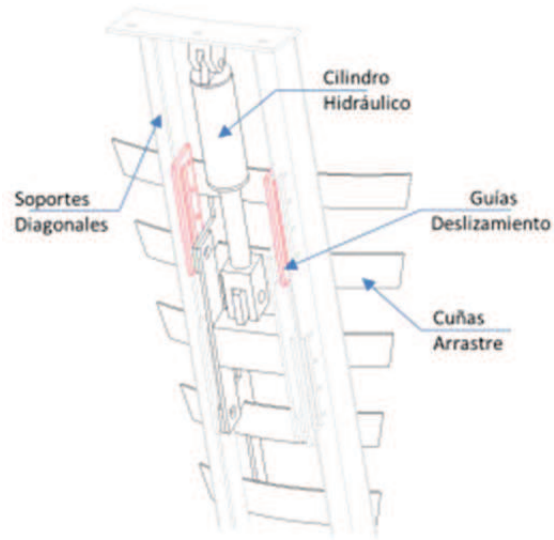


Figura 6.18: Mecanismo exterior de arrastre vertical.
Fuente: Elaboración Propia.

El diseño detallado de mecanismo de arrastre vertical se puede ver en el Anexo A, planos MMP-ADO-ID-06-76 y MMP-ADO-ID-06-80.

6.5 Diseño del Recipiente

La capacidad volumétrica del silo de Pbat se determina de acuerdo al volumen del cono truncado y del cono superior formado por la Pbat, que tiene un ángulo de elevación igual al ángulo de reposos de la pasta; ver Figura 6.19.

El volumen de cada sección se calcula de acuerdo a las ecuaciones [6.1] y [6.2]:

Volumen cono Truncado.

$$V_{truncado} = \frac{1}{3}\pi(H - h)(R^2 + r^2 + R * r) \quad [6.1]$$

Donde:

- H: Altura total del silo. [m]
- H: Altura parte cilíndrica del silo. [m]
- R: Radio parte cilíndrica del silo. [m]
- r: Radio de inferior del cono del silo. [m]

Volumen cono superior.

$$V_{sup} = \frac{1}{3}\pi h R^2 \quad [6.2]$$

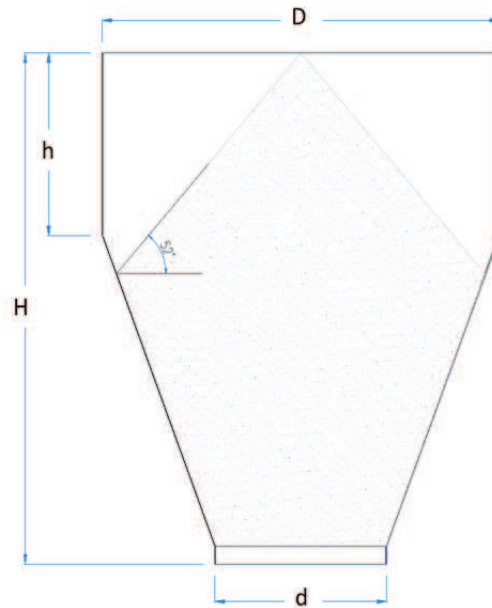


Figura 6.19: Distribución de la PBat en el silo.
Fuente: Elaboración Propia.

Los valores para la configuración del silo se observan en la Tabla 6.12.

Tabla 6.12: Parámetros geométricos del silo de PBat.

Parámetro	Valor	Unidad
H	2.875	m
h	970	m
D	2.080	m
d	900	m
Volumen cono truncado	3,49	m ³
Volumen cono superior	1,01	m ³
Volumen Total silo	4,50	m ³

Fuente: Elaboración Propia.

El dimensionamiento general del silo que se ajusta a los requerimientos de capacidad volumétrica y que cuenta con la geometría requerida para ser montado en la estructura, se muestra en la Figura 6.20.

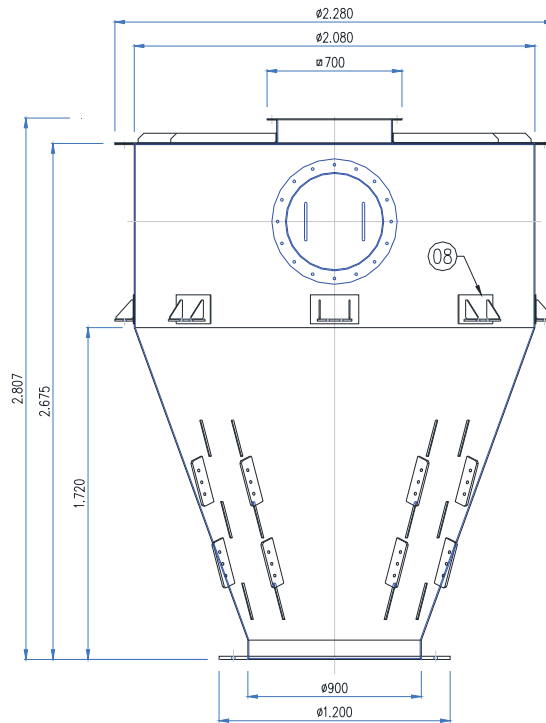


Figura 6.20: Dimensiones generales del silo de PBat.
Fuente: Elaboración Propia.

El diseño detallado del mano del silo y su integración con la superestructura de pueden ven en Anexo A, Planos MMP-ADO-ID-06-67, MMP-ADO-ID-06-96.

6.6 Manto del Silo

6.6.1 Materialidad del Manto del silo

La PBat contiene ácido sulfúrico diluido en un 30% como máximo (baterías completamente cargadas). Las curvas de pérdida de peso del acero AISI 316L por la acción del ácido sulfúrico se pueden observar en la Figura 6.21.

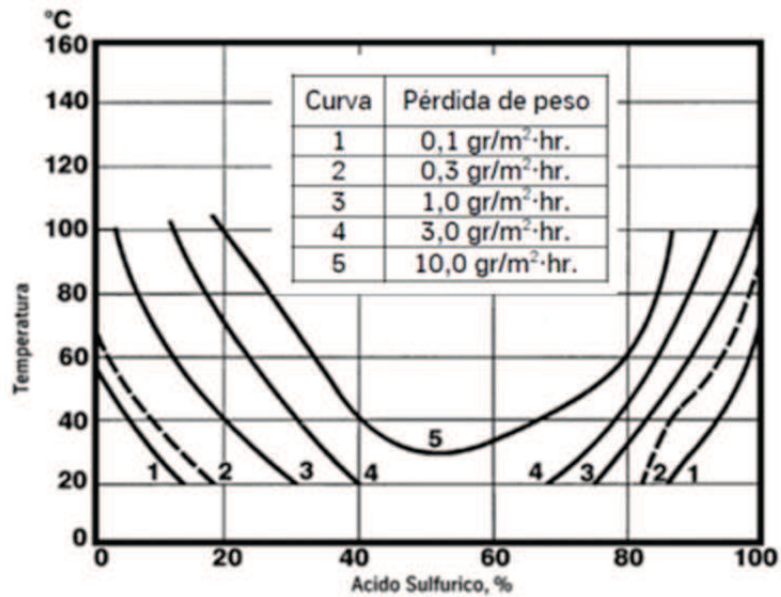


Figura 6.21: Curvas de pérdida de peso del acero AISI 316L por efecto del ácido H₂SO₄
Fuente: Thyssenkrupp, Catalogo General AISI 316L

Las condiciones de dilución de H₂SO₄ y temperatura de la PBat se muestran en la Tabla 6.13, de acuerdo a esta tabla la pérdida de peso del acero AISI 316 L corresponde a 1 [g/m² h].

Tabla 6.13: Temperatura de la PBat y concentración de H₂SO₄

Parámetro	Valor	Unidad
Dilución del H ₂ SO ₄	30	%
Temperatura PBat	25	°C

Fuente: Elaboracion Propia

El silo mantiene PBat en su interior las 24 horas del día, además debe operar por 350 días al año (detención por período de mantenimiento de la planta procesadora). Bajo estas condiciones y con una tasa de corrosión estimada máxima de 1 [gr/m² h] por el ataque del ácido sulfúrico, se tiene una pérdida de material de 8.400 [gr/m²] al año, lo que representa una pérdida de aproximadamente 1,07 mm de espesor del manto por año.

Se requiere una vida media de operación de 3 años antes del reemplazo. Por lo anterior, el espesor del manto del silo contempla un sobre-espesor de 3 mm respecto al espesor requerido por resistencia estructural del manto.

6.6.2 Espesor del Manto del Silo

Las propiedades mecánicas del acero AISI 316L para el cálculo del espesor del manto del silo se muestran en la Tabla 6.14.

Tabla 6.14: Propiedades Mecánicas Acero AISI 316L.

Parámetro	Valor	Unidad
Límite de fluencia	255	MPa
Resistencia a la ruptura	285	MPa
Resistencia a la tracción	550	MPa

Fuente: Outokumpu, Acero Inoxidable Austenítico 316L.

El volumen nominal del silo es de 4,50 m³ y la densidad aparente de la PBat es de 2.754 kg/m³, por consiguiente el peso total de la PBat en el silo es de 12.393 kg. La condición más desfavorable para el cálculo del espesor del manto es cuando hay formación de bóveda en la descarga, bajo esta condición, todo el peso de la PBat se encuentra aplicado sobre la zona cónica del silo. La distribución de la carga en el manto del silo se puede observar en la Figura 6.22.

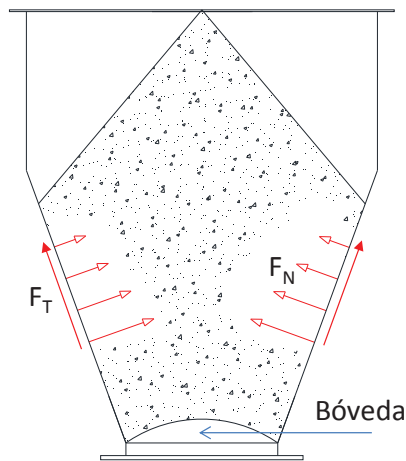


Figura 6.22: Distribución de cargas en el manto del silo.

Fuente: Elaboración Propia.

Para el cálculo de la presión sobre la pared del silo, se utiliza la ecuación de Janssen [6.3]:

$$P_v = \frac{\gamma A}{U \mu k_s} \left(1 - e^{-z k_s \frac{\mu U}{A}} \right) \quad [6.3]$$

Donde:

- γ : Peso específico
- A : Área de la sección transversal
- k_s : Relación entre las presiones horizontal y vertical
- U : Perímetro interior del silo
- μ : Coeficiente de fricción de la pared

La relación entre las presiones horizontal y vertical se calcula de acuerdo a la ecuación [6.4]

$$k_s = \frac{1 + \sin \phi}{1 - \sin \phi} \quad [6.4]$$

Donde:

ϕ : Angulo de fricción interna

El espesor del manto se calcula de acuerdo a la ecuación [6.5]

$$t = \frac{p_v}{2\sigma_{adm} \cos \phi} \quad [6.5]$$

Donde:

$$\sigma_{adm} = \frac{\sigma_{ut}}{4}$$

En la Tabla 6.15 se muestran los resultados de la presión de Janssen y el espesor del manto

Tabla 6.15: Parámetros de la ecuación de Janssen.

Parámetro	Valor	Unidad
γ	2.400	Kg/m ³
A	0,384	m ²
k_s	0,45	adim
U	2,191	m
μ	0.140	adim
ϕ	0,900	rad
P_v	3256	N
t	0,48	mm

Fuente: Elaboración propia.

El espesor mínimo requerido por resistencia es de 0,48 mm. Por diseño y disponibilidad de material se especifica el espesor del manto del silo en 5 mm.

El diseño detallado del recipiente se puede ver en el Anexo A, plano: MMP-ADO-ID-06-67

7 Control Operacional del Silo de PBat

7.1 Integración del Silo en la Unidad Productiva

La línea de proceso tiene una etapa de molienda o trituración, el material es transportado hasta un estanque separador desde donde se obtiene pasta de baterías; que se somete a un proceso de compactación y estrujado mediante una prensa. Posteriormente al estrujado, el material plúmbico es transportado mediante tornillos y cintas transportadoras hasta el silo de almacenamiento y dosificación. La carga del silo de PBat no es continua ya que la prensa estrujadora tiene ciclos de carga, estrujado y descarga.

Los fundentes, escamilla de hierro, carbón y ceniza de soda, son almacenados en silos que son cargados con maxisacos con los productos requeridos, los que son elevados por polipastos instalados en monorrieles. Estos silos de almacenamiento tienen una autonomía adecuada con la finalidad de alimentar de manera continua de los equipos de dosificación gravimétrica empleados para la incorporación de estos materiales en las proporciones requeridas por la planta.

Según el diseño del proceso el silo dosificador de PBat, que recibe la pasta estrujada, posee sensores de nivel alto, medio y bajo. El sensor de nivel máximo se enlaza con el control de la prensa estrujadora deteniendo su ciclo de operación cuando el silo se encuentra a máxima capacidad. De igual forma el sensor de nivel mínimo se enlaza con el control de los dosificadores gravimétricos, deteniendo la dosificación de los fundentes y del sistema de dosificación en general, de esta forma el silo mantiene un remanente de pasta, facilitando el reinicio de la descarga del silo cuando empieza a recibir carga nuevamente.

En este sentido el nivel del silo dosificador controla la operación de la línea de proceso, ya sea deteniendo la trituración o deteniendo la dosificación y mezclado de pasta con fundentes. La continuidad de la operación se consigue al equilibrar la carga del silo con la descarga de éste, esto se logra al aumentar o disminuir la velocidad de rotación de las aspas de descarga.

El silo de PBat, al tener el volumen necesario para mantener la continuidad de la dosificación y mezclado, permite detenciones menores en las áreas de triturado o dosificación y mezclado. Además, el control de operación de la trituradora y su transportador de alimentación debe estar enlazado con el descargador del silo con la finalidad de equiparar los flujos máxicos de ambos equipos, manteniendo la relación de rendimiento de material plúmbico de las baterías.

7.2 Filosofía de Operación

La filosofía de operación del silo de PBat se enfoca en la operación normal de éste, describe las operaciones de los mecanismos de arrastre vertical y mecanismo de descarga rotatorio que posee este equipo, junto con las operaciones de control de la unidad hidráulica para condiciones de trabamiento del rotatorio y el accionamiento de rastras verticales.

El sistema hidráulico de accionamiento del silo considera dos circuitos hidráulicos, que operan de forma independiente, para el accionamiento de los mecanismos de descarga rotatorio y de arrastre vertical:

- Circuito hidráulico para el mecanismo de arrastre rotatorio.

- Circuito hidráulico para el mecanismo de arrastre vertical.

Ambos circuitos hidráulicos son alimentados por una bomba hidráulica doble que es accionada mediante un único motor eléctrico. Esta bomba alimenta de forma independiente cada circuito hidráulico referido.

Circuito hidráulico para el descargador rotatorio.

El circuito hidráulico del mecanismo de arrastre rotatorio está compuesto por un motor oleohidráulico que acciona el mecanismo de arrastre rotatorio, el que permite el transporte mecánico del material en el interior del silo. El motor hidráulico posee un sentido de giro preferencial que permite la descarga del material, esta dirección de giro se invierte cuando se detecta trabamiento del mecanismo. El cambio de dirección de giro se efectúa mediante una válvula direccional de 4 vías / 3 posiciones, accionada por solenoides.

El circuito posee dos transductores de presión en los pilotajes del motor hidráulico, con el objeto de controlar el funcionamiento de éste; los sensores de presión registran la presión máxima en la línea de alimentación del motor hidráulico para el giro de éste de acuerdo al torque resistivo de la unidad de descarga.

Cuando el sistema es accionado, el motor hidráulico gira en sentido normal (definido según la orientación de las paletas rotativas del mecanismo de arrastre) energizando el solenoide de la válvula direccional; lo que produce la descarga del material por el arrastre de estas paletas. En este caso la presión de la línea de alimentación se mantiene ligeramente inferior a la presión máxima registrada.

En el caso que el motor se trabe o atasque, por interferencias de objetos sólidos (bornes) en la descarga, se genera un aumento de la presión en el pilotaje de la línea de alimentación; este aumento de presión es detectado ya que se encuentra sobre el valor máximo de operación normal. Dada esta condición se inicia una secuencia de acciones que producen la inversión de giro en el motor, la inversión destraba las aspas al caer el material que generaba la condición de atascamiento.

La secuencia de pasos para la inversión de giro y destrabamiento es la siguiente:

- Se desenergiza el solenoide de accionamiento de giro normal, deteniendo el motor hidráulico.
- Se energiza el solenoide de accionamiento de giro inverso, moviendo las aspas de descarga en giro contrario. Esta condición se mantiene por el tiempo necesario para completar una revolución del mecanismo de descarga.
- La condición del cambio de giro a condición normal se realiza cuando se ha completado el tiempo de una revolución o cuando se detecta un aumento en la presión en el pilotaje de la línea de alimentación.

En caso de generarse inversiones de giro en reiteradas y consecutivas ocasiones (cantidad a definir una vez que se realicen pruebas con carga) y al no disminuir la presión en los pilotajes, por debajo del máximo definido en operación, el motor hidráulico debe detenerse desenergizando las válvulas direccionales. Con la detención del motor hidráulico se acciona una alarma de detención del sistema.

Circuito hidráulico para el mecanismo de arrastre vertical.

El sistema de arrastre vertical consta de un circuito hidráulico que está compuesto por 4 conjuntos de arrastre vertical instalados sobre el manto del silo, cada uno de estos conjuntos está accionado por un cilindro hidráulico. Los conjuntos de arrastre vertical operan en pares contrapuestos con la finalidad de hacer bajar la pasta en forma pareja.

El comando de los conjuntos de cilindros se efectúa mediante 02 válvulas direccionales de 4 vías / 3 posiciones, accionada por solenoides, además se integran sensores inductivos para los cilindros hidráulicos que indican la posición inicial/final en su recorrido.

Cuando se acciona el sistema hidráulico se activa un par de cilindros contrapuestos, correspondientes al primer conjunto de mecanismos, energizando el solenoide correspondiente de la válvula direccional para efectuar el avance y posterior retroceso de estos cilindros. Terminado el ciclo de avance /retroceso de este par de cilindros, comienza el ciclo de la segunda pareja de cilindros; energizando el solenoide de la válvula direccional para el avance/retroceso respectivo de estos cilindros. Los conjuntos o pares de cilindros operan de manera no simultánea y consecutiva.

7.3 Filosofía de Control

La filosofía de control establece las estrategias de control necesarias a aplicar para cumplir con los requisitos operacionales del silo, tomando en cuenta, en primer lugar, la seguridad y, posteriormente, el funcionamiento normal, control de fallas y la mantención del equipo.

7.3.1 Control de los Mecanismos de Arrastre y Enclavamientos

Para el accionamiento (partir/parar) de los actuadores que poseen los mecanismos de arrastre rotatorio y vertical, se deben considerar las siguientes condiciones:

Control por nivel (general): Cuando la pasta de batería se encuentra en el nivel/zona de trabajo en el interior del silo, los actuadores de ambos mecanismos están en condiciones de operar sin problemas. En caso que el nivel de pasta se encuentre bajo el mínimo, se acciona una alarma de luz (baliza) y de ruido que alerta al personal, deteniendo el funcionamiento de todos los actuadores. Cuando el nivel se encuentra sobre el máximo, los mecanismos siguen operando y sólo se acciona la alarma de luz (baliza) y de ruido. También se debe generar una alarma en la pantalla de control.

Control por presión (mecanismo de arrastre rotatorio): Cuando las presiones en ambos pilotajes del motor hidráulico se mantienen bajo el máximo seteado, el motor hidráulico se encuentra en condiciones de entrar en operación. En caso que las presiones en ambos pilotajes se mantengan sobre el máximo seteado o que se generen inversiones de giro consecutivas, se acciona una alarma de luz (baliza) y de ruido que alerta al personal, deteniendo el funcionamiento del motor hidráulico. También se debe generar una alarma en la pantalla de control.

Control por final de carrera (mecanismo arrastre vertical): Mientras las señales de posición inicial/final en el accionamiento de los 04 cilindros se reciban correctamente en el controlador, el mecanismo está en condiciones de operar sin problemas. Si alguno de los cilindros no indica la posición final o inicial, se acciona una alarma de luz (baliza) y de ruido que alerta al personal, deteniendo el funcionamiento de los actuadores. También se debe generar una alarma en la pantalla de control.

Durante la operación normal del silo de pasta de baterías los mecanismos de arrastre rotatorio y vertical en funcionamiento, pueden detenerse completamente sólo por tres tipos de interrupciones:

Por parada de emergencia: Realizada por un operador al accionar una botonera de parada de emergencia, acción efectuada localmente en el tablero eléctrico del silo de pasta de baterías o remotamente en otra zona/área aguas abajo del silo de pasta de baterías (por ej.: dosificadores, cinta de descarga weightfeeders, mezclador y su descargador). Al enclavar el interruptor de parada de emergencia, se detiene el motor eléctrico de la bomba hidráulica.

En caso de producirse una parada de emergencia aguas arriba del silo de pasta de baterías (por ej.: prensa estrujadora, cinta de alimentación del silo y cinta de traspaso), éste deja de ser alimentado con pasta estrujada, pero sigue funcionando normalmente hasta llegar al nivel mínimo. Por lo tanto, cualquier parada de emergencia activada aguas arriba del silo no afecta el funcionamiento en las zonas de acopio, dosificación, mezclado.

Por parada de nivel mínimo: En caso que el silo de pasta de baterías se encuentre en el nivel mínimo (señal de nivel local) u otro silo se encuentre en nivel mínimo (señal de nivel externa), se detiene completamente el funcionamiento de todos los actuadores pertenecientes a los mecanismos de descarga que posee el silo de pasta de baterías.

Bajo esta condición de nivel mínimo en cualquiera de los silos, también se detienen todos los dosificadores, debido a que no se puede obtener la mezcla deseada a falta de pasta de baterías, fundentes o aglomerante, afectando la composición del material requerido para fundición.

Con el objeto de no dejar material plomado detenido, por ejemplo en la cinta de salida del silo de PBat, y que aún mantienen la composición requerida en la mezcla, el resto de los equipos aguas abajo de los silos y dosificadores todos los elementos de transporte deben seguir funcionando con la carga de material restante.

Por parada de motor hidráulico: En caso que el motor hidráulico se detenga por atascamiento, se detiene completamente el funcionamiento de todos los actuadores pertenecientes a los mecanismos de descarga que posee el silo de pasta de baterías.

Bajo esta condición de atascamiento en el motor hidráulico, también se detienen todos los dosificadores; debido a que no se puede obtener la mezcla deseada por falta de pasta de baterías.

7.3.2 Arquitectura de Control

El sistema de control para la operación del silo de pasta de baterías, considera un PLC que alberga la lógica de control que permite accionar los actuadores de los mecanismos de descarga. Esta lógica de control tiene la siguiente configuración:

- Un PLC Independiente para el silo de pasta de baterías, que además permite la configuración de Maestro - Esclavo con un PLC Maestro que controla el manejo integrado de la línea de Materiales Plomados.

Esta alternativa es directa para el control del equipo cuando se encuentra en la modalidad de control independiente, cuando opera en régimen de Maestro – Esclavo, ya que se enlaza con el PLC Maestro o sistema supervisor general de procesos al cual se deben conectar los sistemas de control locales, enviando los datos/señales, estos datos de retroalimentación entre los distintos siste-

mas de control, permite la integración de la línea y su supervisión en una sala de control y operación. La configuración se debe abordar entre las partes permitiendo una completa comunicación e integración.

Independientemente de la configuración que integra toda la línea de producción de materiales plomados la lógica de control del área del silo de PBat y de los weightfeeders, debe considerar la interacción con señales externas (input/output) provenientes de otras áreas del sistema de Manejo de Materiales Plomados tales como:

- Parada de emergencia por detenciones aguas abajo del silo (señal externa de entrada recibida).
- Nivel mínimo en silos de fundentes y aglomerante (señal externa de entrada recibida).
- Detención del motor hidráulico (señal interna de salida enviada para control de otros equipos).

El tablero eléctrico de fuerza y control (TD&F) debe tener una pantalla Touch Screen que aloja un HMI SCADA que permita monitorear e interactuar en la programación del PLC. En cuanto al monitoreo, cualquier operario debe ser capaz de revisar el estado de operación del equipo, informando sobre parámetros de interés, alarmas o fallas que se hayan producido durante su operación, tales como:

- ✓ Fallas producidas en el equipo debido a nivel mínimo, atascamiento del motor hidráulico o no detección del final de carrera en algún cilindro.
- ✓ Alarmas generadas por nivel máximo o activación de la botonera de parada de emergencia.
- ✓ Monitoreo de parámetros de interés (por ej.: presiones en los pilotajes del motor hidráulico y estado de los niveles en el silo).
- ✓ En cuanto a la interacción con la programación del PLC, sólo puede acceder el usuario autorizado mediante clave, pudiendo cambiar/modificar parámetros numéricos. En este caso el parámetro modificable corresponde a:

Presión máxima de giro según torque solicitado en ambos pilotajes del motor hidráulico que inician la rutina para la inversión de giro del motor, con el objeto de destrabarlo.

El motor eléctrico de la bomba hidráulica funciona con un partidador suave o VDF, encontrándose enclavado de acuerdo a las condiciones descritas en los apartados anteriores.

7.3.3 Operación del Sistema de Control

Para el accionamiento de los mecanismos de descarga del equipo, se conciben dos modos de operación: Automático y Manual. El modo de operación es habilitado/seleccionado mediante un selector de dos posiciones (Man-Aut) ubicado en el tablero eléctrico de fuerza y control (TDF&C) del equipo. El detalle de cada modo de operación se describe a continuación:

- a) Automático: En este modo, la lógica de control alojada en el PLC comanda el encendido del motor eléctrico de la bomba y las válvulas direccionales del sistema hidráulico para el accionamiento de los mecanismos de descarga, que deben cumplir con todas las condicio-

nes descritas en los apartados anteriores. Para este modo de operación el selector de dos posiciones ubicado en el TDF&C debe encontrarse en la posición Automático.

- b) Manual: En este modo, toda la operación se realiza localmente a través de botoneras de partida / parada o selectores dispuestos directamente en el TDF&C. Aquí el operador puede poner en marcha o detener los mecanismos de arrastre a su discreción, con la única restricción que imponen las protecciones de seguridad de los equipos (protecciones de relé, presión). Para este modo de operación el selector de dos posiciones ubicado en el TDF&C debe encontrarse en la posición Manual.

En la condición manual, se deben tener las siguientes botoneras o selectores para accionar los mecanismos de arrastre:

- ✓ Botonera partir/parar para motor eléctrico de la bomba hidráulica.
- ✓ Selector de tres posiciones para generar la inversión de giro en el motor hidráulico o detenerlo. El selector debe indicar Horario – 0 – Antihorario.
- ✓ Botonera partir/parar para el conjunto de cilindros configurado en pares contrapuestos.

Monitoreo de Parámetros del Sistema

El sistema de control del silo y de la unidad de potencia que alimenta el motor hidráulico y a los cilindros actuadores, está incorporado al Sistema de Control con los siguientes instrumentos que permiten monitorear las diversas variables de proceso.

- ✓ Presión: En el mecanismo de descarga rotativo se mide la presión en ambos pilotajes del motor hidráulico mediante transductores de presión. En el mecanismo de descarga vertical se mide la presión en forma local en cada conjunto de cilindros mediante manómetros. Además, se monitorea la presión de la línea del motor hidráulico en ambas direcciones de giro.
- ✓ Niveles: Se miden los niveles en el silo (máximo y mínimo) mediante interruptores de nivel vibratorios para sólidos.

8 Conclusiones

i. Estado del arte de silos

- ✓ Los silos para pastas son complejos porque no escurren gravitacionalmente, ya que la pasta tiende a formar bóvedas y discontinuidades en el flujo de descarga.
- ✓ La tecnología de silos de pasta es un tema importante en varias industrias modernas, ya que los sistemas de descarga no se encuentran resueltos completamente.
- ✓ La tendencia actual para almacenaje de pasta son silos de fondo plano con mecanismos de descarga, los que pueden ser: de ejes encontrados, de movimiento alternativo, de descarga con tornillo y de descargador rotatorio, entre otros.

- ✓ No existe mucha información sobre el desempeño de los silos para pastas, porque son equipos de propiedad patentada que requieren un desarrollo para cada tipo de material.

ii. Caracterización de la PBat

- ✓ Material compuesto por óxidos de plomo, sulfatos de plomo, plomo metálico y polipropileno.
- ✓ Granulometría heterogénea y compleja por la dispersión de tamaños de partículas de la pasta. La distribución del tamaño de partícula de la pasta comprende desde elementos de 9,5 mm de diámetro hasta partículas de tamaño menor a 0,15 mm
- ✓ Angulo de reposo de 52°, lo que confirma una baja fluidez.
- ✓ El esfuerzo de cizalle de la PBat es de 0,6 kg/cm², que es un esfuerzo alto en comparación con el esfuerzo de cizalle de materiales granulométricos.
- ✓ Se desarrolló un nuevo método para medir el cizalle, ya que por la granulometría de la PBat la celda de Jenike no es adecuada.

iii. Diseño del silo.

- ✓ El diseño geométrico del silo es cilindro-cónico de 4,5 m³ de capacidad de acero AISI 316L.
- ✓ La autonomía del silo es de 2 horas con un flujo de descarga de 5.000 kg/h.
- ✓ El silo está compuesto por un estanque, un descargador principal rotatorio y un descargador secundario. Cuenta con una motorización para el mecanismo de descarga principal de 795 W de potencia nominal que se considera reducida para el flujo de descarga requerido.
- ✓ El desarrollo logrado, en el diseño de los sistemas de descarga se puede utilizar para manejar materiales que sean de similares características a la PBat.
- ✓ El accionamiento de los descargadores principal y secundario es por accionamiento hidráulico, ya que permite desarrollar capacidad de carga e inversión de giro.

iv. Control

- ✓ La filosofía de control del silo permite la integración con la línea de producción, utilizando el nivel del silo como parámetro de control; ya sea deteniendo la trituración o deteniendo la dosificación y mezclado de pasta con fundentes.
- ✓ La arquitectura del sistema de control comprende un PLC y una pantalla Touch Screen que aloja un HMI SCADA, que permita monitorear e interactuar en la programación y operación del silo.
- ✓ El monitoreo del silo es con sensores de presión para el control de accionamiento del descargador rotatorio y sensores de nivel para el control de operación de los equipos aguas arriba del silo (prensa estrujadora).

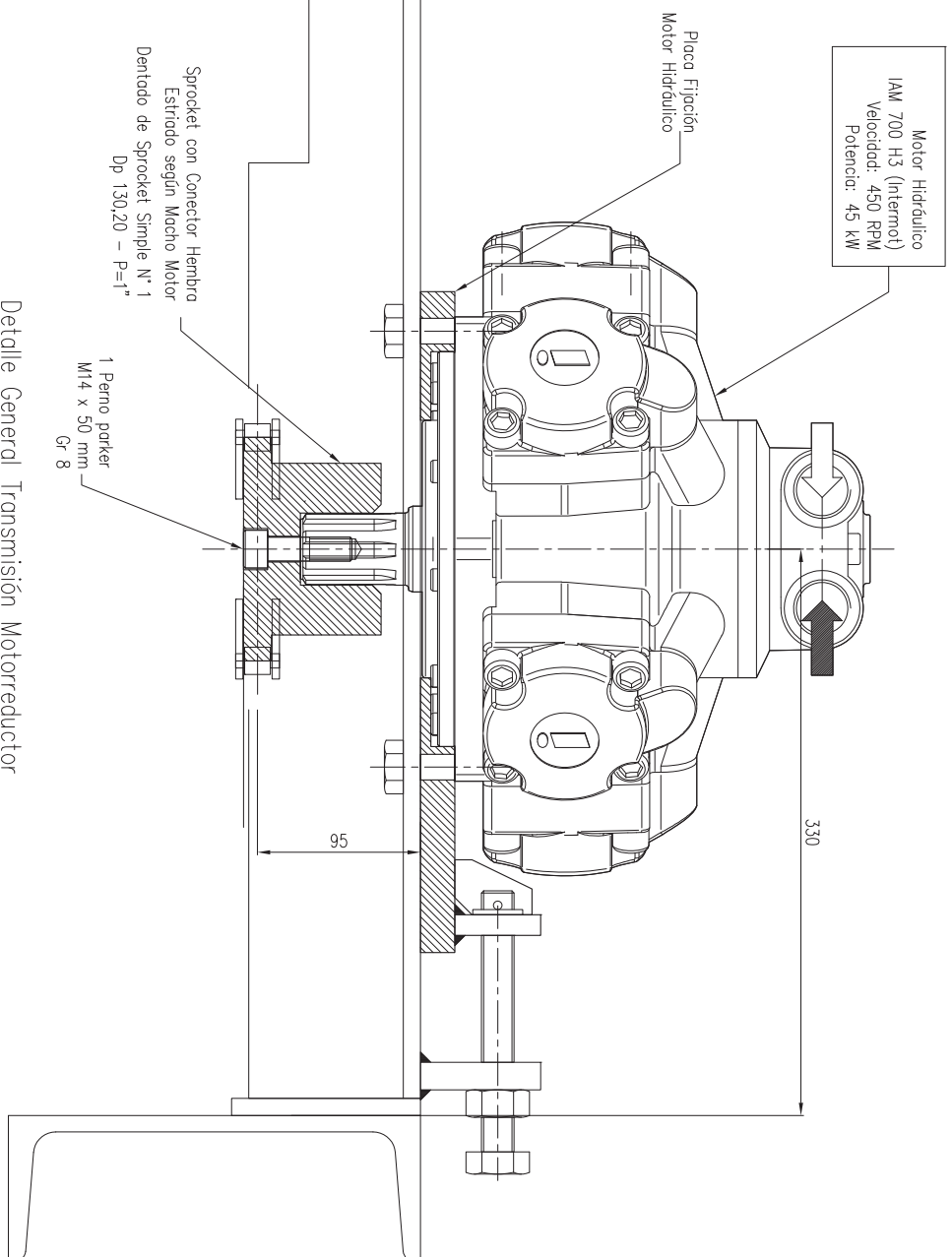
9 Bibliografía

- [1] Proyecto CONAMA, GTZ. Guía Técnica Sobre Manejo de Baterías de Plomo Ácido Usadas. Gestión de Residuos Peligrosos en Chile, Chile. 2008.
- [2] Vest H. Fundamentals of the Recycling of Lead-Acid Batteries, Gate Information Service, GTZ, 2002.
- [3] Ramus K, Hawkins P. Lead/acid battery recycling and the new Isasmelt process. Journal Power Sources, 2/1-2, 1992.
- [4] Muñoz C., Núñez L. Nuevo Proceso Productivo para el Reciclaje de Baterías de Plomo. Innovatec, Chile, 2015. Informe Técnico.
- [5] Asociación de Ingenieros Civiles Estructurales. Procedimiento de Diseño de Silos de Acero. AICE PRC-003-0. 2013
- [6] Mankoc Pablo. Flujo de medios granulares en la descarga de silos bajo la acción de la gravedad. Universidad de Navarra España. 2007. Tesis de doctorado.
- [7] Zuriguel Iker. Flujo y atasco de un medio granular en la descarga de silos. Universidad de Navarra España. 2005. Tesis de doctorado.
- [8] Commission of the European Communities. Technical coal research. Methods of improving coal discharge from hoppers and bunkers by mechanical and chemical means, British Coal Corporation, United Kingdom. 1993.
- [9] Hasler. Weigh Belt Feeder for Granular Materials Gravit, Gravit Technical Sheet. [En Línea]. http://weighing-dosing-solution.com/images/Documents/gravit_260-001_en-a.pdf [citado 10-Octubre-2016].
- [10] American Society for Testing and Materials. Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils. ASTM 422-63. 1963.
- [11] NCh 164-2009, Áridos para morteros y hormigones – Extracción y preparación de muestras. Instituto Nacional de Normalización. 2009.
- [12] American Society for Testing and Materials. Standard Test Method for Measuring the Angle of Repose of Free-Flowing Mold Poowders. ASTM C 1444-00. 2000.
- [13] American Society for Testing and Materials. Standard Test Method for Shear Testing of Bulk Solids Using the Jenike Shear Cell, ASTM D6218-97. 1997.
- [14] José P. López Neto; José W. B. do Nascimento; Rafael C. Silva; Carlos A. da Costa. Powder flow criteria for design of vertical silo walls. Departamento de Engenharia Rural FCAV/UNESP. 2013

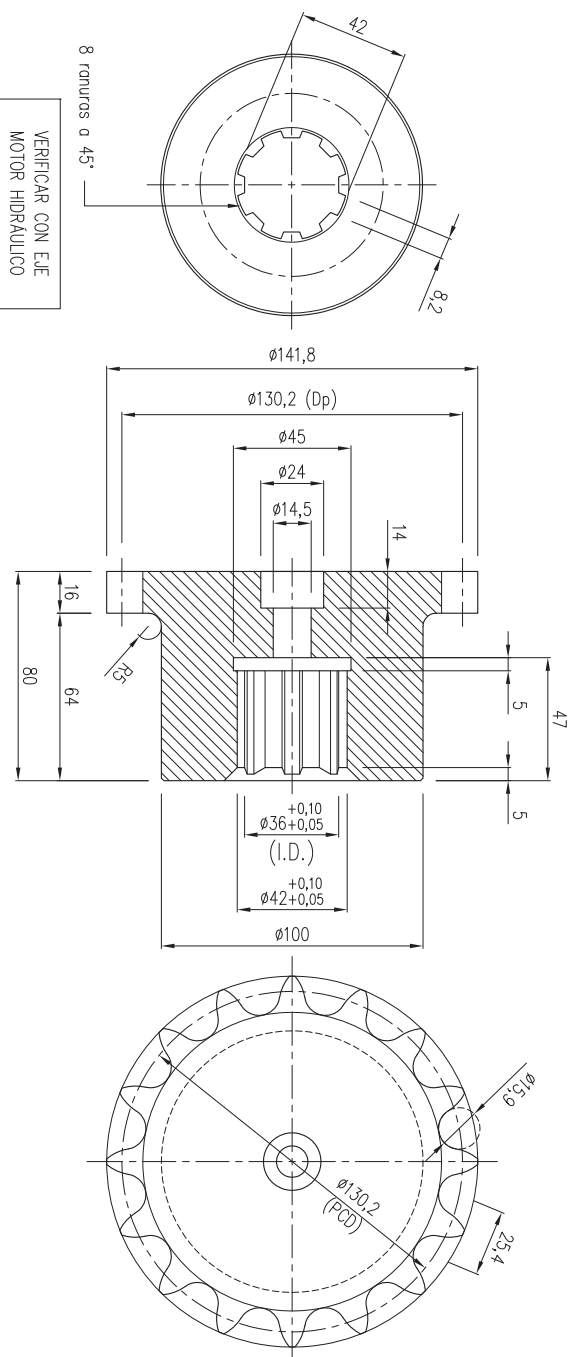
- [15] Ingeniería Eléctrica explicada, Características técnica de las baterías de plomo-acido [en línea] <http://ingenieriaelectricaexplicada.blogspot.com.es/2011/10/caracteristicas-tecnicas-de-las.html> [Citado 03-marzo-2016]
- [16] Solids Solution Groups. Instalaciones-sistemas. Silos-equipado [En Línea] <http://www.solids.es/es/instalaciones-sistemasequipados/silos-/instalaciones-de-silos-silos-adequados-para-los-productos.html> [citado 03-marzo -2016]
- [17] Engineering Integral Solution Coscollola [en Línea] <http://www.coscollolaengineering.com/almacenamiento/> [citado 10-marzo -2016]
- [18] OCAMPO Gil, Luis Hernando. Diseño de Accionamientos y Transmisiones de Máquinas. Universidad Tecnológica de Pereira, 1993
- [19] Rexnord, Technical Catalog Quality Chains, Catálogo Rexnord Cadenas de Rodillo.pdf, http://www.ducasse.cl/images/PDF_CATALOGOS/TRANSMISIONES [citado 5-octubre-2016]

Anexo: Planos de diseño de silo dosificador de Pasta de Batería.

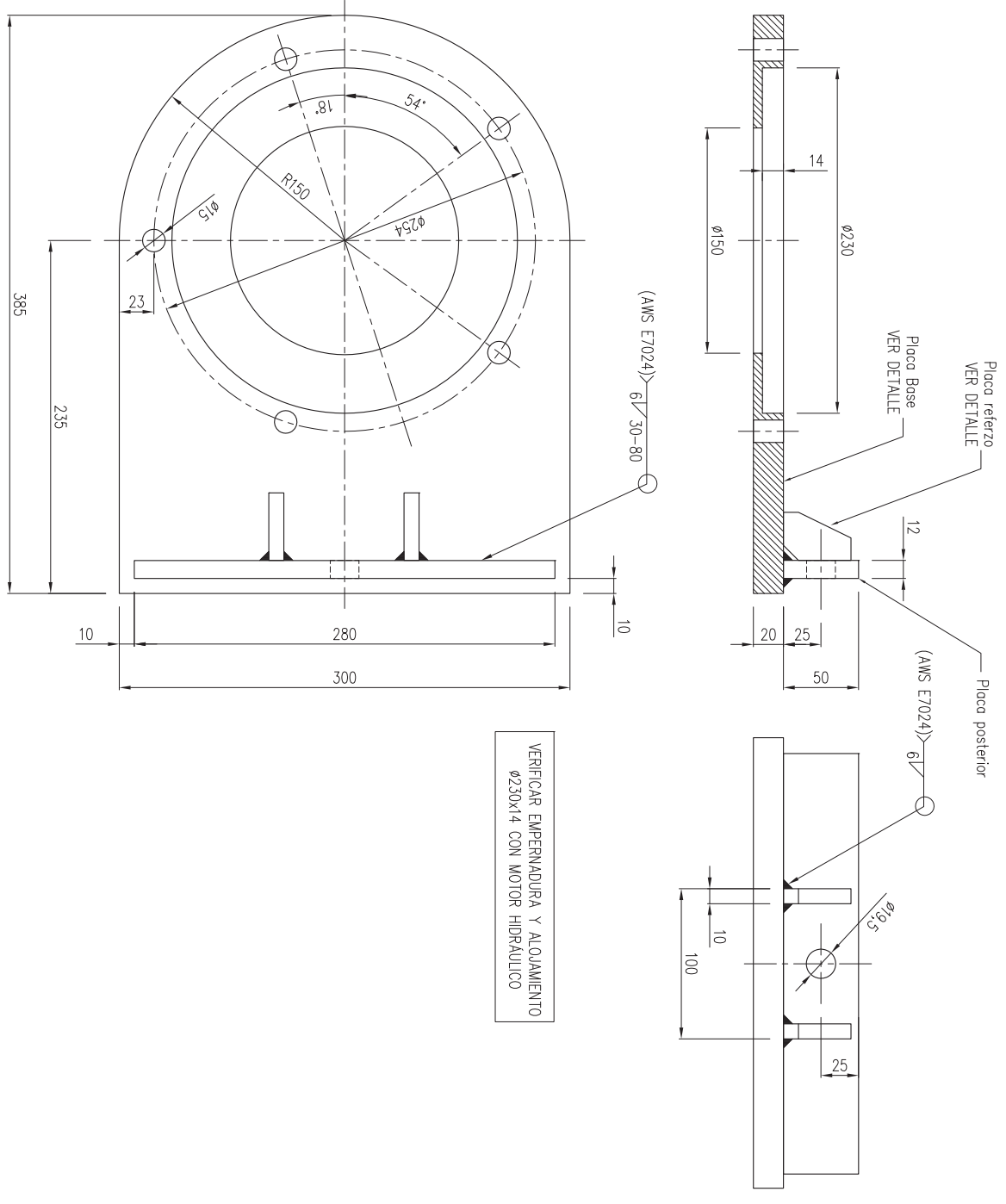
- ✓ MMP-ADO-ID-06-55: Detalle de Transmisión Intermedia.
- ✓ MMP-ADO-ID-06-56: Detalle de Transmisión Motriz.
- ✓ MMP-ADO-ID-06-67: Estructura Manto.
- ✓ MMP-ADO-ID-06-75: Conjunto Sistema de Arrastre Interior.
- ✓ MMP-ADO-ID-06-76: Detalle Soporte Conector Barras.
- ✓ MMP-ADO-ID-06-80: Placas Sistema de Arrastre Interior.
- ✓ MMP-ADO-ID-06-81: Conjunto Motorización de Descarga.
- ✓ MMP-ADO-ID-06-82: Detalle Conjunto Aspas Distribución.
- ✓ MMP-ADO-ID-06-83: Detalle Masa Fijación Aspas y Cono.
- ✓ MMP-ADO-ID-06-84: Detalle Eje para Descarga.
- ✓ MMP-ADO-ID-06-86: Detalle de Soporte de Rodamiento.
- ✓ MMP-ADO-ID-06-87: Detalle Tapa soporte Eje.
- ✓ MMP-ADO-ID-06-96: Detalle Fijación Silo Pb a Plataforma



Detalle General Transmisión Motorreductor
Escala S/E



Detalle Sprocket N° 1 con Conector Hembra Estrizado
Cantidad: 01 un.
Material: Comercial
Sprocket Simple Dp 130,2 - P=1"
Escala 1:2



Detalle Placa Fijación Motor Hidráulico
Cantidad: 1 unidad
Material: ASTM A36
Escala S/E

Detalle Placa de Refuerzo
Cantidad: 2 unidades
Espesor de Placa: 10 mm
Material: ASTM A36

PLANO EMITIDO PARA FABRICACIÓN

REFERENCIA	CÓDIGO PROYECTO	REVISION	REVISION	FECHA
		0	C	21/07/2015
				21/04/2015

EMITIDO PARA FABRICACION	PARA REVISION	DESCRIPCION	POR

PROYECTO	PROYECTO	DIBUJO	REVISO	APROBO

RECIMAT REVISAR INDUSTRIAL

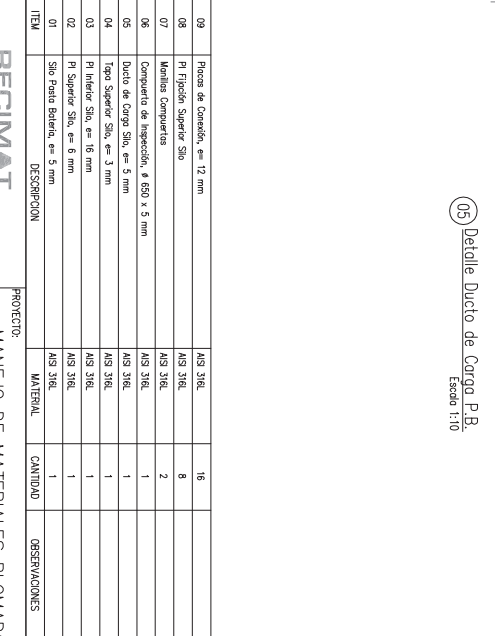
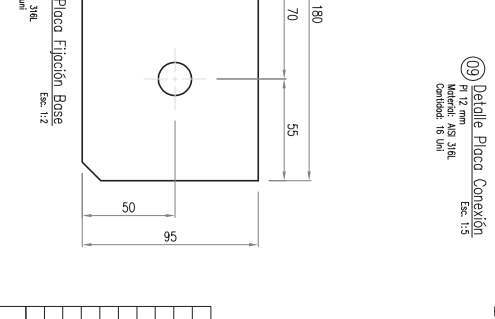
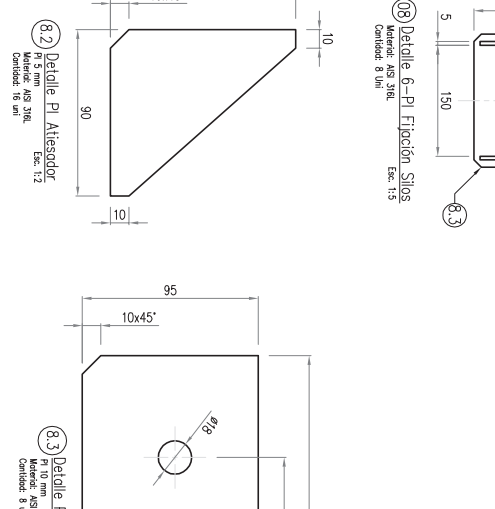
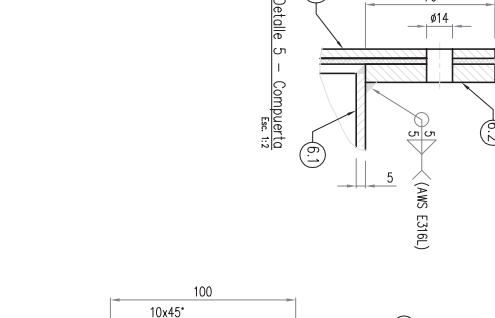
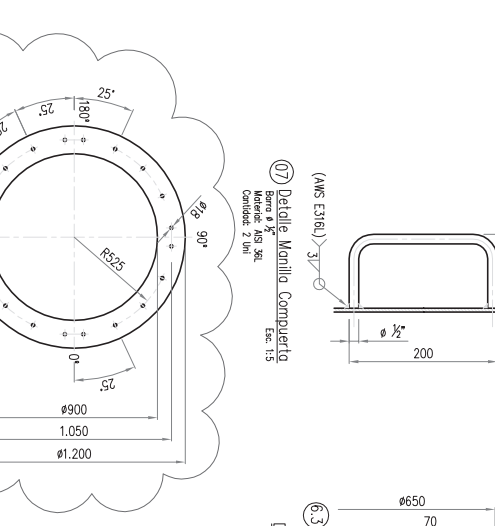
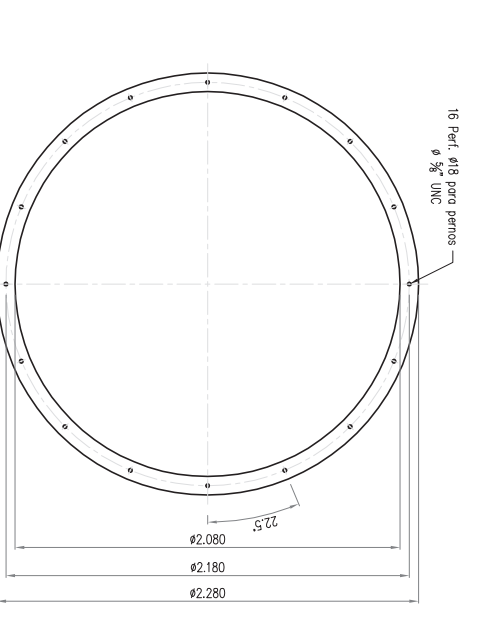
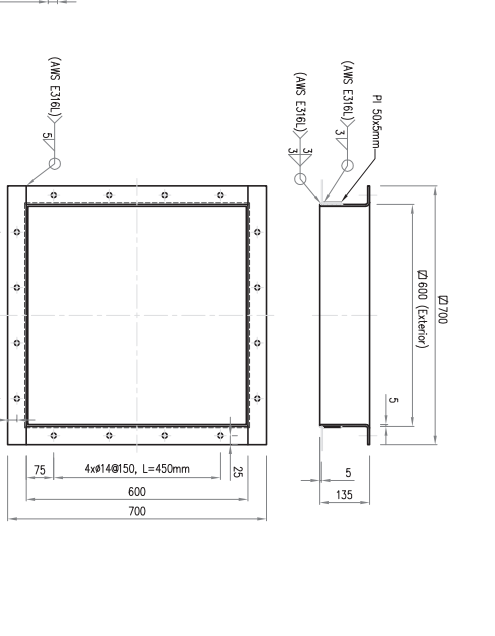
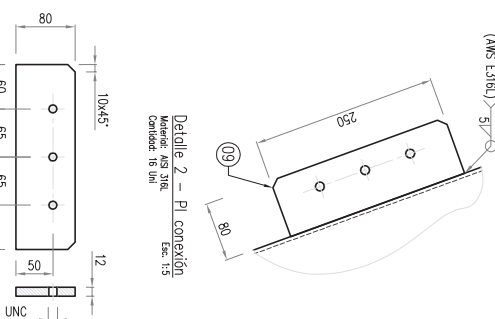
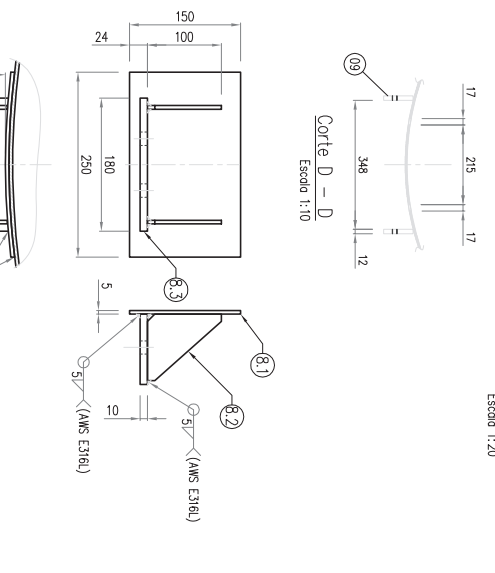
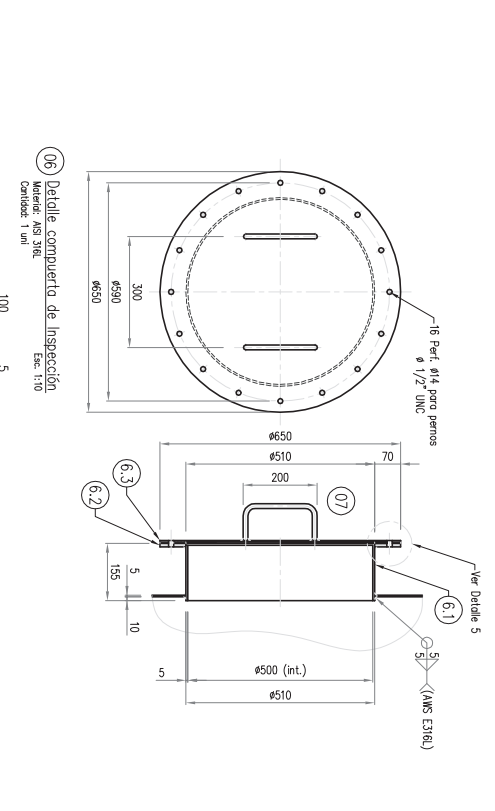
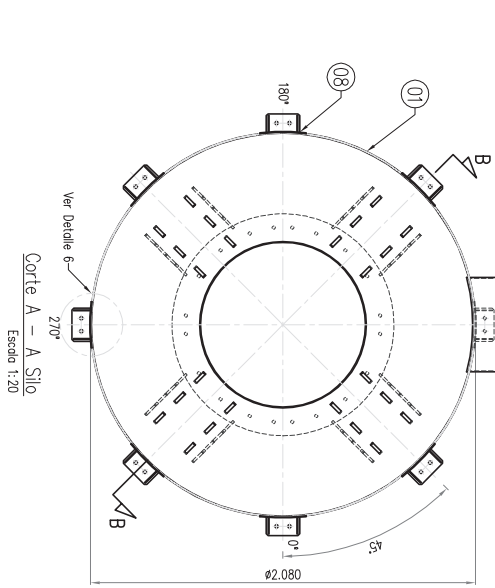
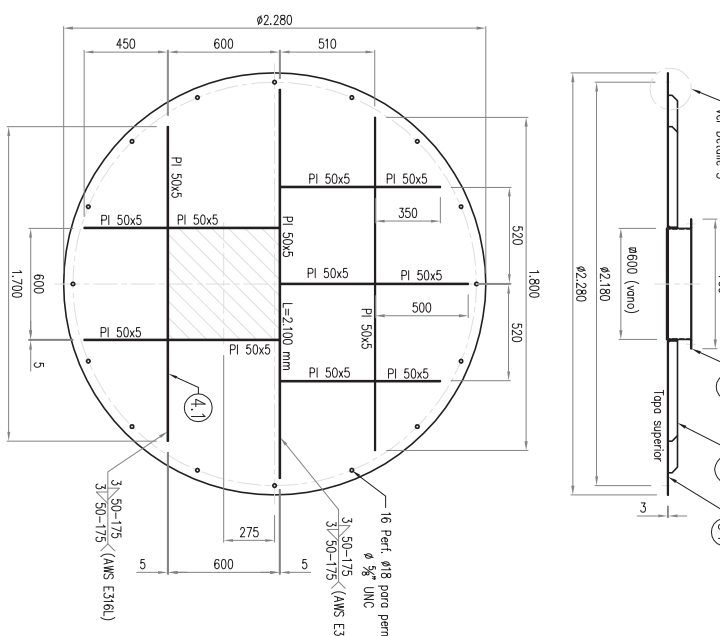
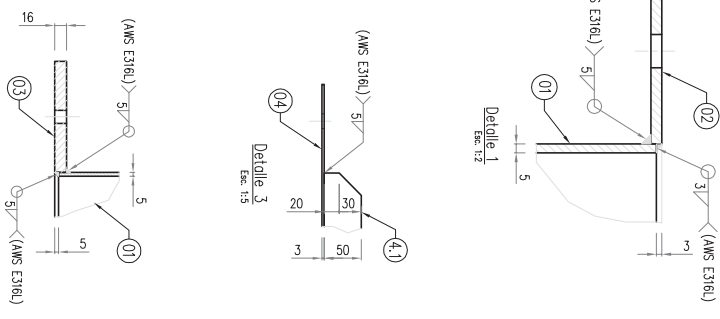
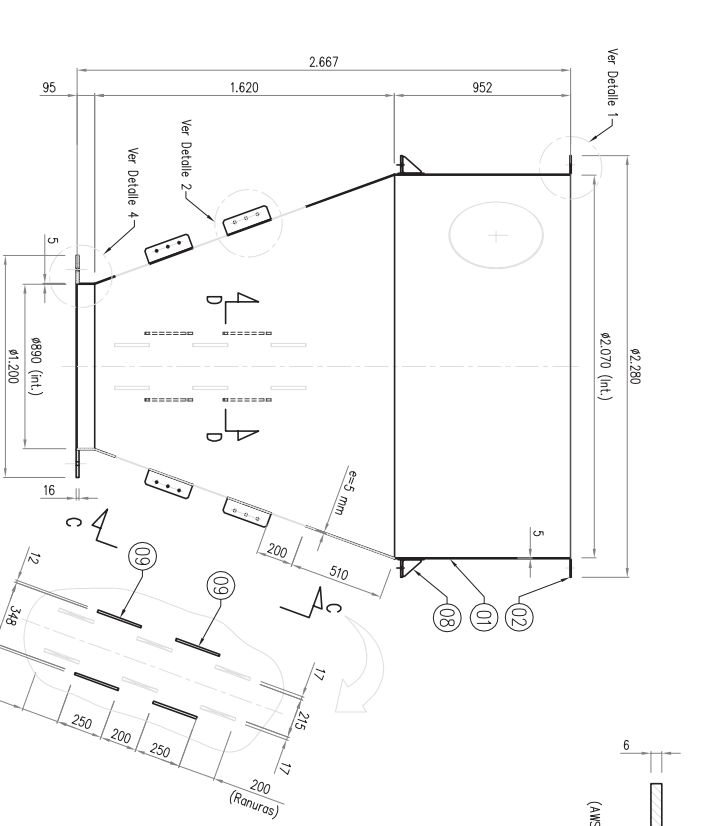
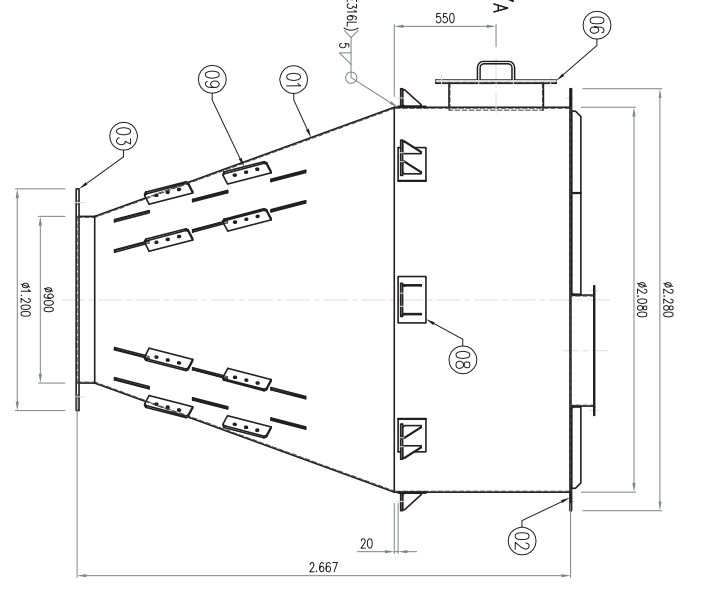
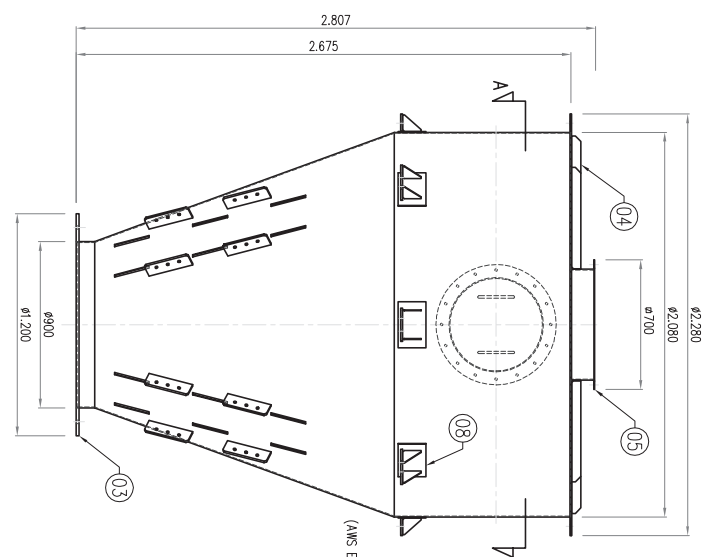
Innovatec INNOVATEC S.A. Puros Bienes de 5to. Nivel. Av. 10 de Agosto 1000 Montevideo

PROYECTO: MANEJO DE MATERIALES PLOMADOS

Área de acopio y clasificación
Silo Pasta de Botería

PLANO N°: MMP-ADO-ID-06

REV: 56

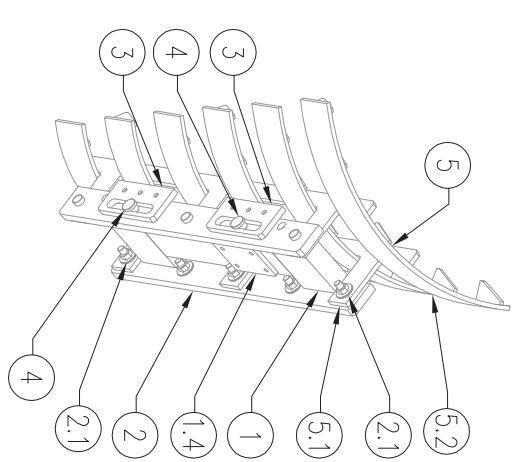
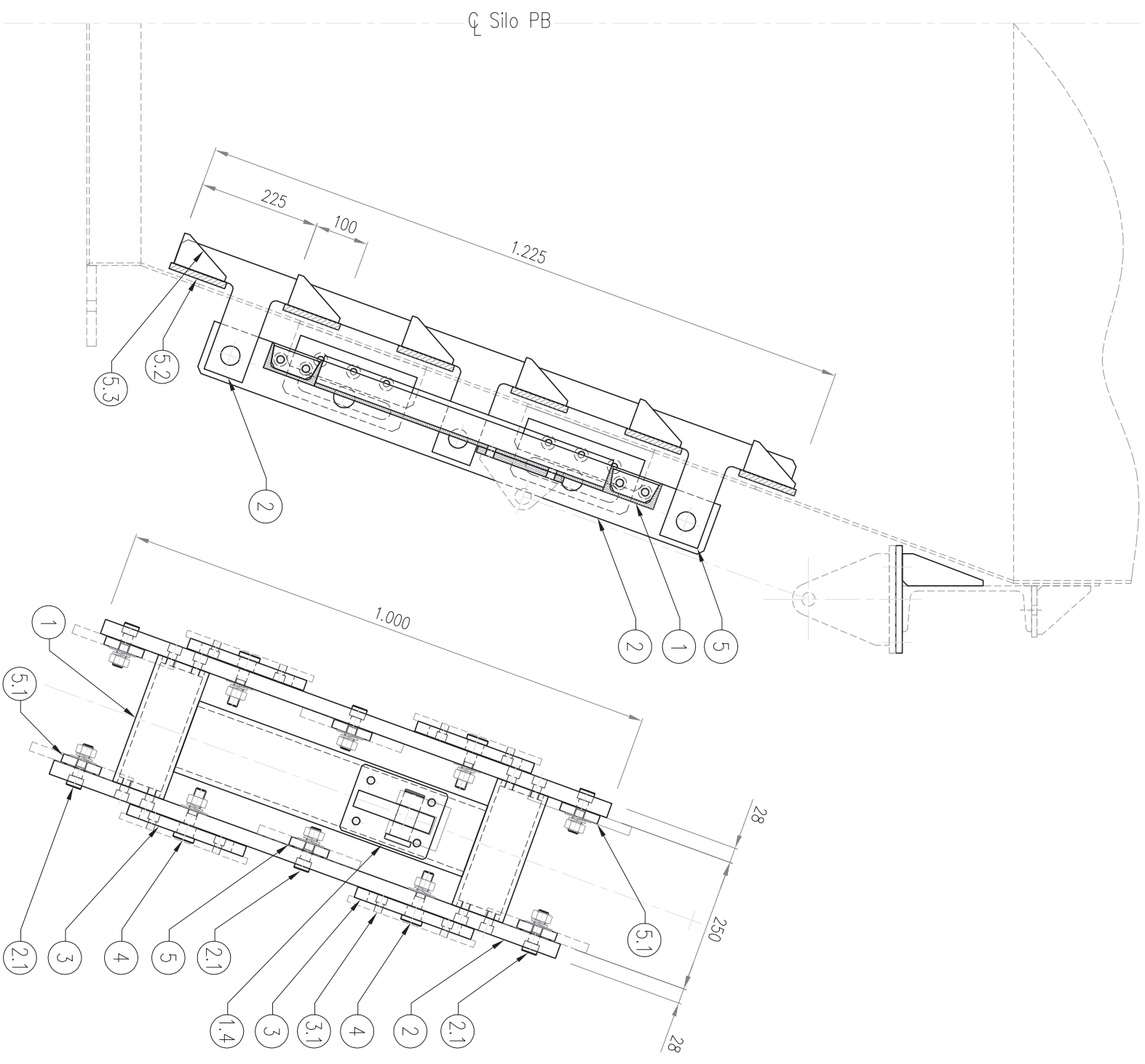


PLANO EMITIDO PARA FABRICACION

REFERENCIA	CODIGO PROYECTO	REVISION	FECHA	PARA REVISION	DESCRIPCION
A	03/09/2015	ACTUALIZACION COMPONENTES PARA REVISION			
B	14/09/2015	MODIFICACION PERFORACIONES PIEZA 3			
C	22/07/2015				

PROYECTO	NOBRE	FECHA	ESCALA	CODIGO PROJ.	PLANO N°	LUMINA
MANEJO DE MATERIALES PLOMADOS	Area de octopio y asociados	31/09/2015	1:20	MMP-ADO-ID-06	67	67

ITEM	DESCRIPCION	MATERIAL	CANTIDAD	OBSERVACIONES
01	Placa superior silo, ø 6 mm	AS316L	1	
02	Placa inferior silo, ø 6 mm	AS316L	1	
03	Placa superior silo, ø 18 mm	AS316L	1	
04	Placa inferior silo, ø 18 mm	AS316L	1	
05	Ducto de carga silo, ø 50 x 3 mm	AS316L	1	
06	Compuerta de inspección, ø 650 x 3 mm	AS316L	1	
07	Manilla superior silo	AS316L	2	
08	Placa de conexión	AS316L	8	
09	Placa de conexión	AS316L	8	
10	Placa de conexión	AS316L	8	
11	Placa de conexión	AS316L	8	
12	Placa superior silo, ø 6 mm	AS316L	1	
13	Placa inferior silo, ø 6 mm	AS316L	1	
14	Placa superior silo, ø 18 mm	AS316L	1	
15	Placa inferior silo, ø 18 mm	AS316L	1	
16	Placa superior silo, ø 18 mm	AS316L	16	



ITEM	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	CANTIDAD	OBSERVACIONES
1	Soporte Conector Barras			
1.1	Viga Central UPN 140	ASTM A-36	4	Ver plano MMP-ADO-ID-06-76
1.2	Viga Lateral UPN 140	ASTM A-36	8	Ver plano MMP-ADO-ID-06-76
1.3	Pl Conexión Barras	ASTM A-36	16	Ver plano MMP-ADO-ID-06-76
1.4	Pl Conexión Cilindro	ASTM A-36	4	Ver plano MMP-ADO-ID-06-76
1.5	Perno 5/8" UNC x 2" Gr.5	Comercial	16	
2	Barra Lateral Conector	ASTM A-36	8	Ver plano MMP-ADO-ID-06-77
2.1	Perno Parker 3/4" UNC x 2. 1/2"	Comercial	24	
2.1.1	Golilla Plana 3/4"	Comercial	24	
2.1.2	Golilla Presión 3/4"	Comercial	24	
2.1.3	Tuerca Hex. 3/4" UNC	Comercial	24	
2.2	Perno Parker 5/8" UNC x 2"	Comercial	32	
2.2.1	Golilla Plana 5/8"	Comercial	32	
2.2.2	Tuerca Hex. 5/8" UNC	Comercial	32	
3	Pl Guía Pasador	ASTM A-36	16	Ver plano MMP-ADO-ID-06-78
3.1	Perno Parker 1/2" UNC x 3/4"	Comercial	48	
4	Pasador de Amarre	SAE 4340	16	Ver plano MMP-ADO-ID-06-79
4.1	Golilla Plana 3/4"	Comercial	16	
4.2	Golilla Presión 3/4"	Comercial	16	
4.3	Tuerca Hex. 3/4" UNC	Comercial	16	
5	Sistema de Arrastre			
5.1	Pl Unión Barras de Arrastre	AISI 316L	8	Ver plano MMP-ADO-ID-06-80
5.2	Barras de Arrastre	AISI 316L	24	Ver plano MMP-ADO-ID-06-80
5.3	Cuñas de Arrastre	AISI 316L	96	Ver plano MMP-ADO-ID-06-91

RECIMAT
RECICLAJE INDUSTRIAL

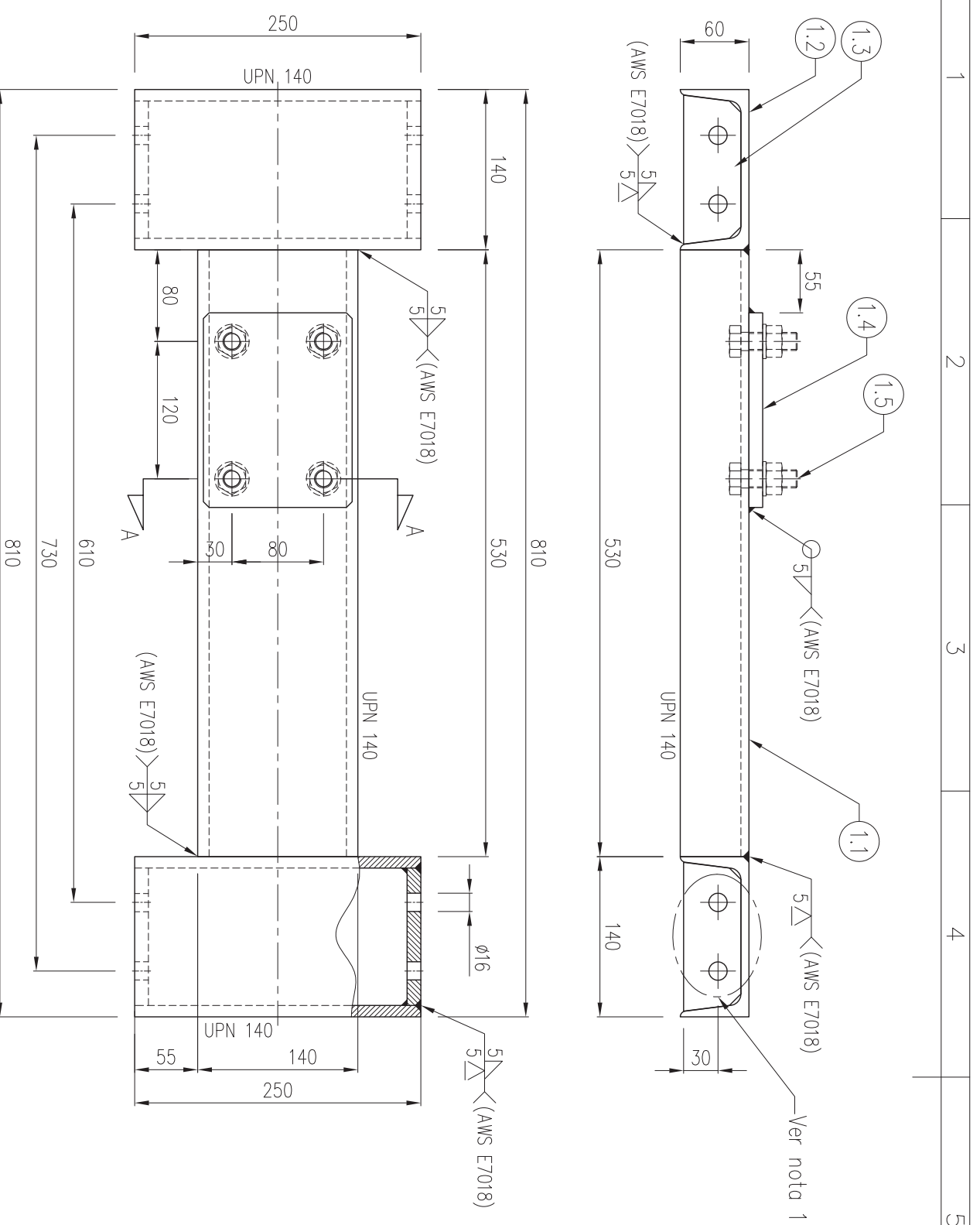
Innovatec
Innovatec INE Ltda.
Pasadillo 139, Of. 51, Sgo.
Fono: 52 21 42 42 20
www.innovatec.cl

PROYECTO:
MANEJO DE MATERIALES PLOMADOS

DESCRIPCIÓN: Área de acopio y dosificación
Silo Pasta de Boterío
Conjunto Sistema de Arrastre Interior

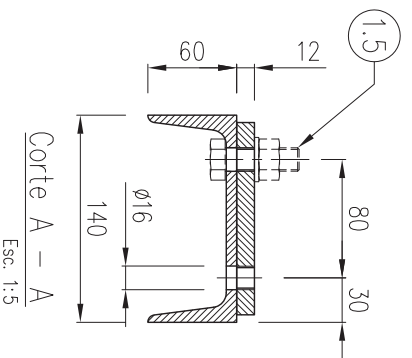
PROYECTO	NOMBRE	FIRMA	FECHA	ESCALA:	CÓDIGO PROY:	LAMINA:
DIBUJO	M.P.		29/09/2015	1:10	MMP-ADO-ID-06	75
REVISO	L.N.		05/10/2015			REV.
APROBO	R.M.			FORMATO: A3	MMP-ADO-ID-06-75	

REFERENCIA	REVISION	FECHA	EMITIDO PARA REVISION	DESCRIPCION
MMP-ADO-ID-06	A	05/10/2015		
CÓDIGO PROYECTO	REVISION	FECHA		
1	2			



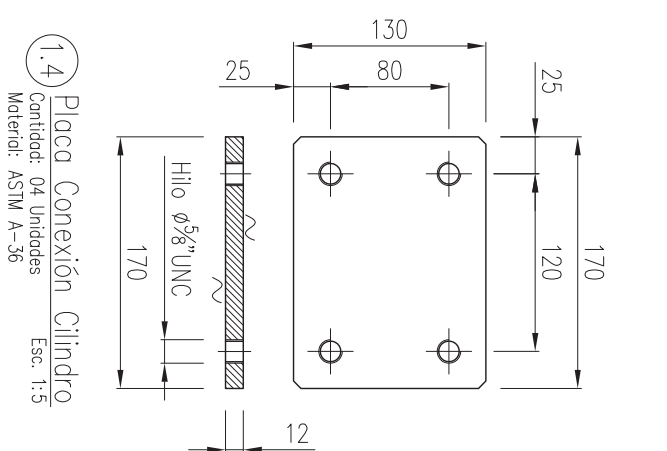
1 Soporte Conector Barras
 Cantidad: 04 Unidades
 Esc: 1:5
 Material: ASTM A-36

Nota 1:
 - Realizar perforaciones $\phi 16\text{mm}$ una vez armado el soporte.
 - Ajustar medidas con Barra Lateral Conector.

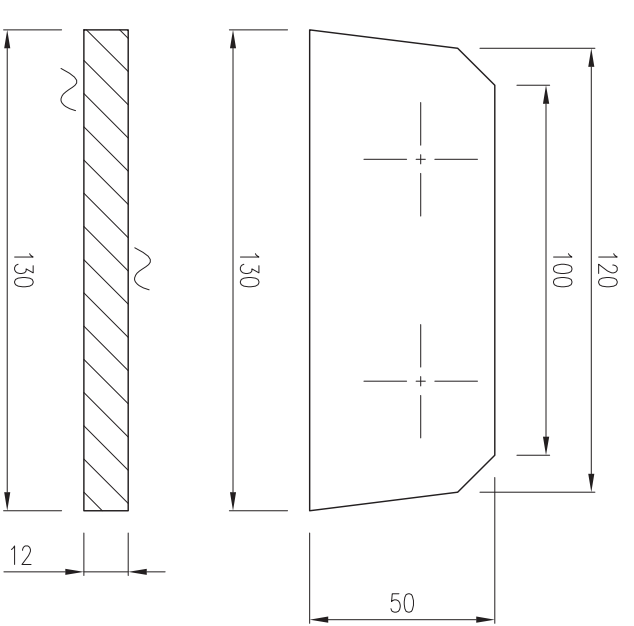


Corte A - A
 Esc: 1:5

PLANO EMITIDO
 PARA FABRICACIÓN



1.4 Placa Conexión Cilindro
 Cantidad: 04 Unidades
 Esc: 1:5
 Material: ASTM A-36



1.3 Placa Conexión Barra
 Cantidad: 16 Unidades
 Esc: 1:2
 Material: ASTM A-36

PLANO EMITIDO
 PARA FABRICACIÓN



Innovatec INCLUIDA
 Paseo 56-57 784.5200
 www.innovatecchil.cl

PROYECTO:
 MANEJO DE MATERIALES PLOMADOS

DESCRIPCIÓN: Área de acopio y dosificación

Silo Pasta de Batería

Detalle Soporte Conector Barras

CÓDIGO PROJ: MMP-ADO-ID-06

PLANO N°: MMP-ADO-ID-06-76

FORMATO: A3

REVISIÓN: 0

FECHA: 05/10/2015

PROYECTO: P.E.

DIBUJO: M.P.

REVISO: L.N.

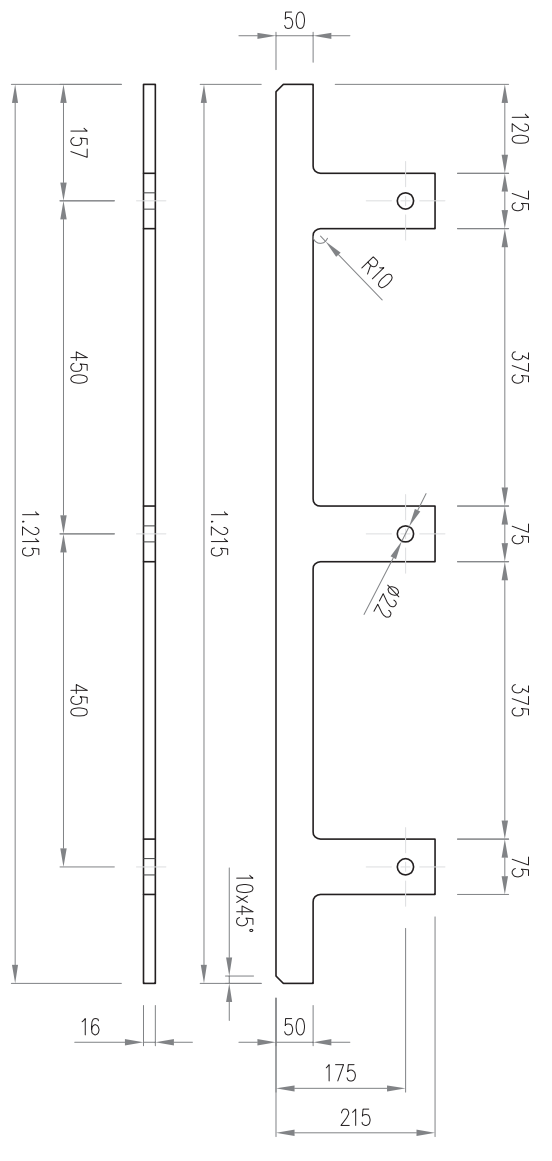
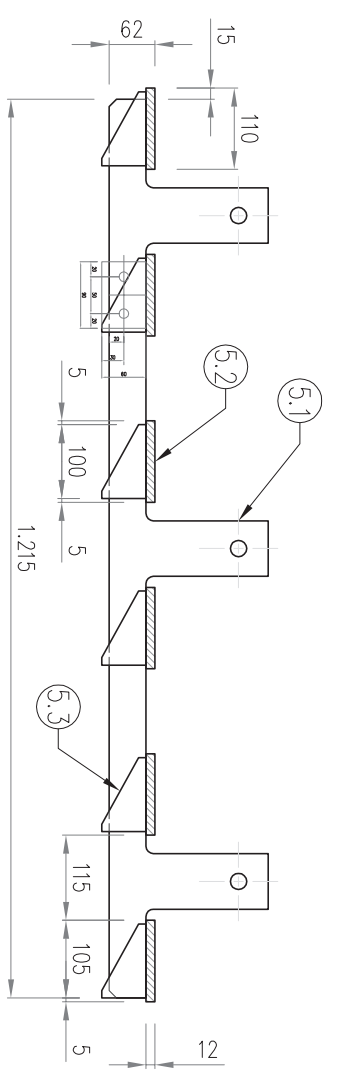
APROBO: R.M.

REFERENCIA	REVISION	FECHA	DESCRIPCION
MMP-ADO-ID-06	0	05/10/2015	EMITIDO PARA FABRICACIÓN
MMP-ADO-ID-06	B	01/10/2015	EMITIDO PARA REVISIÓN
CÓDIGO PROYECTO	1		

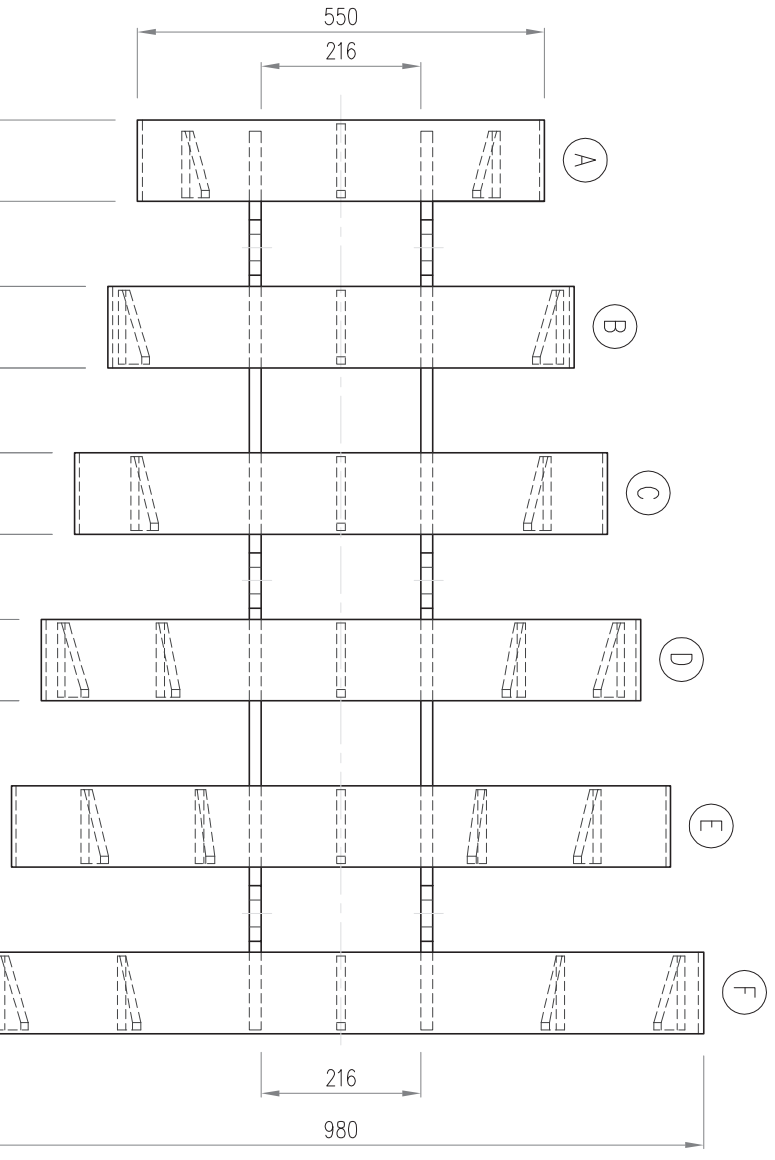
NOMBRE	FIRMA	FECHA	DESCRIPCION
PROYECTO		28/09/2015	Indicados
DIBUJO		05/10/2015	Indicados
REVISO		05/10/2015	Indicados
APROBO			Indicados

1 2 3 4 5 6 7 8

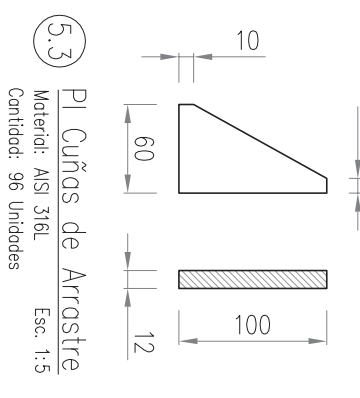
F E D C B A



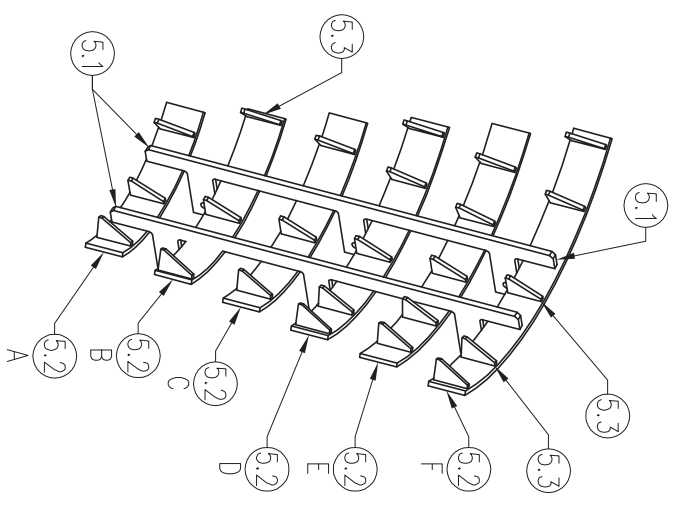
5.1 Pl de Unión Barras de Arrastre
 Material: AISI 316L
 Cantidad: 08 Unidades
 Esc. 1:10



5 Conjunto Sistema de Arrastre
 Material: AISI 316L
 Cantidad: 04 Unidades
 Esc. 1:10



5.3 Pl Cuñas de Arrastre
 Material: AISI 316L
 Cantidad: 96 Unidades
 Esc. 1:5



PLANO EN REVISIÓN
 NO APTO PARA FABRICACIÓN

RECIMAT
 RECICLAJE INDUSTRIAL

PROYECTO:
MANEJO DE MATERIALES PLOMADOS



Innovatec INE Ltda.
 Pasadillo 139, Of. 51, Sige
 Fonos: 506 21 43 43 20
 www.innovatecchile.cl

DESCRIPCIÓN: Área de acopio y dosificación
 Silo Pasta de Botería
 Conjunto Sistema de Arrastre Interior

REFERENCIA	REVISION	FECHA	DESCRIPCION
MMP-ADO-ID-06	B	05/10/2015	EMITIDO PARA REVISIÓN
CÓDIGO PROYECTO	REVISION	FECHA	DESCRIPCION
1	2		

ITEM	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	CANTIDAD	OBSERVACIONES
5	Sistema de Arrastre			
5.1	Pl Unión Barras de Arrastre	AISI 316L	8	
5.2	Barras de Arrastre	AISI 316L	24	
5.3	Cuñas de Arrastre	AISI 316L	96	

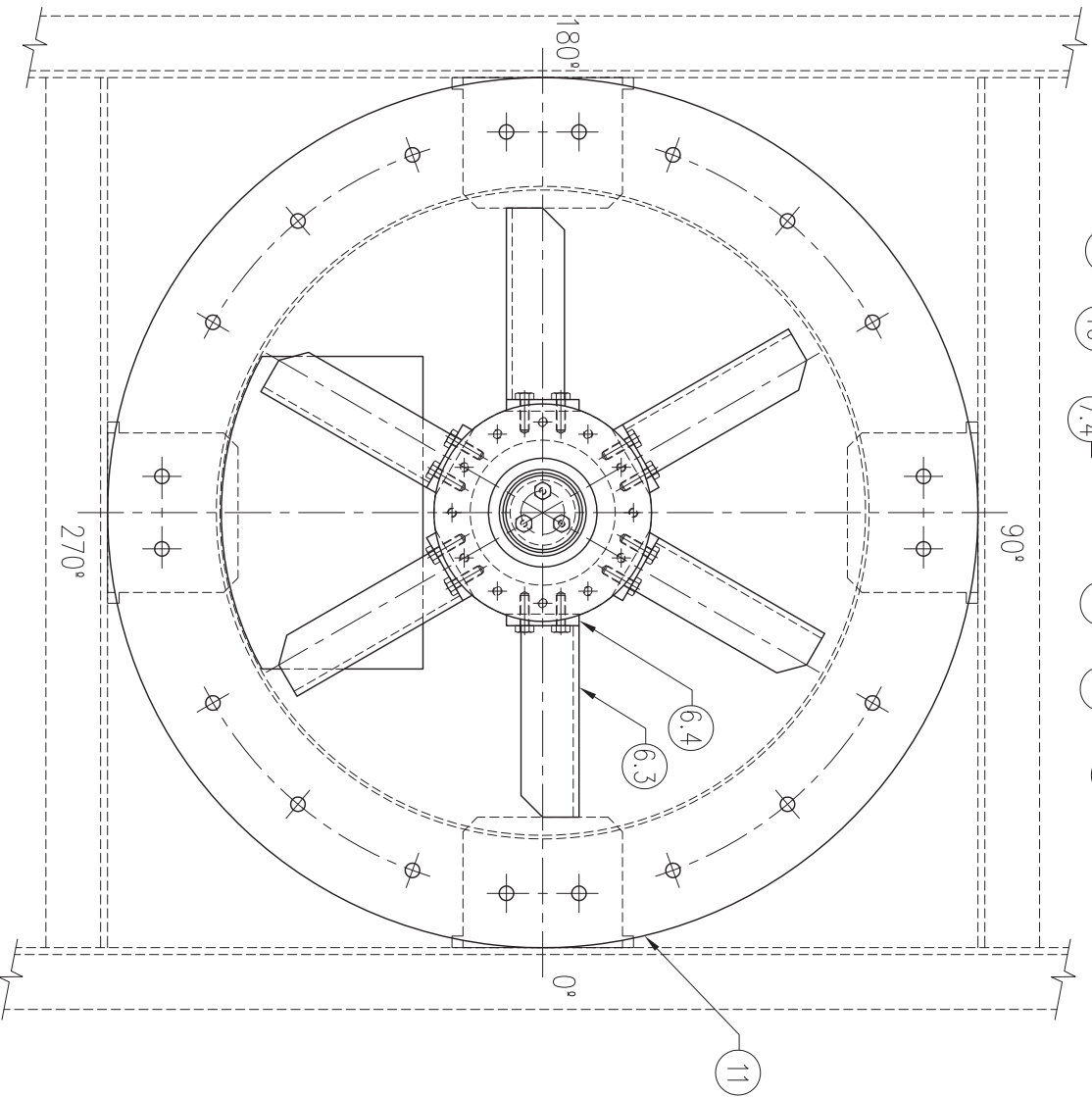
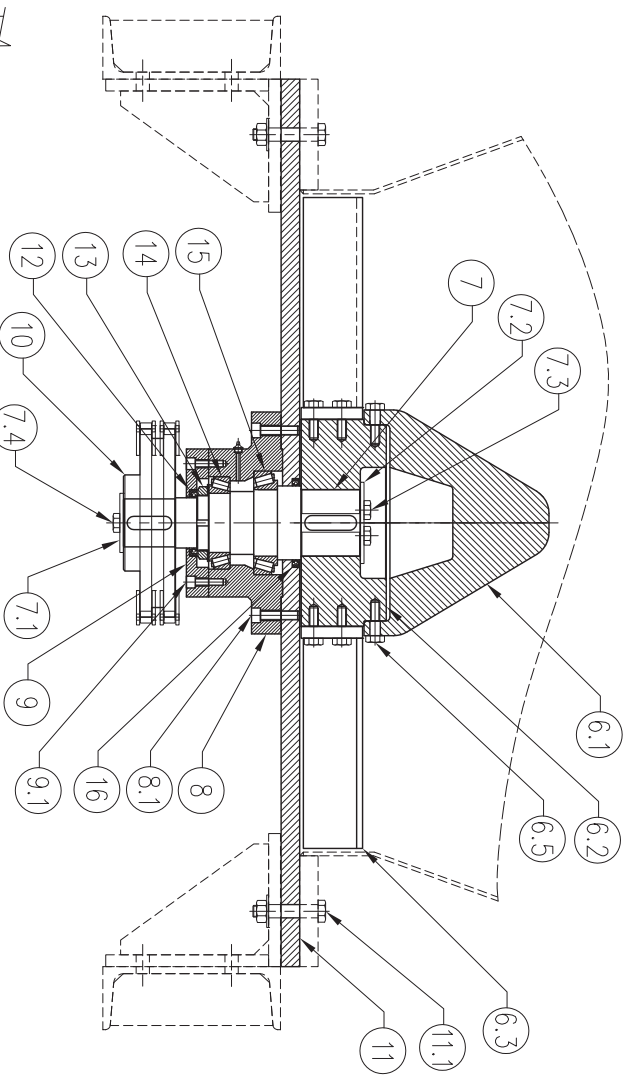
NOMBRE	FIRMA	FECHA	ESCALA:	PLANO N°
PROYECTO		29/09/2015	1:10	MMP-ADO-ID-06
DIBUJO	M.P.	05/10/2015		
REVISO	L.N.			
APROBO	R.M.			

FORMATO:	LAMINA:
A3	80

MANEJO DE MATERIALES PLOMADOS

DESCRIPCIÓN: Área de acopio y dosificación

PROYECTO: MMP-ADO-ID-06-80



PLANO EMITIDO
PARA FABRICACIÓN

ITEM	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	CANTIDAD	OBSERVACIONES
6.1	Cono de Distribución		1	Ver plano MMP-ADO-ID-06-90
6.2	Masa de Fijación Aspas y cono	SAE 1045	1	Ver plano MMP-ADO-ID-06-83
6.3	Aspas de Distribución	AISI 316L	6	Ver plano MMP-ADO-ID-06-82
6.4	Pl de Fijación Aspas	AISI 316L	6	Ver plano MMP-ADO-ID-06-82
6.5	Perno 1/2" UNC x 1. 1/2" Gr.8	Comercial	30	
7	Eje para Descarga	SAE 4340	1	Ver plano MMP-ADO-ID-06-84
7.1	Golillón Simple	ASTM A-36	1	Ver plano MMP-ADO-ID-06-85
7.2	Golillón para 3 pernos	ASTM A-36	1	Ver plano MMP-ADO-ID-06-85
7.3	Perno 3/8" UNC x 1" Gr.5	Comercial	3	
7.4	Perno 1/2" UNC x 1" Gr.8	Comercial	1	Ver plano MMP-ADO-ID-06-86
8	Soporte Rodamientos	SAE 1045	1	
8.1	Perno Parker 1/2" UNC x 2"	Comercial	12	
9	Tapa Soporte Eje	SAE 1045	1	Ver plano MMP-ADO-ID-06-87
9.1	Perno Parker 3/8" UNC x 1. 1/2"	Comercial	6	
10	Sproket №4	Comercial	1	Ver plano MMP-ADO-ID-06-88
11	Flange Inferior Silo	AISI 316L	1	Ver plano MMP-ADO-ID-06-89
11.1	Perno 5/8" UNC x 3. 1/2" Gr.8	Comercial	20	
12	Reten 68x90x10 HMSSV	Comercial	1	
13	Tuerca de Fijación KM15x2	Comercial	1	
13.1	Arandela de Retención MB15	Comercial	1	
14	Rodamiento Cónico 32016X	Comercial	1	
15	Rodamiento Cónico 32018X	Comercial	1	
16	Reten 100x120x10 HMSSV	Comercial	1	

RECIMAT
RECYCLAGE INDUSTRIAL



Innovatrec - INC. Ltda.
Paseo 56 No. 78A-5200
www.innovatrec.com

PROYECTO:
MANEJO DE MATERIALES PLOMADOS

DESCRIPCIÓN: Área de acopio y dosificación

Silo Pasta de Batierío

Conjunto Motorización de Descarga

ESCALA: 1:10

CÓDIGO PROJ: MMP-ADO-ID-06

LAMINA: 81

PROYECTO: P.E.

FECHA: 28/09/2015

REV. 0

DIBUJO: M.P.

FECHA: 01/10/2015

REVISION: B

REVISO: L.N.

FECHA: 01/10/2015

FECHA: 01/10/2015

APROBO: R.M.

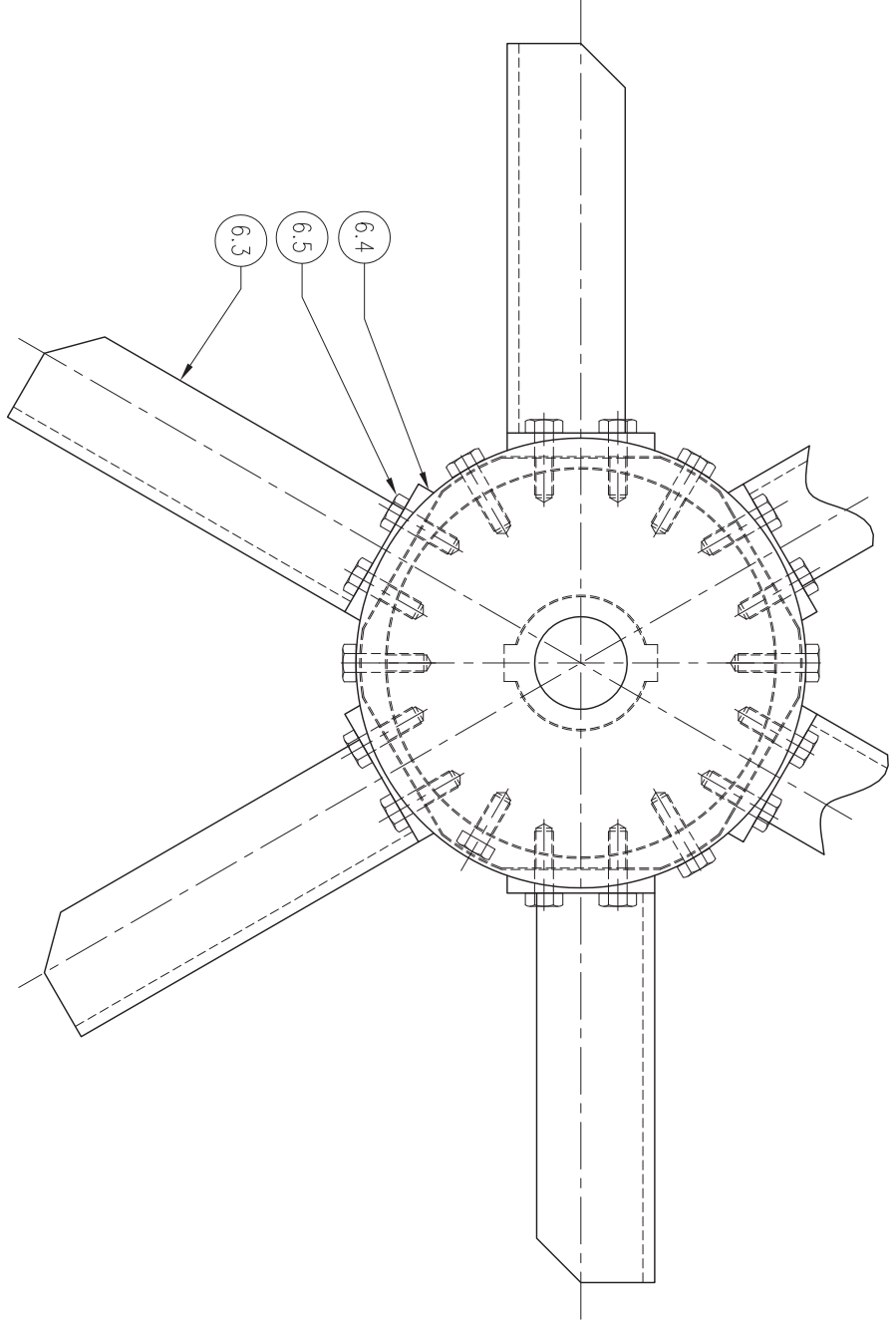
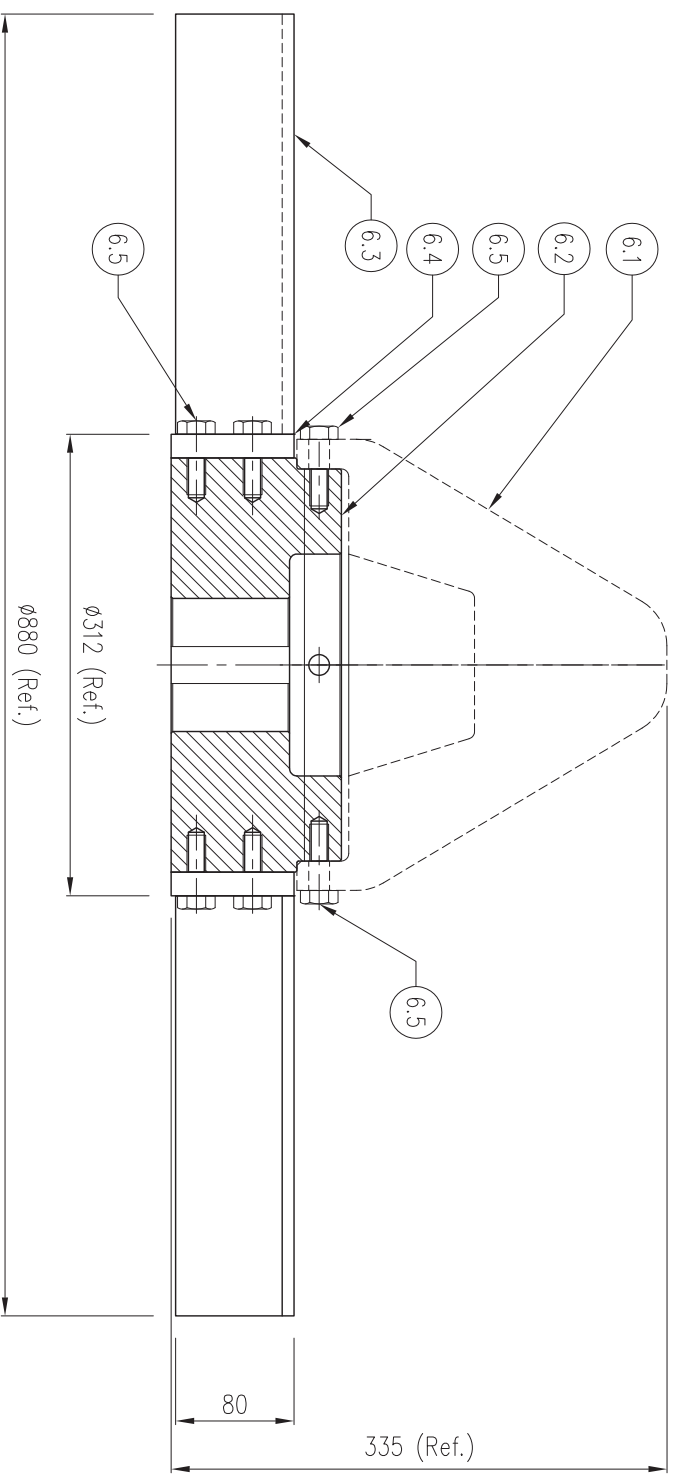
FORMATO: A3

FECHA: 01/10/2015

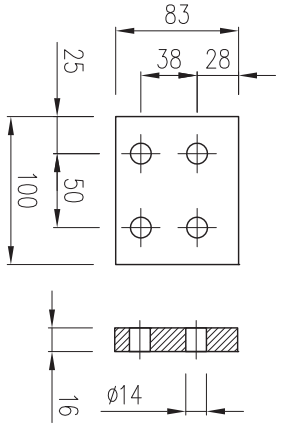
REFERENCIA	REVISION	FECHA	EMITIDO PARA FABRICACIÓN	EMITIDO PARA REVISIÓN	DESCRIPCIÓN
MMP-ADO-ID-06	0	01/10/2015			
MMP-ADO-ID-06	B	01/10/2015			
CÓDIGO PROYECTO	REVISION	FECHA			
1	2				

PROYECTO	NOMBRE	FIRMA	FECHA	ESCALA	CÓDIGO PROJ	LAMINA
PROYECTO	P.E.		28/09/2015	1:10	MMP-ADO-ID-06	81
DIBUJO	M.P.		01/10/2015			
REVISO	L.N.		01/10/2015			
APROBO	R.M.					

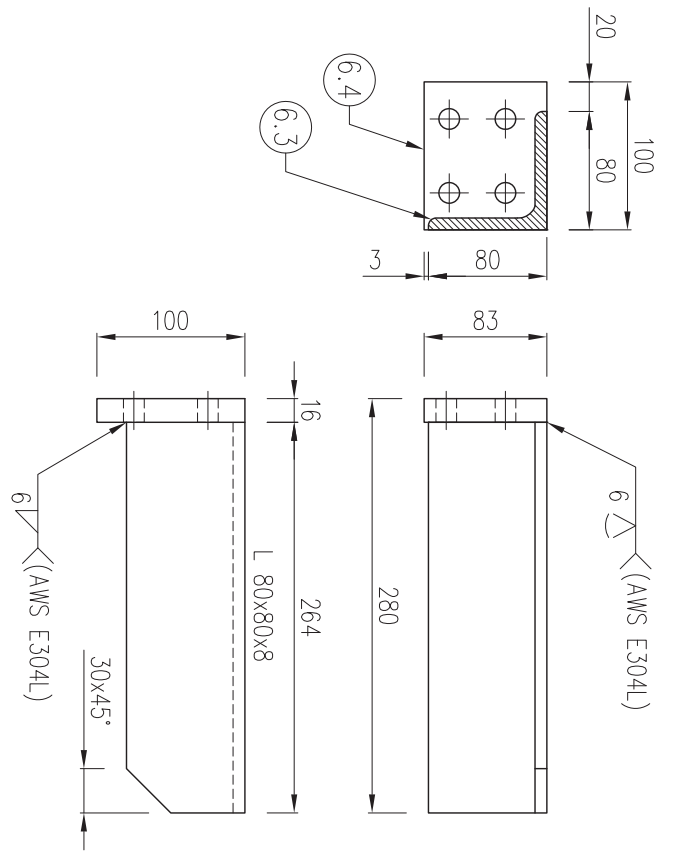
1	2	3	4	5	6	7	8
A	B	C	D	E	F		



6 Detalle Conjunto Aspas Distribuidor
Esc.: 1:5



6.4 Detalle Pl fijación Aspas
Material: AISI 316L
Cantidad: 06 Unidades
Esc.: 1:5



6.3 Detalle Aspas de Distribución
L Laminado 80x80x8 mm
Material: AISI 316L
Cantidad: 06 Unidades
Esc.: 1:5

PLANO EMITIDO
PARA FABRICACIÓN

ITEM	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	CANTIDAD	OBSERVACIONES
6	Conjunto Aspas de Distribución			
6.1	Cono de Distribución		1	Ver plano MMP-ADO-ID-06-90
6.2	Masa de Fijación Aspas y cono	SAE 1045	1	Ver plano MMP-ADO-ID-06-83
6.3	Aspas de Distribución	AISI 316L	6	
6.4	Pl de Fijación Aspas	AISI 316L	6	
6.5	Perno 1/2" UNC x 1. 1/2" Gr.8	Comercial	30	

RECIMAT
RECYCLAGE INDUSTRIAL

Innovatec INCLUIDA
Procedimiento 51 Sigs
Fono: 5615 784.5200
www.innovatec.cl

PROYECTO: MANEJO DE MATERIALES PLOMADOS

DESCRIPCIÓN: Área de acopio y dosificación
Silo Posta de Botería

PROYECTO: P.E. NOMBRE: FIRMA: FECHA: 28/09/2015

DIBUJO: M.P. ESCALA: Indicados

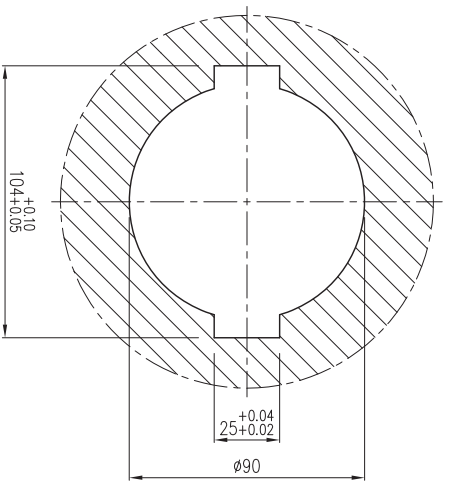
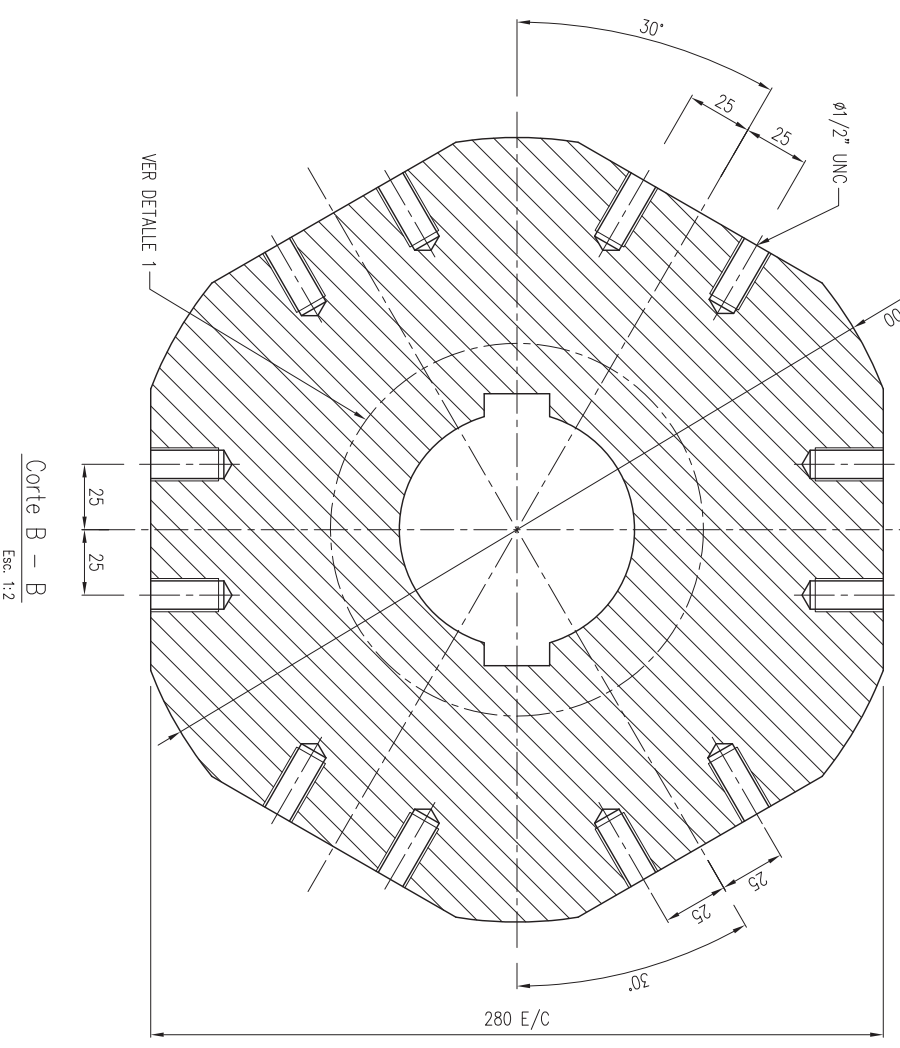
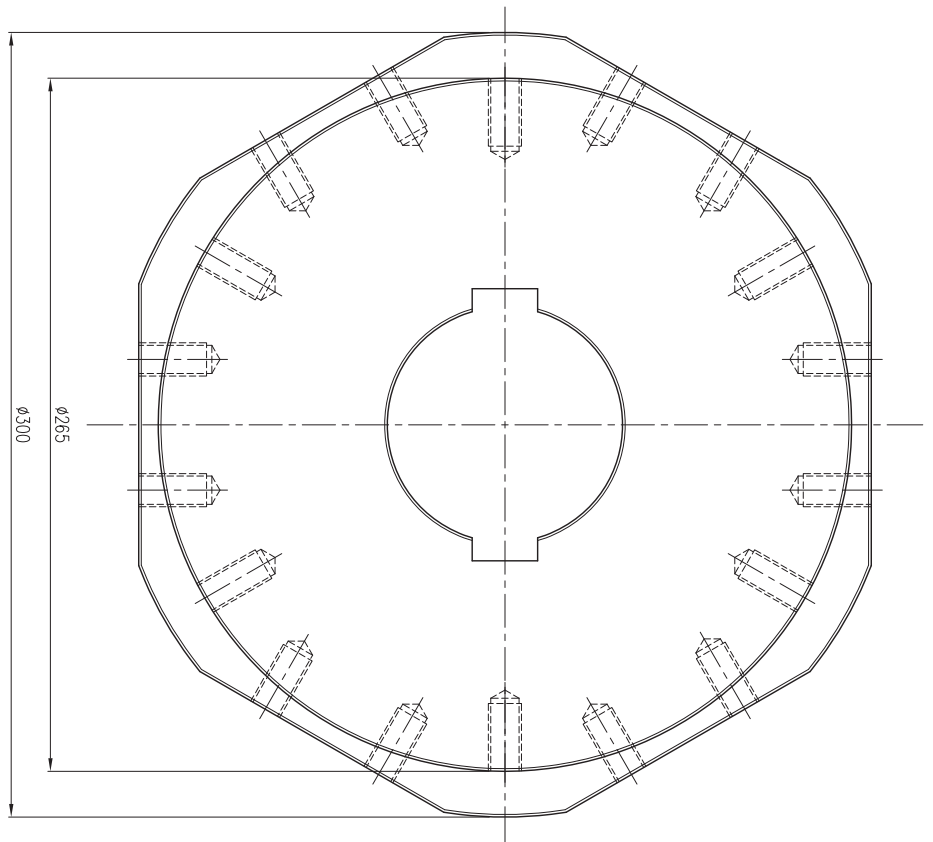
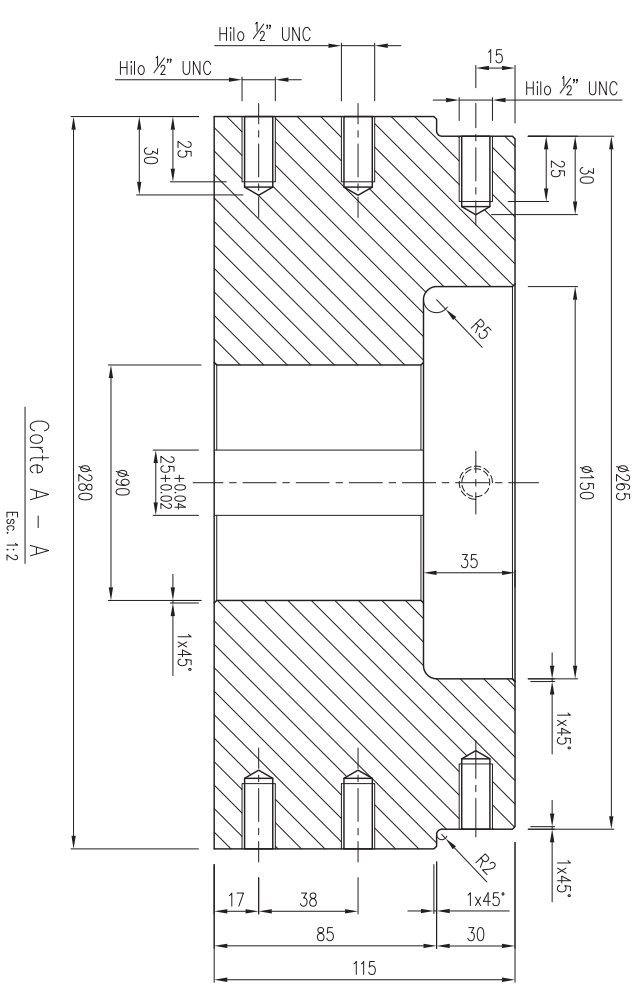
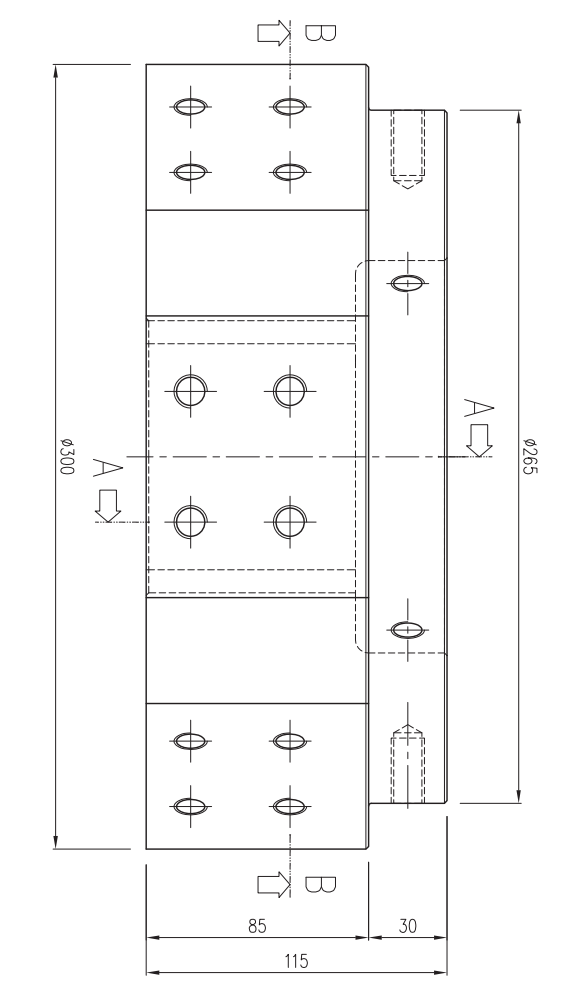
REVISO: L.N. CÓDIGO PROJ.: MMP-ADO-ID-06

APROBO: R.M. FORMATO: A3

LAMINA: 82

REFERENCIA	REVISION	FECHA	DESCRIPCION
MMP-ADO-ID-06	0	01/10/2015	EMITIDO PARA FABRICACIÓN
MMP-ADO-ID-06	B	01/10/2015	EMITIDO PARA REVISIÓN
CÓDIGO PROYECTO	REVISION	FECHA	DESCRIPCION
1	2		

PROYECTO	NOMBRE	FIRMA	FECHA	DESCRIPCION	PLANO N°	REV.
PROYECTO	P.E.		28/09/2015	Indicados	MMP-ADO-ID-06	82
DIBUJO	M.P.		01/10/2015			
REVISO	L.N.		01/10/2015			
APROBO	R.M.				MMP-ADO-ID-06-82	

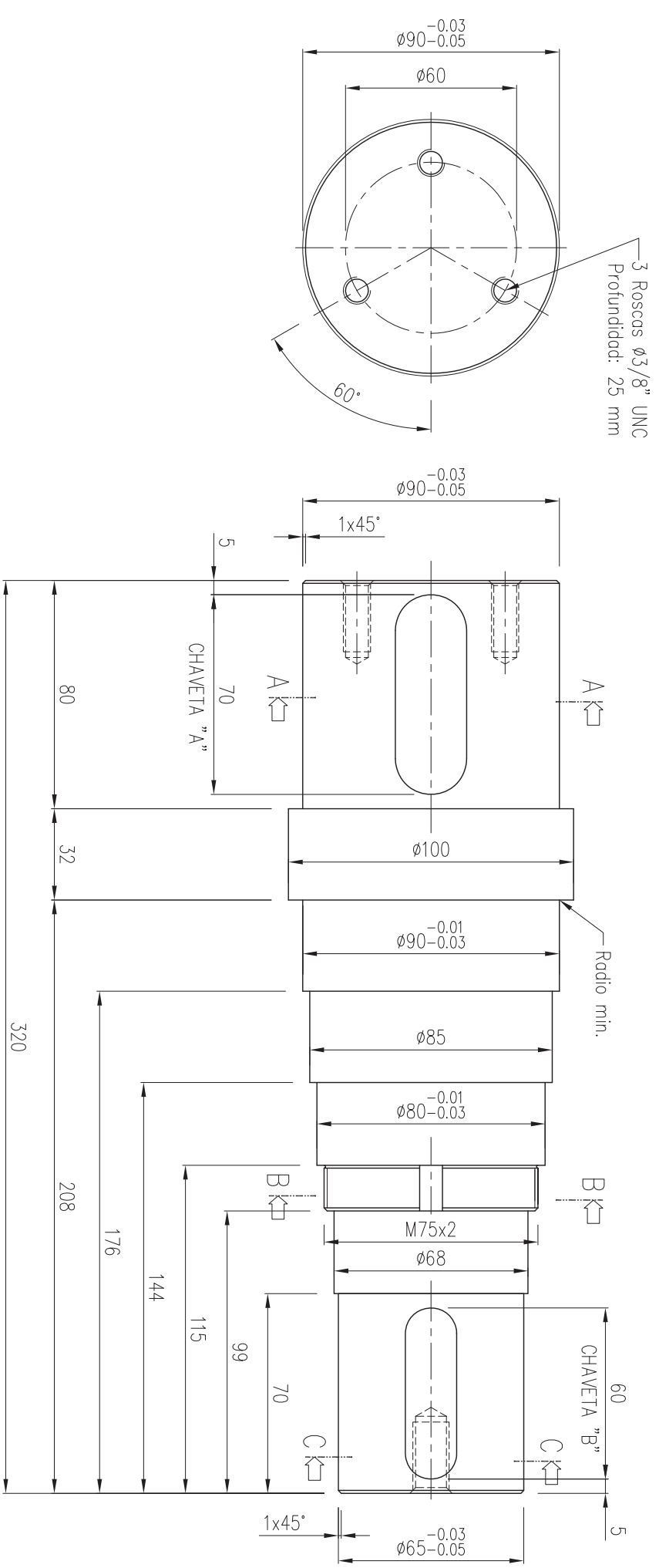


6.2 Detalle Masa Fijación Aspas y Cono
 Material: SAE 1045
 Cantidad: 01 unidad
 Esc: 1:2

PLANO EN REVISIÓN
 NO APTO PARA FABRICACIÓN

REFERENCIA	REVISION	FECHA	DESCRIPCION
MMP-ADO-ID-06	0	01/10/2015	EMITIDO PARA FABRICACION
MMP-ADO-ID-06	B	01/10/2015	EMITIDO PARA REVISION

PROYECTO:	DESCRIPCION	NOBRE	FRMA	FECHA	ESCALA:	PLANO N°	LAMINA:
MANEJO DE MATERIALES PLOMADOS	Area de acopio y dosificación Silo Pasta de Boterita	Innovattec RECICLABLE INDUSTRIAL		28/09/2015	Indicados	MMP-ADO-ID-06	83
				01/10/2015		MMP-ADO-ID-06-83	

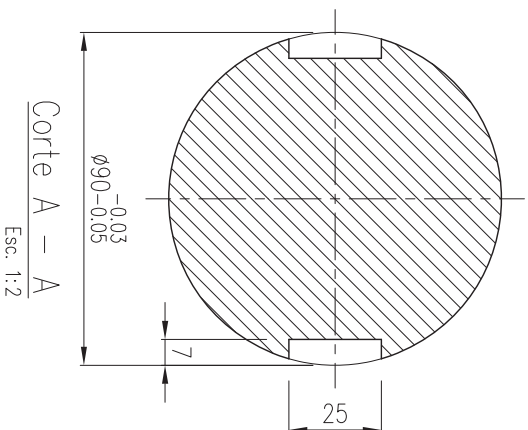


3 Roscas $\frac{3}{8}$ " UNC
Profundidad: 25 mm

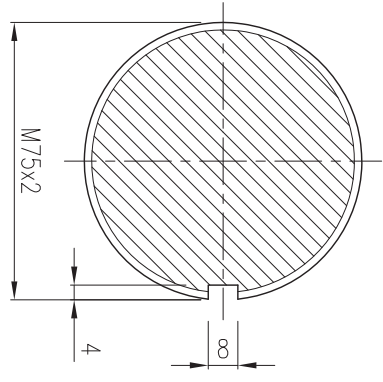
Radio min.

CHAVETA "B"

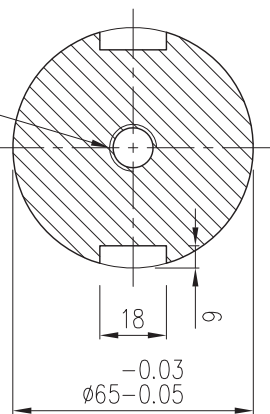
7 Detalle Eje para Descarga
Material: SAE 4340 ($\phi 100 \times 320$) Esc. 1:2
Cantidad: 01 unidad



Corte A - A
Esc. 1:2

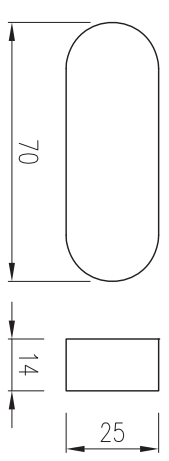


Corte B - B
Esc. 1:2

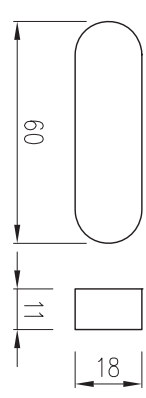


Corte C - C
Esc. 1:2

PLANO EMITIDO
PARA FABRICACIÓN



Detalle Chaveta "A"
Material: SAE 1020 Esc. 1:2
Cantidad: 02 unidades



Detalle Chaveta "B"
Material: SAE 1020 Esc. 1:2
Cantidad: 02 unidades

RECIMAT
RECICLAJE INDUSTRIAL



Innovatec-INTEC Ltda.
Paseo Los Andes 1784, 51.º Piso
Fono: 56 22 784.5220
www.innovatec.cl

PROYECTO:
MANEJO DE MATERIALES PLOMADOS

DESCRIPCION
Area de acopio y dosificación

Siio Posta de Boteria

Detalle Eje para Descarga

CODIGO PROY: MMP-ADO-ID-06

PLANNO N°

MMP-ADO-ID-06-84

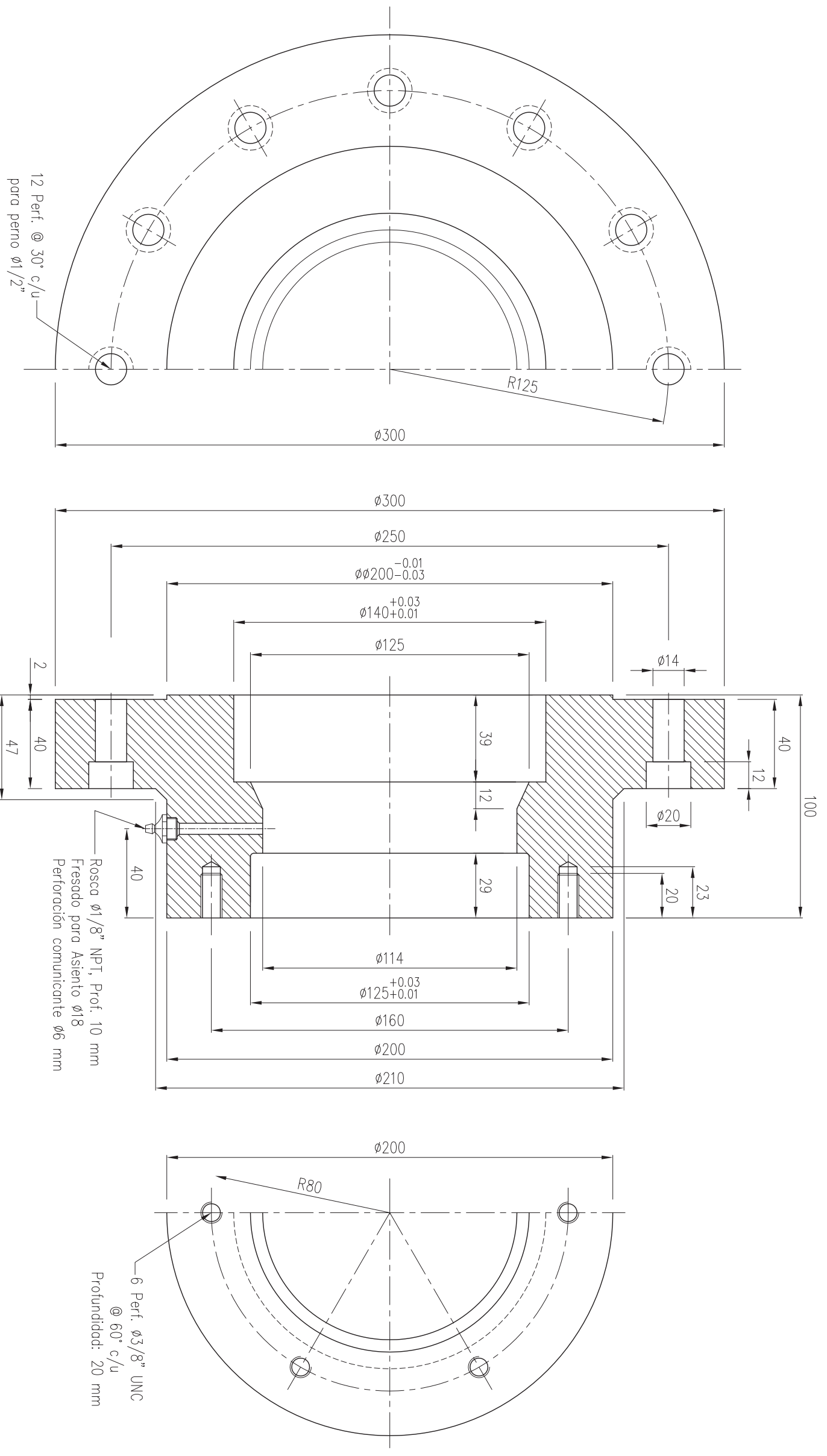
LAMINA:
84

REV.
0

REFERENCIA	REVISION	FECHA	DESCRIPCION
MMP-ADO-ID-06	0	01/10/2015	EMITIDO PARA FABRICACIÓN
MMP-ADO-ID-06	B	01/10/2015	EMITIDO PARA REVISIÓN
CODIGO PROYECTO			

NOMBRE	FIRMA	FECHA	PROYECTO	APROBO
P.E.		28/09/2015	PROYECTO	
M.P.		01/10/2015	DIBUJO	
L.N.		01/10/2015	REVISO	
R.M.			APROBO	

FORMATO:	FORMA:	REV.
A3		0



8 Detalle Soporte Rodamientos
 Material: SAE 1045 (Ø300x100)
 Cantidad: 01 unidad
 Esc. 1:2

PLANO EMITIDO
 PARA FABRICACIÓN

RECIMAT
 RECICLAJE INDUSTRIAL

Innovatec INCLUIDA
 Paseo de la S.A. 51 Sgo.
 Fono: 561 784.5200
 www.innovatec.cl

PROYECTO: MANEJO DE MATERIALES PLOMADOS

DESCRIPCIÓN: Área de acopio y dosificación
 Silo Pasta de Batéria

ESCALA: Indicados

PROYECTO: M.P. 28/09/2015

DIBUJO: M.P. 01/10/2015

REVISO: L.N. 01/10/2015

APROBO: R.M.

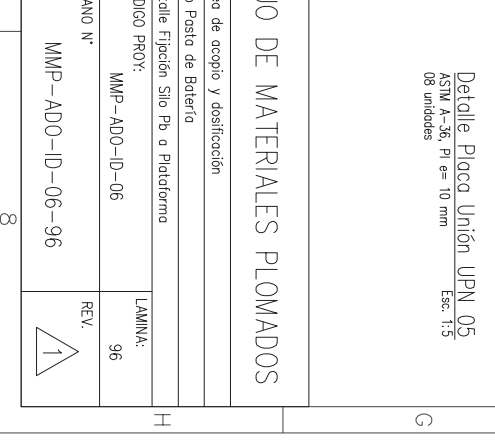
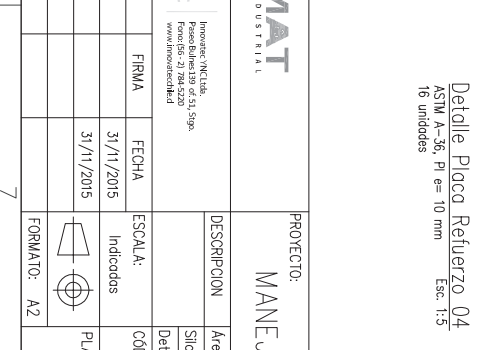
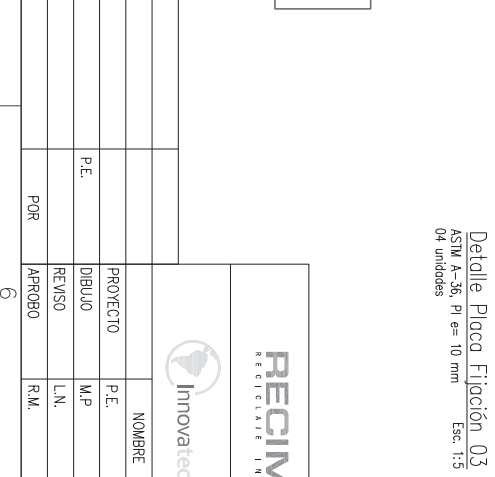
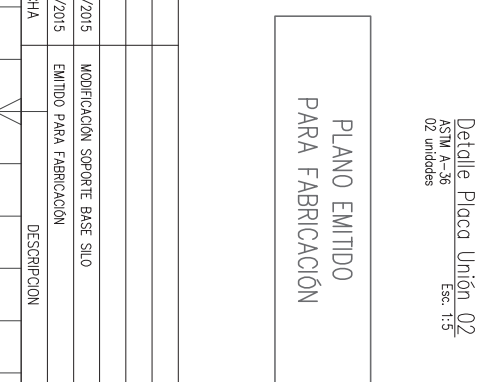
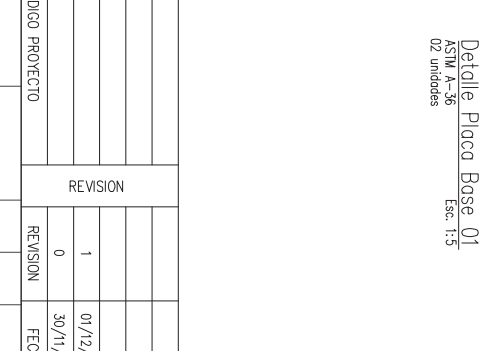
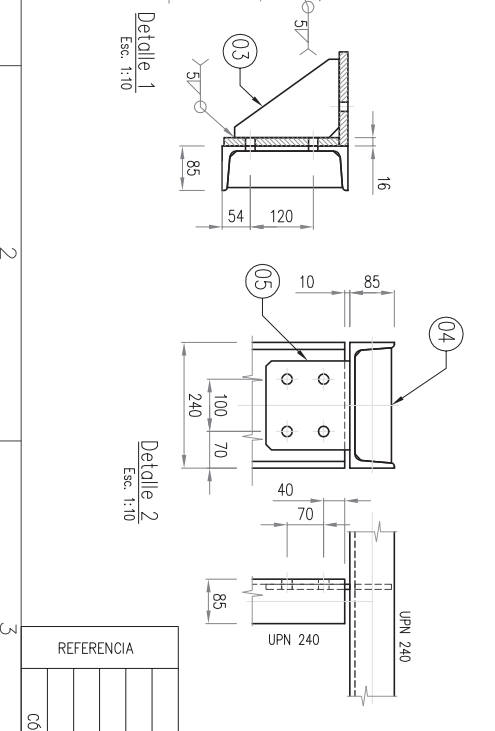
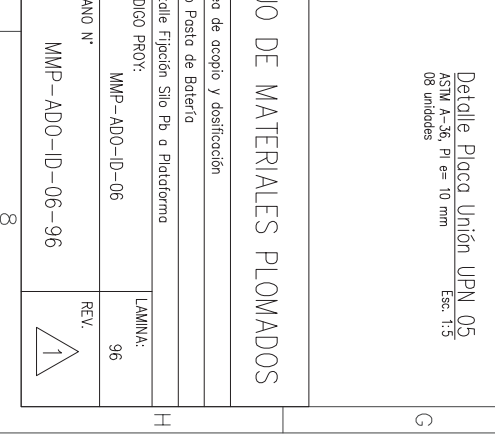
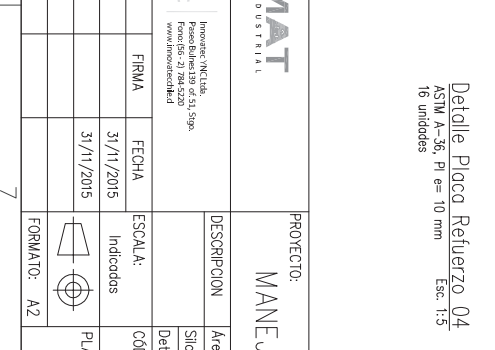
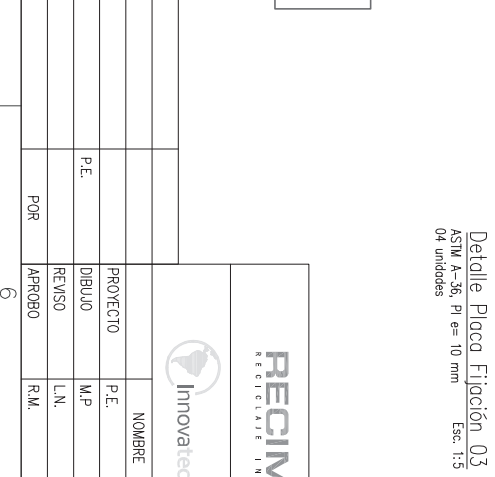
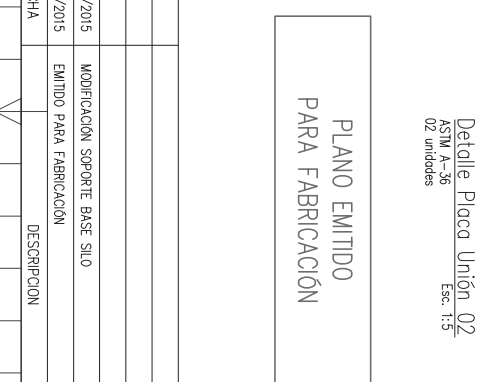
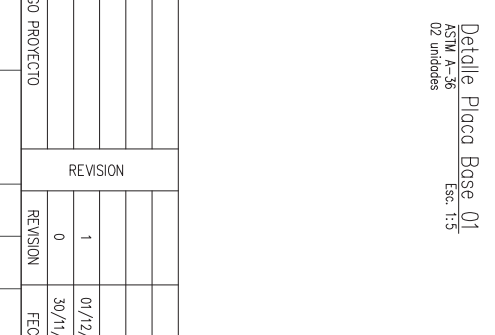
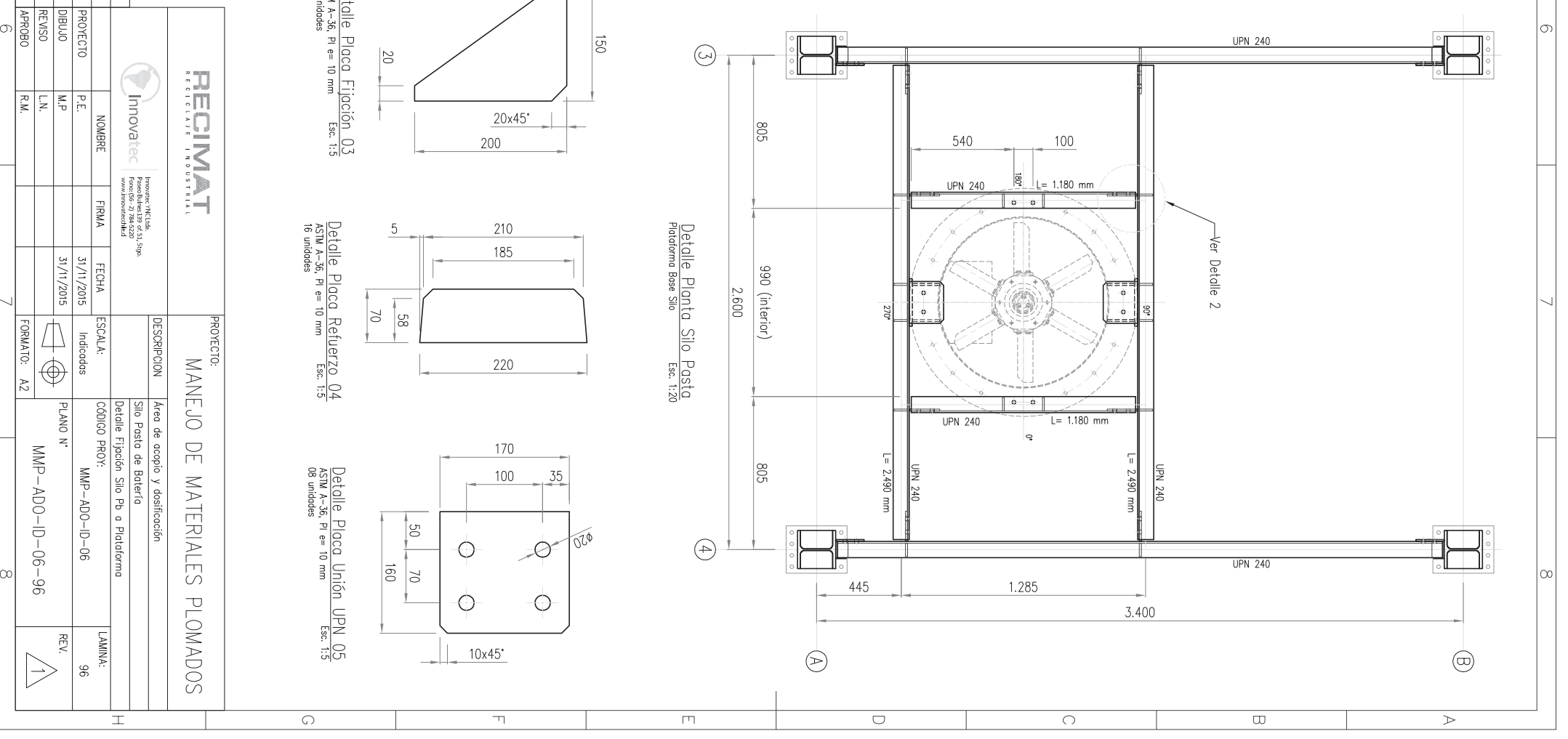
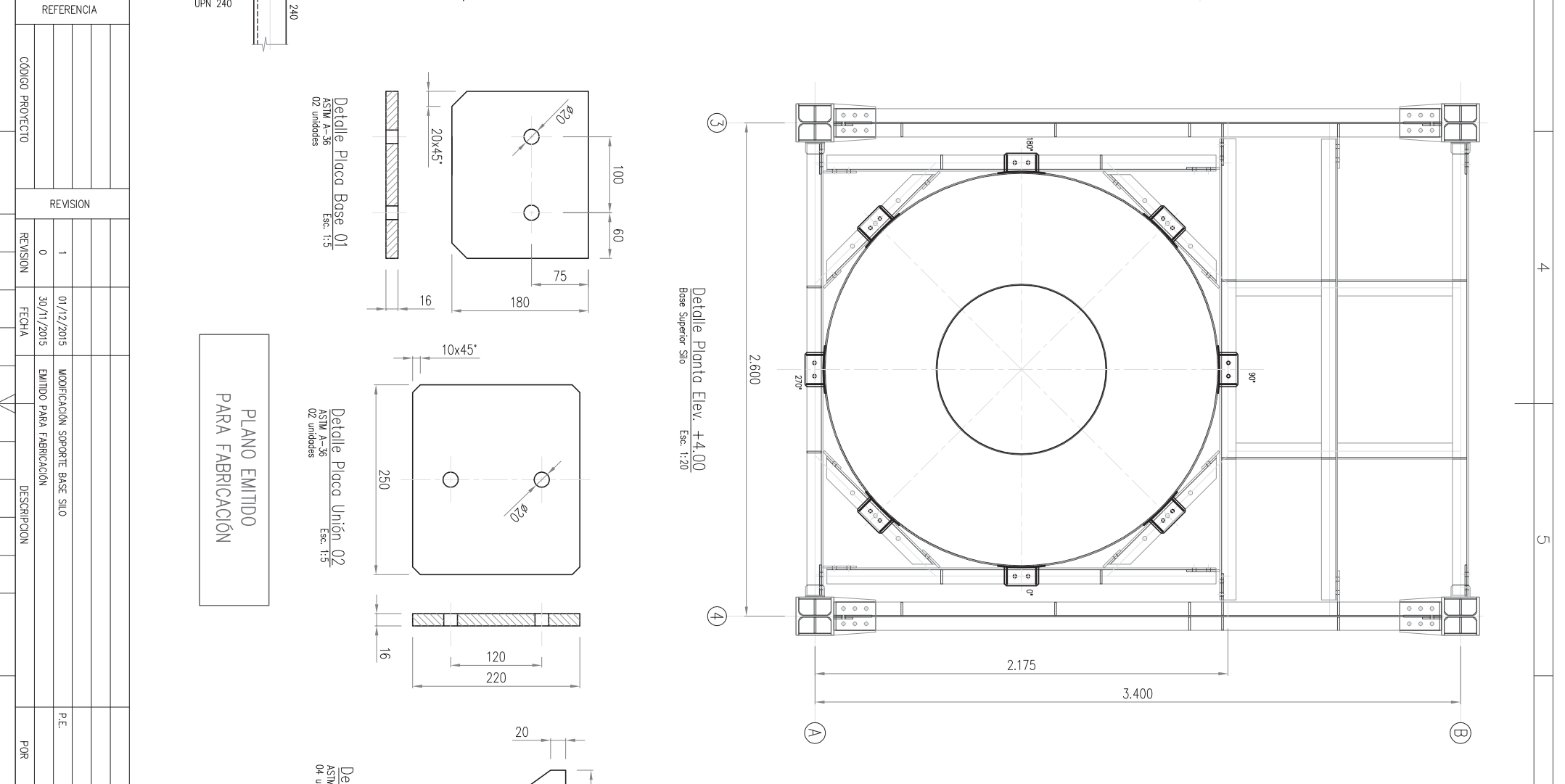
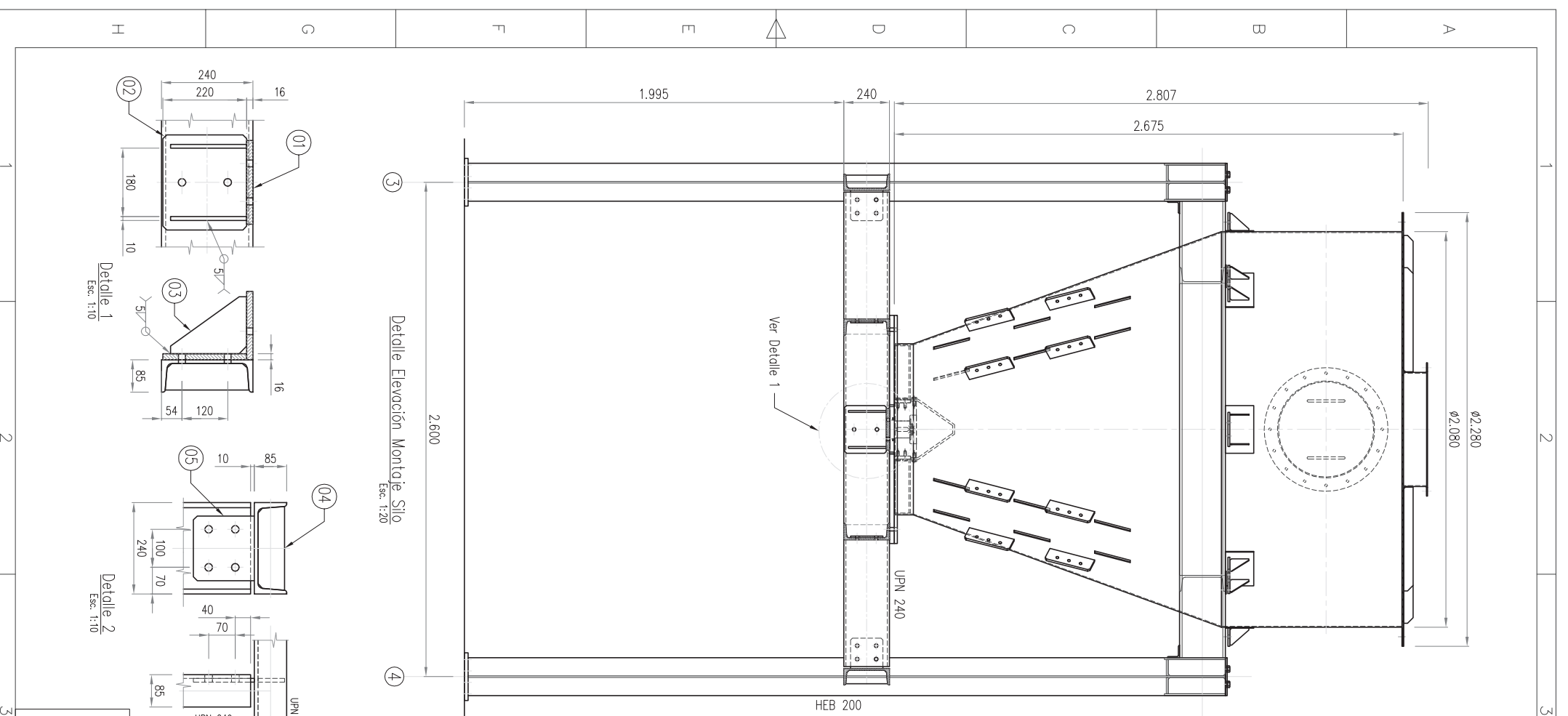
DESCRIPCIÓN: Detalle Soporte Rodamientos

CÓDIGO PROY.: MMP-ADO-ID-06

PLANO N°: MMP-ADO-ID-06-86

LAMINA: 86

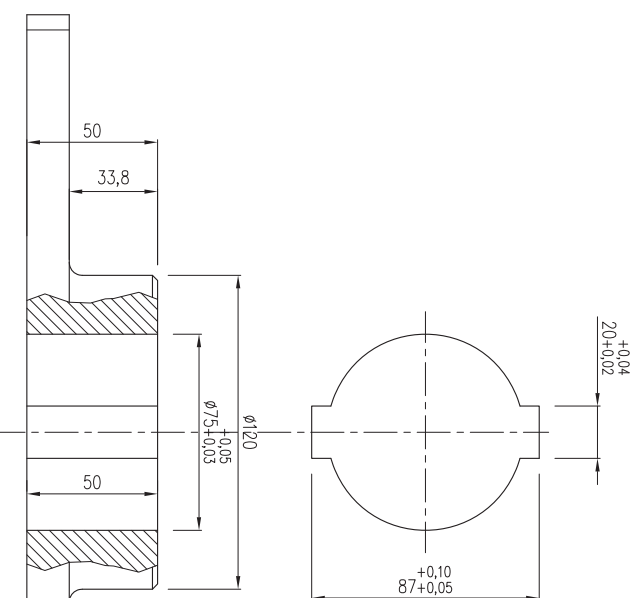
REFERENCIA	REVISION	FECHA	DESCRIPCION	M.P.	APROBO
MMP-ADO-ID-06	0	01/10/2015	EMITIDO PARA FABRICACIÓN	M.P.	APROBO
MMP-ADO-ID-06	B	01/10/2015	EMITIDO PARA REVISIÓN	L.N.	R.M.
CÓDIGO PROYECTO	REVISION	FECHA	DESCRIPCION	M.P.	APROBO
1	2				



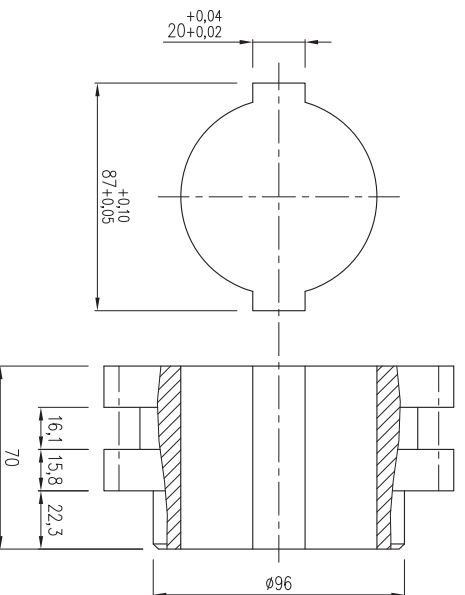
REFERENCIA	REVISION	FECHA	DESCRIPCION
	1	01/12/2015	MODIFICACION SOPORTE BASE SILLO
	0	30/11/2015	EMITIDO PARA FABRICACION

PLANO EMITIDO
PARA FABRICACION

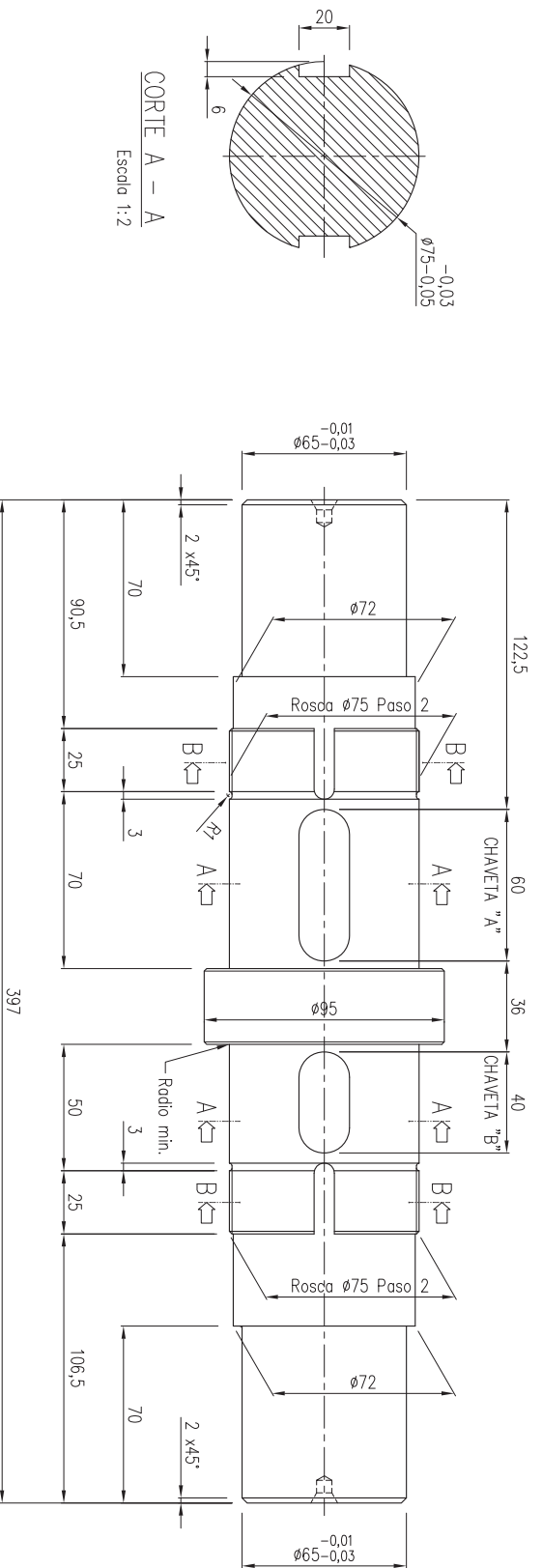
PROYECTO:		DESCRIPCION	
MANEJO DE MATERIALES PLOMADOS		Silo Pasta de Berberia	
Innovatec REGICMAT REGISTRAR INDUSTRIAL		Detalle Fijación Silo Pb a Plataforma	
PROYECTO	INNOVATEC	PROYECTO	INNOVATEC
DIBUJO	M.P.	DIBUJO	M.P.
REVISO	L.N.	REVISO	L.N.
APROBADO	R.M.	APROBADO	R.M.
FECHA	31/11/2015	FECHA	31/11/2015
FORMA:	Indicados	FORMA:	Indicados
PLANO N°	MMP-ADO-ID-06	PLANO N°	MMP-ADO-ID-06
REV.	96	REV.	96



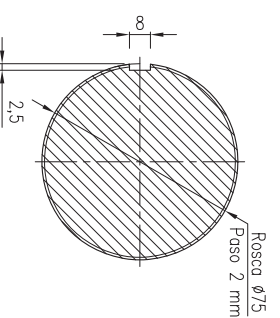
Detalle Interior Sprocket N° 2
 Cantidad: 01 un.
 Material: Comercial
 Sprocket Simple Dp 307,59 - P=1"
 Escala 1:2



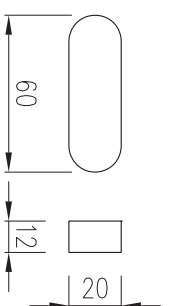
Detalle Interior Sprocket N° 3
 Cantidad: 01 un.
 Material: Comercial
 Sprocket Doble Dp 122,17 - P=1"
 Escala 1:2



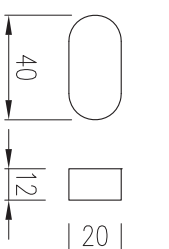
Detalle Eje Transmisión Intermedia
 Cantidad: 01 un.
 Material: SAE 4340 (995x400)
 Escala 1:2



CORTE A - A
 Escala 1:2



Detalle Chaveta "A"
 Cantidad: 2 un.
 Material: SAE 1020
 Escala 1:2



Detalle Chaveta "B"
 Cantidad: 2 un.
 Material: SAE 1020
 Escala 1:2

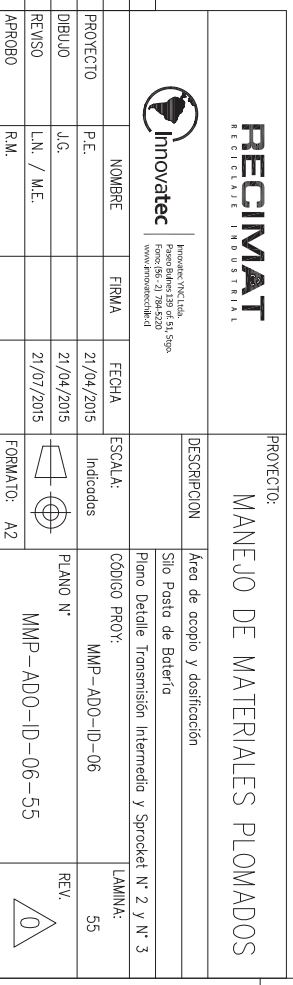
PLANO EMITIDO PARA FABRICACIÓN

REFERENCIA	CÓDIGO PROYECTO	REVISION	REVISION	FECHA	DESCRIPCION
		0	0	21/07/2015	EMITIDO PARA FABRICACION
		C	C	21/04/2015	PARA REVISION

PROYECTO:	DESCRIPCION	AREA de acopio y dosificación
MANEJO DE MATERIALES PLOMADOS	Silo Pasta de Botería	
PROYECTO:	NOBRE	FRMA
DIBUJO	J.G.	J.G.
REVISO	L.N. / M.E.	J.G.
APROBO	R.M.	PQR
FECHA	21/07/2015	21/04/2015
FORMATO:	A2	
PLANO N°	MMP-ADO-ID-06	PLANO N°
REV.	55	REV.

RECIMAT
 RECREAL INDUSTRIAL

Innovatec
 Innovatec S.A.
 Poma Blanca 39 de 51 Sigs
 Poma Blanca 21 de 51 Sigs
 Poma Blanca 21 de 51 Sigs



Transmisión Intermedia
 Escala S/E