UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA

VALPARAÍSO-CHILE

LLENADO DE CONTENEDORES ISO CON ASTILLAS DE MADERA PARA EXPORTACIÓN MEDIANTE UN SISTEMA NEUMÁTICO

DIEGO ÍTALO ALVARADO TAPIA

MEMORIA DE TITULACIÓN PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL MECÁNICO

PROFESOR GUÍA: FRANCISCO CABREJOS MARÍN, Ph.D.

PROFESOR CORREFERENTE: GUILLERMO GONZÁLEZ B., Mg.-Ing.

MAYO 2018

AGRADECIMIENTOS

Comenzar agradeciendo a mis padres por entregarme las herramientas, el apoyo y el amor para cumplir todas mis metas. Este trabajo se lo dedico a ellos y representa el fruto de todos sus esfuerzos durante veinticinco años.

Agradecer a mis abuelos, quienes con su cariño incondicional fueron pilares fundamentales durante mis años en la Universidad. Muchas gracias por todo y espero tenerlos conmigo mucho tiempo más.

No puedo no mencionar a mis amigos de siempre, mi familia iquiqueña, quienes han estado conmigo en toda esta etapa. Sin ustedes todo habría sido mucho más difícil, muchas gracias por todo.

Agradezco a mis amigos que conocí en la Universidad con los que compartí grandes momentos. Las experiencias personales que pasamos juntos son lo más valioso que me llevo de este lugar.

Finalmente, agradecer a los funcionarios y académicos del Departamento de Mecánica de la UTFSM cuya disposición para apoyar a los alumnos es destacable. Agradecer especialmente a Francisco Cabrejos, profesor guía, por su disponibilidad y buena voluntad durante el desarrollo de este trabajo permitiendo que se concretara.

RESUMEN

Este trabajo se realizó con el objetivo de desarrollar una solución que permita llenar contenedores ISO de 40’ con astillas de madera mediante un sistema de transporte neumático de manera simple y efectiva. La utilización de contenedores ISO para el transporte y exportación de astillas representa una alternativa que incentive el ingreso de pequeños productores y la realización de transacciones en cantidades menores en un mercado relevante para la economía nacional.

Para estudiar el fenómeno de lanzamiento de partículas al interior del contenedor se diseñó e implemento un sistema a escala en las dependencias del Centro de Investigación para el Transporte de Materiales (CITRAM) del Departamento de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica Federico Santa María. Las cañerías, silo y la pared lateral del contenedor son de acrílico transparente lo que permite observar el comportamiento en el interior durante el funcionamiento.

Los ensayos realizados consisten en llenar el contenedor a través de una cañería instalada en la puerta variando su velocidad, ángulo y altura respecto a la base. A cada configuración utilizada se le registra el porcentaje de llenado alcanzado y la trayectoria descrita. Para estos ensayos se utilizó como material grits de maíz al ser uniforme y de fácil manipulación. Además, fue necesario caracterizar una muestra de astillas facilitadas por un productor nacional.

Desde los datos obtenidos se seleccionó la configuración que entregó mejores resultados y se determinó su configuración equivalente para ser utilizada en una solución a escala real. Utilizando esta equivalencia y la caracterización del material se diseñó un sistema neumático móvil capaz de llenar contenedores ISO con 15 [tons] de astillas de hasta 1” en una hora. Las características de este fueron contrastadas con alternativas disponibles en el mercado y se realizó un presupuesto en función de los costos directos.

ABSTRACT

This work was carried out with the objective of developing a solution that allows to fill a 40' ISO container with wood chips using a pneumatic transport system in a simple and effective way. The use of ISO containers for transportation and export of wood chips represents an alternative that encourages the entry of small-scale producers and carry out small-scale transactions in a relevant market to our national economy.

To study the particles transport phenomenon inside of the container, a pneumatic system at scale was designed and implemented in the Centro de Investigación para el Transporte de Materiales (CITRAM) facilities, dependent of the Mechanical Engineering Department of the Universidad Técnica Federico Santa María. Pipes, silo and the side wall of the container are made of transparent acrylic that allow to observe the behavior in the interior during operation.

The tests carried out consist of filling the container through a pipe installed in the door modifying its speed, angle and height with respect to the base. For each configuration used, the filling percentage reached and the trajectory described are recorded. For these tests, corn grits were used as material because it is uniform and easy to handle. In addition, it was necessary to characterize a sample of wood chips provided by a national producer.

From the data obtained, the configuration that gave the best results was selected and its equivalent configuration was determined to be used in a real scale solution. Using this equivalence and the characterization of the material, a mobile pneumatic system was designed capable of filling ISO containers with 15 [tons] of wood chips up to 1" in one hour. The characteristics of this system were contrasted with alternatives available in the market and a budget was made based on direct costs.

GLOSARIO

C	Coeficiente de llenado
CH	Contenido de humedad [-]
D	Diámetro interior de manguera [m]
d_{50}	Diámetro medio de partícula [mm]
$d_{máx}$	Diámetro máximo de partícula [mm]
d_p	Diámetro de partícula [mm]
g	Aceleración de gravedad [m/s^2]
h	Altura relativa de lanzamiento [cm]
K_{placa}	Constante de calibración placa orificio [-]
ΔP	Caída de presión del sistema [”H_2O]
ΔP_{placa}	Caída de presión medida en placa orificio [”H_2O]
t	Tiempo [s]
$U_{crít}$	Velocidad critica para partículas en reposo [m/s]
U_g	Velocidad de transporte [m/s]
$U_{g,mín}$	Velocidad mínima de transporte [m/s]
V_0	Velocidad de lanzamiento [m/s]
$V_{teórica}$	Velocidad teórica según ecuación lanzamiento de proyectil [m/s]
V_X	Velocidad en el eje horizontal [m]
V_Y	Velocidad en el eje vertical [m]
W_g	Flujo másico de gas [kg/s]
W_s	Flujo másico de sólidos [kg/s]
X	Posición en el eje horizontal [m]
X_0	Posición inicial en el eje horizontal [m]
Y	Posición en el eje vertical [m]
Y_0	Posición inicial en el eje vertical [m]
γ	Densidad aparente [kg/m^3]
Θ	Ángulo de lanzamiento [°]
μ	Relación de carga [-]
ρ_g	Densidad del gas [kg/m^3]
ρ_p	Densidad de partícula [kg/m^3]
ψ	Coeficiente de esfericidad [-]

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS ..... **ii**

RESUMEN ..... **iii**

ABSTRACT ..... **iv**

GLOSARIO ..... **v**

ÍNDICE ..... **vi**

ÍNDICE DE FIGURAS ..... **viii**

ÍNDICE DE TABLAS ..... **x**

1 INTRODUCCIÓN **1**

2 OBJETIVOS **5**

3 ANTECEDENTES PREVIOS **6**

3.1 TRANSPORTE TERRESTRE 6
3.2 TRANSPORTE MARÍTIMO 6
3.3 FULFILLER® 7
3.4 SILOADMAXX® 7
3.5 PNEUMATIC LOADER® 8
3.6 TURBINAS DE SUCCIÓN 9

4 MARCO TEÓRICO **10**

4.1 MATERIALES SÓLIDOS A GRANEL 10
4.2 SISTEMAS DE TRANSPORTE NEUMÁTICO 13
4.3 LANZAMIENTO DE PROYECTIL 17
4.4 CONTENEDORES ISO 18

5 TRABAJO EXPERIMENTAL **20**

5.1 DISEÑO DEL SISTEMA A ESCALA 21
5.2 CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA 22
5.3 CALIBRACIÓN 28
5.4 METODOLOGÍA DE ENSAYO 30
5.5 CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL 31

6 RESULTADOS 34

6.1 LLENADO ÓPTIMO DE CONTENEDOR 34

6.2 ESCALAMIENTO 39

7 DISEÑO DEL SISTEMA 41

7.1 DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA 43

7.2 COMPONENTES 47

7.3 PRESUPUESTO 52

7.4 VENTAJAS COMPARATIVAS DEL SISTEMA 54

8 CONCLUSIONES 56

9 RECOMENDACIONES 58

10 REFERENCIAS 59

ANEXOS 61

ANEXO A: PLANOS DEL SISTEMA DE LABORATORIO 62

ANEXO B: ESPECIFICACIONES DE EQUIPOS E INSTRUMENTOS 66

ANEXO C: DATOS CALIBRACIÓN PLACA ORIFICIO 68

ANEXO D: RESULTADOS DE ENSAYOS DE LLENADO 69

ANEXO E: TABLAS DE RESULTADOS 75

ANEXO F: HOJAS DE CÁLCULO PARA DISEÑO DE SISTEMA 78

ANEXO G: COTIZACIONES 82

ANEXO H: PLANOS DEL SISTEMA DISEÑADO 98

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1: Proceso de generación de astillas en terreno [1]. 1
Figura 1-2: Precio nominal de astillas en mercado mundial período 2001-2014 [2]. 2
Figura 1-3: Proceso de carga buque granelero en Puerto Coronel [7]. 3
Figura 1-4: Proceso de carga de contenedores ISO [8]. 4
Figura 3-1: Sistema FulFiller® y principio de operación [12]. 7
Figura 3-2: Disposiciones del sistema SiloadmaxX® [13]. 8
Figura 3-3: Sistema Pneumatic Loader® para llenado de contenedores [14]. 8
Figura 3-4: Turbinas de succión Kongskilde [15]. 9
Figura 3-5: Sistemas para el llenado de granos distribuidos en Alibaba [16]. 9
Figura 4-1: Modelo ideal para lanzamiento de proyectil [25]. 17
Figura 4-2: Contenedores ISO tipo "SD" 40' [28]. 19
Figura 5-1: Ejemplo de trayectoria de partículas sopladas al interior de un contenedor. 20
Figura 5-2: Esquema del sistema neumático a construir. 21
Figura 5-3: Diseño de contenedor a escala (dimensiones en mm). 22
Figura 5-4: Soplador utilizado con placa orificio conectada. 23
Figura 5-5: Silo de alimentación con línea de alimentación de aire instalada. 24
Figura 5-6: Unión tolva – "T" de alimentación y válvula de guillotina. 25
Figura 5-7: Zona de alimentación de sólidos. 25
Figura 5-8: Sistema con inclinación de 10°. 26
Figura 5-9: Modelo de contenedor construido en escala 1:12. 26
Figura 5-10: Vista general del sistema neumático para modelar el llenado de contenedor a escala. 27
Figura 5-11: Curva de calibración placa orificio para sistema de llenado. 29
Figura 5-12: Muestra de astillas de madera y grits de maíz. 31
Figura 5-13: Granulometría para astillas de madera y grits de maíz. 33
Figura 6-1: Llenado en función de la velocidad de lanzamiento, h=190 [mm] e inclinación de 0°. 35
Figura 6-2: Llenado de contenedor, h=190 [mm], V_0=20,0 [m/s] e inclinación de 0°. 35
Figura 6-3: Llenado en función de la velocidad de lanzamiento, h=130 [mm] y a tres inclinaciones ensayadas (V_0=16,3 [m/s] en la representación). 36
Figura 6-4: Llenado de contenedor, h=130 [mm], V_0=20,0 [m/s] e inclinación de 0°. 36

Figura 6-5: Llenado en función de la velocidad de lanzamiento, h=80 [mm] y a tres inclinaciones ensayadas (V_0=16,3 [m/s] en la representación). 37
Figura 6-6: Llenado de contenedor, h=80 [mm], V_0=25,8 [m/s] e inclinación de 0°. 38
Figura 6-7: Trayectoria de partículas para combinación óptima de parámetros ensayados.... 39
Figura 6-8: Llenado de contenedor a escala para la combinación óptima de parámetros ensayados. 39
Figura 6-9: Configuración óptima equivalente en sistema a tamaño real, a partir de los resultados obtenidos. 40
Figura 7-1: Esquema de diseño propuesto. 42
Figura 7-2: Disposición de mangueras y accesorios etapa de presión negativa..... 43
Figura 7-3: Disposición de mangueras y accesorios etapa de presión positiva. 46
Figura 7-4: Vistas principales y 3D del sistema diseñado para el llenado de contenedores. .. 48
Figura 7-5: Diseño de estructura para el sistema. 50
Figura 7-6: Ubicación de “puerta” de contenedor al operar el sistema..... 52

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1: Precio promedio astillas exportadas desde Chile [5]. 2
Tabla 4-1: Clasificación e identificación de contenedores ISO [26]. 18
Tabla 4-2: Dimensiones de contenedores ISO tipo “SD” 40’ [27]. 18
Tabla 5-1: Calibración del flujo de sólidos. 29
Tabla 5-2: Caracterización de los materiales utilizados. 32
Tabla 5-3: Granulometría para astillas de madera y grits de maíz. 32
Tabla 5-4: Resultados medición de astillas de madera. 33
Tabla 7-1: Características necesarias en el sistema neumático a diseñar. 42
Tabla 7-2: Cálculos iterativos en etapa de presión negativa para un diámetro de 0,168 [m].. 44
Tabla 7-3: Resumen de parámetros sistema de presión negativa. 44
Tabla 7-4: Parámetros de entrada para diseño de ciclón. 45
Tabla 7-5: Dimensiones geométricas de ciclón diseñado [30]. 45
Tabla 7-6: Cálculos iterativos en etapa de presión positiva para un diámetro de 0,15 [m]. ... 47
Tabla 7-7: Resumen de parámetros sistema de presión positiva. 47
Tabla 7-8: Presupuesto para la implementación del sistema diseñado. 53
Tabla 7-9: Comparación de sistema propuesto con alternativas del mercado. 55
Tabla C-1: Datos medidos en calibración de placa orificio. 68
Tabla D-1: Resultados de ensayos de llenado 1-5. 70
Tabla D-2: Resultados de ensayos de llenado 2-5. 71
Tabla D-3: Resultados de ensayos de llenado 3-5. 72
Tabla D-4: Resultados de ensayos de llenado 4-5. 73
Tabla D-5: Resultados de ensayos de llenado 5-5. 74
Tabla E-1: Determinación coeficiente de llenado. 75
Tabla E-2: Datos para ajuste de velocidad de lanzamiento. 76
Tabla E-3: Escalamiento de velocidad para contenedor tamaño real. 77

1 INTRODUCCIÓN

Las astillas de madera son trozos de madera de tamaño mediano, usualmente entre 5/8”-1” de largo y 1/8”-3/8” de ancho, producidas mediante un proceso de trituración en que un sistema de cuchillas rotativas corta y despedaza la madera hasta un tamaño específico en los rangos antes especificados. Existen plantas industriales dedicadas a este proceso como también se produce el astillado de productos no utilizados en astilleros utilizando máquinas astilladoras como muestra la Figura 1-1.

Las astillas son la principal materia prima en la industria de la celulosa y la producción de tableros. Como mercado secundario, tienen una participación relevante en la generación de energía eléctrica y calorífica tanto a nivel industrial como domiciliar.

Figura 1-1: Proceso de generación de astillas en terreno [1].

Los últimos datos oficiales de la Organización Mundial de la Salud para la Alimentación y la Agricultura (“FAOSTAT” por su sigla en inglés) del año 2013 muestran que Chile tiene una producción que corresponde al 4,3% del total de astillas producidas a nivel mundial.

Dentro de Chile, la industria de las astillas de madera es la tercera más importante en cuanto a consumo de materia prima. Entre los años 2014-2016 esta actividad aumentó desde 177 a 198 establecimientos en operación, divididos entre centrales de astillado y astilladores integrados. La mayor parte de las operaciones se encuentran en la Región del Biobío (62%) debido a la concentración de plantaciones y la estructura portuaria disponible [2, 3].

La exportación de astillas producidas en Chile comenzó en 1986 y ha tenido un comportamiento creciente a través de los años. Desde un principio el mercado japonés ha sido el principal destino, con una participación en torno a un 90%. En los últimos años, la exportación hacia China ha tenido una explosión, desde el primer acuerdo comercial en el año

2005, llegando en los últimos años a acercarse a Japón en cuanto a total de exportaciones. Estas exportaciones se realizan principalmente a través de los puertos de la zona sur del país, que tienen capacidad para recibir buques de hasta 63.000 [tons] en el caso de Puerto Coronel [4].

En cuanto al precio histórico en el mercado, las astillas tipo no coníferas tuvieron un alza sostenida hasta el año 2008 para estabilizarse sobre los US$150/tons en el período 2008-2014. Por otra parte, las astillas tipo coníferas tuvieron su punto más alto en el año 2008 para posteriormente estabilizarse en torno a las US$90/tons en el mismo período como muestra la Figura 1-2. Desde el 2014 a la fecha, existe una caída en el precio de las astillas en el mercado internacional como muestra el precio promedio de las astillas exportadas del período Enero-Agosto 2017 (ver Tabla 1-1). Entre los factores de esta caída se encuentran una la baja demanda de los mercados y la reducción de precios en países más cercanos a los importadores como Rusia o Canadá.

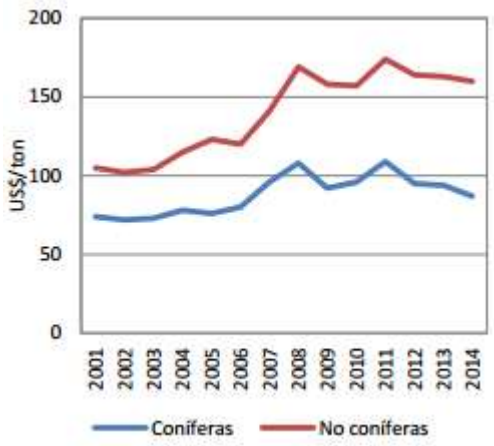


Figura 1-2: Precio nominal de astillas en mercado mundial período 2001-2014 [2].

Tabla 1-1: Precio promedio astillas exportadas desde Chile [5].

Precio promedio [US$/tons]			
Producto	Enero-Julio 2016	Enero-Julio 2017	Variación
Astillas sin corteza globulus	78	73	6,0%
Astillas sin corteza nitens	60	56	5,6%

A futuro en las empresas dedicadas al rubro existe una mirada optimista producto de las señales positivas que se han identificado principalmente en China y Europa. El interés de países europeos, como Inglaterra, en alcanzar un 20% de su matriz energética en base de energías renovables está proyectando a la región como un fuerte importador de biomasa. Este escenario se prevé también en el mercado interno, donde se observa un aumento progresivo en la

utilización de biomasa para la generación de energía, lo cual le entrega un mayor dinamismo a la venta a menor escala dentro del país [6].

Al ser el mercado asiático el principal destino de las astillas producidas en el país, todo el proceso de exportación se hace por vía marítima mediante la utilización de grandes buques graneleros, con capacidad de transportar hasta 50.000 [tons]. El hecho de que el transporte se realice en este tipo de buques limita la cantidad de empresas participantes. Anualmente entre ocho y diez empresas realizan envíos a mercados internacionales.

La opción de utilizar contenedores ISO para la exportación de astillas responde a la búsqueda de una alternativa a la utilización de estos grandes buques. Por otra parte, la posibilidad de realizar transacciones a una escala mucho menor, puede permitir que ingresen nuevos participantes al negocio, tanto en Chile como compradores en el exterior. Los buques de contenedores tienen como ventaja comparativa sobre los buques graneleros el ser capaces de diversificar su carga, la existencia de un mercado mucho más competitivo entre empresas transportistas y tiempos de traslado, carga y descarga menores.

La Figura 1-3 muestra el proceso generalmente utilizado para la exportación de astillas. Las astillas deben ser trasladadas hasta el puerto de embarque, apiladas y posteriormente cargadas en el buque con el apoyo de cargadores mecánicos.

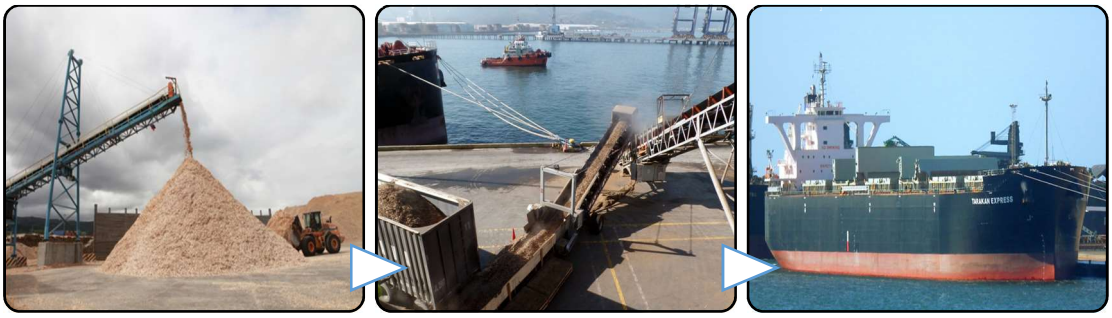


Figura 1-3: Proceso de carga buque granelero en Puerto Coronel [7].

Mediante la utilización de contenedores ISO para el transporte marítimo de las astillas es posible modificar el proceso mostrado en la Figura 1-3 por un proceso similar al de la Figura 1-4. En este proceso, las astillas llegan a puerto desde la planta de astillado dentro un contenedor ISO listo para ser cargado en el buque, eliminando el proceso de apilado en puerto.

Figura 1-4: Proceso de carga de contenedores ISO [8].

Uno de los principales desafíos para conseguir un proceso como el mostrado en la Figura 1-4 es llenar un contenedor ISO sin realizar modificaciones en su estructura y de una manera eficiente y competitiva. La solución a desarrollar en los siguientes capítulos consiste en utilizar un sistema neumático que permita llenar los contenedores montados sobre el camión en la misma planta o lugar de astillado. La elección de un sistema neumático para esto es básicamente por su sencilla operación y alto grado de automatización.

2 OBJETIVOS

El objetivo principal de este trabajo es diseñar un sistema neumático que permita llenar contenedores ISO de 40’ de largo con astillas de madera.

Los objetivos específicos son los siguientes:

- Diseñar un sistema neumático capaz de llenar un contenedor sin necesidad de modificar su estructura.
- Determinar los parámetros de operación óptimos requeridos por el sistema para un funcionamiento eficiente.
- Implementar un prototipo a escala para simular y evaluar el diseño creado empíricamente mediante ensayos de laboratorio.
- Verificar la factibilidad económica del sistema y determinar sus ventajas comparativas con otras alternativas existentes.

Para el cumplimiento de estos objetivos se utilizan las instalaciones pertenecientes al Centro de Investigación para el Transporte de Materiales (CITRAM) del Departamento de Ingeniería Mecánica de la UTFSM.

3 ANTECEDENTES PREVIOS

En concordancia con el objetivo general de este trabajo es necesario realizar una revisión de los métodos utilizados tanto para el transporte de astillas de madera como para el llenado de contenedores. En esto último se destacan una serie de iniciativas de empresas privadas en la utilización de sistemas neumáticos para el transporte de sólidos a granel.

3.1 Transporte terrestre

El transporte terrestre más antiguo corresponde a los ferrocarriles. Históricamente, han participado en el proceso de entrega-recepción de mercancía a granel entre punto de carga y puerto. Los vagones, con capacidad entre 50 y 70 [m^3], son llenados con una tolva cargadora y se utilizan en operaciones de transporte que no requieren un flujo continuo por lo que presentan una alta eficiencia en costos energéticos versus el transporte en camión. Los vagones para este fin pueden ser cerrados o abiertos de acuerdo a lo requerido.

Al igual que en el transporte por ferrocarril, los camiones pueden utilizarse en el traslado entre punto de carga y puerto, como también en operaciones cortas de traslado dentro de la planta o acercamiento a puertos de carga. Los tipos de camión más frecuentemente utilizados en el movimiento de graneles sólidos en puertos son: Camión tipo batea (brazo hidráulico para descarga) y camión con tolva presurizada (sistema neumático propio). En cuanto a la capacidad de transporte, los camiones varían desde camiones cisterna de 10 [m^3] hasta semi-remolques de 67 [m^3] sin considerar un segundo acoplado [9, 10].

3.2 Transporte marítimo

El transporte marítimo corresponde principalmente al uso de buques graneleros ("bulk carrier"), especialmente construidos para el transporte de cargas sólidas a granel, como pueden ser cereales, minerales o astillas de madera. El tamaño de estos buques puede llegar a más de 350.000 [tons] como los buques para mineral de hierro usados en Brasil. La mayoría de estos buques están especialmente diseñados para transportar un tipo específico de producto.

En el caso del transporte de astillas de madera se utilizan buques de escotilla abierta. Estos buques no tienen ala superior e inferior, en su lugar, tienen secciones cúbicas rectas para transportar el material en zonas aisladas, para evitar el contacto con el agua y que las astillas

se expandan durante el traslado. Estos buques tienen una capacidad entre los 30.000 y 65.000 [tons] de material. Además, cuentan con sistemas de carga-descarga propios compuestos por grúas, tolvas y transportadores [11].

3.3 FulFiller®

En la búsqueda por reducir los costos de transporte, compañías y productores comenzaron a utilizar contenedores ISO de 20' y 40' para el transporte de materiales sólidos a granel. Para este fin, Schenck Process [12] desarrolló un sistema llamado FulFiller®, que utiliza una correa lanzadora instalada sobre dos rodillos que giran a alta velocidad. El material que ingresa por la parte superior es acelerado por la correa y lanzado al interior del contenedor. Alguno de los materiales con los que se utiliza este sistema son fertilizantes, pellets de madera, azúcar, arroz, etc. El funcionamiento a alta velocidad permite el llenado de contenedores de 20' en tiempos cercanos a los 10-20 [min] según la información entregada en sus catálogos. La Figura 3-1 muestra una vista lateral del sistema FulFiller® y una vista en su forma modular para instalarse sobre la puerta de un contenedor.

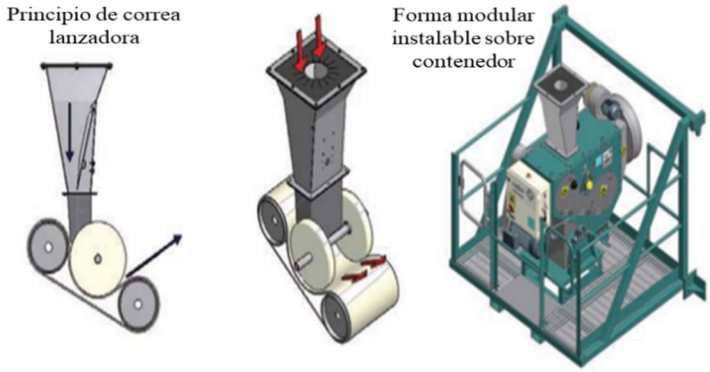


Figura 3-1: Sistema FulFiller® y principio de operación [12].

3.4 SiloadmaxX®

El proceso de llenado de contenedores ISO utilizando el sistema SiloadmaxX® diseñado por la empresa Pelletron Corporation [13] está basado en el concepto de transporte neumático. El material sólido a granel ingresa al sistema mediante una cañería telescópica desde un camión, silo o pila de acumulación. A medida que el material es cargado en el contenedor mediante una segunda línea se retira el aire desde el interior para optimizar el llenado con material. Las ventajas del sistema pueden ser resumidas en las siguientes: 75% de tiempo ahorrado al evitar el empaque del material, se pueden cargas hasta 22,6 [tons] en un período de

20 [min], utilización de contenedores ISO sin necesidad de modificaciones y eliminación de liberación de polvo al utilizar un ciclo cerrado. La Figura 3-2 muestra las distintas disposiciones en la carga de contenedores con el sistema SiloadmaxX®.

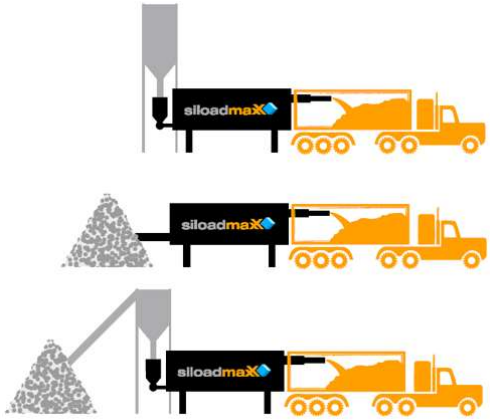


Figura 3-2: Disposiciones del sistema SiloadmaxX® [13].

3.5 Pneumatic loader®

El sistema de carga de contenedores ISO utilizado por la empresa Bulkflow [14] es una alternativa para la descarga desde silos a baja altura y es capaz de aprovechar al máximo el volumen disponible. Este sistema permite un llenado de contenedores mediante una operación en fase diluida o en fase densa. Para una operación en fase diluida se consigue llenar un contenedor en 45-90 minutos, mientras que para una operación en fase densa en 5-10 minutos. Esta última opción tiene como puntos en contra un alto consumo energético, una alta presión de operación y sólo para ciertos materiales. El sistema completo consiste en un compresor de aire, un secador de aire, una lanza transportadora del producto, una válvula rotativa y un sistema de recolección de polvo para retirar el aire desde el interior del contenedor. La Figura 3-3 muestra el sistema instalado sobre un contenedor para su llenado.

Figura 3-3: Sistema Pneumatic Loader® para llenado de contenedores [14].

3.6 Turbinas de succión

La empresa Kongskilde [15] ha desarrollado turbinas de succión para el transporte de granos desde 1949 y hoy en día es uno de los proveedores líderes a nivel mundial. Las turbinas de succión ofrecen capacidades de hasta 120 [tons/hr] según la necesidad del cliente y permiten la instalación de sistemas portátiles. El funcionamiento de estas turbinas consiste en la succión de una mezcla de material y aire para ser conducida hasta un primer ciclón mediante una etapa de presión negativa, en este ciclón se separa el material del aire y una válvula rotativa alimenta la etapa de presión positiva con el material a transportar. Cuando el material llega al segundo ciclón se reduce su velocidad para caer libre en la salida.

Figura 3-4: Turbinas de succión Kongskilde [15].

Una alternativa similar a estas turbinas de succión son los productos comercializados en el sitio Alibaba, donde es posible encontrar sistemas diseñados para llenar camiones con materiales comestibles como arroz o legumbres. Estos sistemas tienen capacidades entre 10-30 [tons/hr]. La Figura 3-5 muestra sistema de los distribuidos por el sitio Alibaba [16].

Figura 3-5: Sistemas para el llenado de granos distribuidos en Alibaba [16].

4 MARCO TEÓRICO

4.1 Materiales sólidos a granel

Un material sólido a granel corresponde a un conjunto de partículas sólidas con distinto tamaño pero con la misma naturaleza. Su comportamiento en el transporte suele compararse con el de los fluidos, pero a diferencia de estos los sólidos a granel no fluyen si no que pueden moverse, deslizar, rodar o caer debido a la acción de fuerzas externas sobre ellos. Otra diferencia relevante es que los materiales sólidos a granel son capaces de soportar esfuerzos de corte mientras se encuentran en reposo, capacidad que los fluidos no presentan [17].

Es importante destacar que no todos los materiales sólidos a granel se pueden transportar neumáticamente a través de cañerías, sino sólo aquellos materiales secos, no cohesivos, de fácil escurrimiento libre por gravedad y relativamente finos. Materiales frágiles pueden sufrir atrición y materiales abrasivos pueden causar un rápido desgaste en la cañería y accesorios. En el caso de tener una distribución granulométrica no uniforme puede existir segregación del material [18]. Es por esto que la correcta determinación de las características físicas y propiedades de fluidez de los materiales es de vital importancia para diseñar y operar sistemas.

Desde el punto de vista del transporte neumático, las características físicas más importantes son las siguientes: Tamaño de partícula y distribución granulométrica, densidad de partícula, forma de las partículas y contenido de humedad [17].

Existe otro grupo de propiedades propias del material consideradas como secundarias que son determinantes en aplicaciones de transporte neumático: Resistencia cohesiva, fricción de pared, compresibilidad, permeabilidad, retención de aire y fluidización [17].

4.1.1 Tamaño de partículas y distribución granulométrica

El tamaño de las partículas es la característica más importante de los materiales granulares cuando se trabaja con sistemas neumáticos. Dentro de los modelos analíticos, afecta parámetros como el consumo de energía y la velocidad mínima de transporte. Además, influye de manera importante en el dimensionamiento de los equipos ya que se recomienda que la cañería de transporte tenga un diámetro interior de al menos 5 veces el tamaño máximo de las partículas a transportar para evitar atascamientos.

El método universalmente utilizado para determinar el tamaño de partícula y su distribución es el tamizado, cuyo procedimiento se encuentra descrito en la norma NCh. 435.Of55. Utilizando mallas granulométricas de distintas aberturas se determina que fracción másica del material queda retenido en cada una de ellas. Posteriormente, los resultados son tabulados y presentados en un histograma (porcentaje pasante acumulado en función del tamaño de partícula) [19].

4.1.2 Densidad de partícula y densidad aparente

La densidad de las partículas (ρ_p) corresponde a la densidad real del material, es decir, su peso por unidad de volumen. Esta es una característica importante del material ya que afecta la determinación de la velocidad mínima de transporte y el consumo de energía. Por otra parte, la densidad aparente (γ) del material corresponde a la relación entre la masa del material y el volumen que este ocupa incluyendo el aire entre sus partículas [19].

El procedimiento para determinar la densidad aparente (γ) se basa en el descrito en la norma NCh. 1532.Of80 y consiste en colocar dentro de un picnómetro graduado, previamente tarado, una masa del material a ensayar hasta completar un volumen de 100 [ml]. Luego se utiliza la ecuación (4-1) para determinar el valor numérico de la densidad.

$$\gamma = \frac{masa\ de\ la\ muestra}{volumen\ total}\ [\frac{kg}{m^3}] \qquad \textbf{(4-1)}$$

Para determinar la densidad de partícula (ρ_p) el procedimiento se basa en el descrito en la norma NCh. 1532.Of80. Se llena un picnómetro graduado con una muestra de 100 [ml] del material a ensayar y posteriormente se agrega un líquido como el kerosene para poder eliminar el aire almacenado entre las partículas de material. La densidad de este líquido debe ser

determinada con anterioridad. Al conocer la masa de la muestra y el volumen ocupado por el líquido se puede obtener el volumen absoluto del material (corresponde a los 100 [ml] iniciales menos el volumen ocupado por el líquido), finalmente se utiliza la ecuación (4-2).

$$\rho_p = \frac{masa\ de\ la\ muestra}{volumen\ de\ la\ muestra}\ [\frac{kg}{m^3}] \qquad \textbf{(4-2)}$$

4.1.3 Forma de las partículas

La forma de las partículas es generalmente un apreciación visual del material y se clasifican como esféricas, irregulares, elípticas, etc. pero siempre de manera cualitativa [17].

Klinzing [20] definió lo que se conoce como coeficiente de esfericidad (ψ), el cociente entre el área superficial de una esfera con el mismo volumen que las partículas de interés sobre el área superficial de las partículas.

4.1.4 Contenido de humedad

La humedad de un material afecta principalmente la cohesión y tensión superficial que este puede tener. El contenido de humedad en un material se define como el cociente entre el peso del agua superficial o libre existente en la muestra (no se considera la humedad intrínseca) y el peso de la muestra seca. Se utiliza un procedimiento basado en la norma NCh. 1515.Of79 y se calcula según la ecuación (4-3) [17].

$$CH = \left[\frac{m_h - m_s}{m_s - m_r}\right] \cdot 100\ [\%] \qquad \textbf{(4-3)}$$

Donde: m_h: $masa\ del\ recipiente\ más\ la\ muestra\ humeda\ [g]$
m_s: $masa\ del\ recipiente\ más\ la\ muestra\ seca\ [g]$
m_r: $masa\ del\ recipiente\ [g]$

El procedimiento utilizado consiste en tomar una muestra del material, registrar su masa y secar en un horno a 105±5 [°C] hasta que el material no pierda más peso (normalmente 1-2 horas) para posteriormente volver a registrar su masa.

4.2 Sistemas de transporte neumático

El transporte neumático es definido como “la acción de transportar materiales sólidos a granel desde un punto (de alimentación) a otro punto (de descarga) mediante un flujo de gas dentro de una cañería” [19].

El transporte neumático de sólidos a granel es una disciplina utilizada desde el siglo pasado y existe un gran número de aplicaciones en distintos ámbitos de la industria como la minería, cemento, farmacéutica, alimentos, etc. Algunas de las aplicaciones típicas de estos sistemas son: Transporte de materiales a lugares remotos de planta, sistemas de llenado y vaciado de silos o tolvas, sistemas para descarga de barcos o camiones, transporte e inyección de materiales a reactores o cámaras de combustión y sistemas para la recolección de polvos [18].

La naturaleza de los fenómenos ocurridos al interior de la cañería al interactuar ambas fases (sólidos y gas) y el número de variables que afectan el comportamiento crean una problemática en cuanto a modelar teóricamente estos sistemas por lo que su diseño y operación se basa hasta el día de hoy en la experiencia práctica acumulada [21].

4.2.1 Componentes

La composición de los sistemas neumáticos permite su modificación para adaptarse al material o sitio de instalación en su etapa de diseño. Estos generalmente están compuestos por las siguientes cuatro etapas básicas [20, 21]:

- **Soplador**: Componente esencial para la operación. Con el objetivo de mover el gas de transporte (normalmente aire) se utilizan distintos tipos de sopladores, bombas de vacío o ventiladores cuya selección se ajusta a cada aplicación. El soplador debe proveer el flujo y presión adecuados para transportar material desde la alimentación hasta el separador.
- **Alimentador**: Aquí es donde el material a transportar ingresa y se mezcla con el gas de transporte. Para esto se utilizan regularmente válvulas de bolas, válvulas rotatorias, alimentadores de tornillo, etc. cuya selección depende de las características del material a transportar, modo de operación, presión del sistema entre otras variables. Además, por el efecto de los cambios de momento producido en las

partículas de material, es importante considerar como parte de la alimentación un tramo de cañería que permita la correcta aceleración de las partículas sólidas.

- **Cañería**: Básicamente es el medio en que el material realiza su recorrido. Incluye tramos horizontales, verticales, cambios de dirección, válvulas y accesorios, etc.
- **Separador**: En esta etapa ocurre la separación del material transportado del fluido de transporte mediante la desaceleración y recuperación de las partículas sólidas y está ubicada al final de cañería. Dependiendo de diversos factores relacionados principalmente con el material se utilizan para este fin cajas de impacto, cámaras de separación, precipitadores electroestáticos, ciclones, filtros de mangas, etc.

Otro elemento relevante en los sistemas de transporte neumático es el silo de almacenamiento, ya que al mantener una correcta operación de este equipo se asegura un flujo controlado en el alimentador. Se recomienda utilizar siempre silos de flujo másico para una correcta operación en sistemas de transporte neumático [19].

4.2.2 Clasificación de sistemas de transporte neumático

Los sistemas de transporte neumático son clasificados normalmente según la presión del sistema o la relación de carga (μ) a la cual operan.

La clasificación de los sistemas de transporte neumático según la presión al interior del mismo es la siguiente [20]:

- **Sistemas de presión positiva**: Son los sistemas más usados en la industria gracias a su capacidad de cubrir grandes distancias con un alto tonelaje. Están diseñados para transportar el material a múltiples puntos de descarga desde un único punto de alimentación. La alimentación del fluido de transporte se encuentra antes de la zona de alimentación operando así el sistema a una presión mayor que la presión atmosférica logrando “empujar” los sólidos durante todo el recorrido.
- **Sistemas de presión negativa**: Como contraparte de los sistemas de presión positiva, estos sistemas son utilizados para lograr la descarga del material en un único punto desde múltiples puntos de alimentación. Gracias a la instalación del equipo motriz al final de la zona de transporte se trabaja a una presión menor (vacío) a la presión atmosférica al interior del sistema. Estos sistemas destacan en el transporte de

materiales tóxicos o peligrosos para el medio ambiente ya que al existir una rotura la diferencia de presión con respecto al ambiente evita la fuga de material al exterior.

- **Sistemas combinados**: Estos sistemas son una combinación de los sistemas anteriores y aprovechan la principal característica de ambos, es decir, permiten utilizar múltiples puntos de alimentación y puntos de descarga. Estos sistemas presentan secciones de presión negativa (alimentación) y presión positiva (descarga).

La clasificación de los sistemas de transporte neumático según la relación de carga (μ) en que operan es la siguiente [21, 22]:

- **Sistemas de fase diluida**: Estos sistemas utilizan gran cantidad de fluido a alta velocidad para transportar el material, por esto las partículas de material son mantenidas en suspensión mientras son transportadas en la cañería. Para mantener este flujo homogéneo y en suspensión se utiliza una relación de carga inferior a diez. Generalmente se descarta este tipo de sistemas para materiales abrasivos o frágiles y el alto consumo energético por la alta velocidad utilizada puede ser una limitante en el diseño.
- **Sistemas de fase densa**: En estos sistemas operan con velocidades relativamente bajas y no se observa una suspensión del material. Es característica la concentración del material en la parte baja de la cañería y la aparición de “dunas” sobre esta durante la operación, o la generación natural de “cilindros” de material que avanzan por la cañería. Este tipo de transporte es ideal para materiales frágiles o abrasivos, al mantener una velocidad de transporte relativamente baja se reduce el desgaste en el sistema y la atrición del material.

4.2.3 Velocidad mínima de transporte

Uno de los parámetros más importantes para el diseño y operación de un sistema de transporte neumático es la velocidad de transporte (U_g) a utilizar. El éxito del diseño depende de la correcta determinación de este parámetro, el cual afecta la caída de presión y el consumo de energía.

Sistemas diseñados para operar a bajas velocidades pueden presentar problemas de depositacion de sólidos en la parte inferior de la cañería o un flujo errático del material llegando a tapar la cañería. Por otro lado, operar un sistema a alta velocidad significa un alto consumo de energía, degradación del material y desgaste del sistema lo que se traduce en altos costos operacionales.

Para obtener la velocidad mínima de transporte ($U_{g,mín}$) no existe en la literatura una fórmula o procedimiento universalmente reconocido. Durante los años se han acumulado gran cantidad de publicaciones con correlaciones empíricas para obtener esta velocidad basadas en ensayos de laboratorio para ciertos materiales, pero sigue sin existir un consenso. Hay coincidencia en que la velocidad mínima de transporte aumenta con el tamaño de partícula, densidad de partícula, diámetro de cañería y relación de carga del sistema [18].

Parte de la dificultad de encontrar una correlación universal para la velocidad mínima de transporte es el desconocimiento teórico de los fenómenos de depositación y desprendimiento que ocurre al interior de una cañería en el transporte neumático y como se relacionan estos con la determinación de esta velocidad. Se recomienda obtener esta velocidad mínima de transporte mediante la realización de ensayos de laboratorio que reproduzcan los fenómenos de depositación y desprendimiento con el material de interés [19].

En el caso en que realizar ensayos de laboratorio no sea una opción se puede utilizar la correlación propuesta por Schade [23]. En su trabajo, la velocidad crítica ($U_{crít}$) se define como "la velocidad para que no existan partículas en reposo dentro de una cañería horizontal" y entrega la correlación mostrada en la ecuación (4-4):

$$U_{crit} = \sqrt{gD} \cdot \left(\frac{D}{d_p}\right)^{0,025} \cdot \left(\frac{\rho_p}{\rho_g}\right)^{0,34} \cdot \mu^{0,11} \qquad \textbf{(4-4)}$$

En cuanto a la velocidad óptima del sistema se recomienda aplicar un factor de 1.2 sobre la velocidad obtenida a través de una correlación (en este caso la ecuación (4-4)). Este factor nace de la desviación máxima que entregan las correlaciones existentes y permite operar el sistema con una operación estable y minimizando el consumo de energía [19].

4.3 Lanzamiento de proyectil

Un proyectil describe una trayectoria al ser lanzado con una velocidad inicial y su recorrido depende de los efectos de la aceleración gravitacional y la resistencia del aire [24]. El modelo ideal para analizar la trayectoria de un proyectil considera una partícula bajo una aceleración de gravedad constante y se desprecia el efecto de la resistencia del aire sobre esta. La Figura 4-1 muestra un lanzamiento de proyectil desde una altura Y_0 con una velocidad inicial V_0 que forma un ángulo Θ con respecto a la horizontal desde el cual es posible obtener las ecuaciones características como muestran las ecuaciones (4-5) y (4-6) en función de la posición de una partícula.

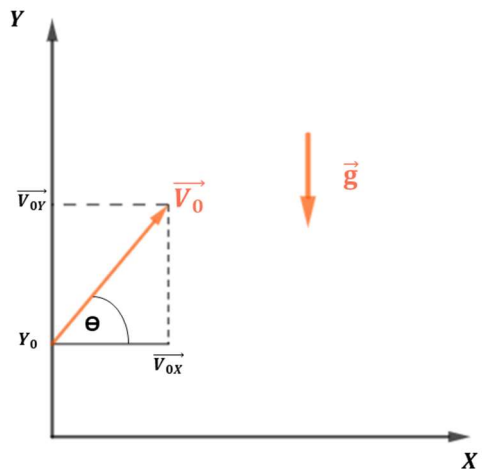


Figura 4-1: Modelo ideal para lanzamiento de proyectil [25].

$$X = V_{0X}t \;\; ; \;\; V_X = V_0\cos(\theta) \;\; ; \;\; a_X = 0$$
$$Y = Y_0 + V_{0Y}t - \frac{gt^2}{2} \;\; ; \;\; V_Y = V_0\sin(\theta) \;\; ; \;\; a_Y = -g \qquad \textbf{(4-5)}$$

$$Y(X) = Y_0 + X\cdot\tan(\theta) - \frac{gX^2}{2{V_0}^2\cdot\cos(\theta)^2} \qquad \textbf{(4-6)}$$

Cuando la resistencia del aire se considera relevante para el análisis y se incluye en el modelo, el cálculo de la trayectoria se complica. La resistencia del aire depende de la velocidad y forma de la partícula por lo que se agregan otras variables al modelo [25].

4.4 Contenedores ISO

Un contenedor es un depósito para el transporte de carga y su principal función es la protección de las mercancías transportadas de los efectos externos. Los más utilizados son conocidos bajo el nombre de contenedores ISO ya que son fabricados de acuerdo a las especificaciones entregadas por la International Standarization Organization (ISO) en la norma ISO 668:2013. El que los contenedores tengan dimensiones estandarizadas permite una mejor manipulación de estos en cualquier lugar del mundo.

Los contenedores son fabricados principalmente con acero, en su interior llevan instalado un recubrimiento para evitar la humedad y el piso es de madera. Para su correcta sujeción e izaje cuentan con puntos de anclaje en las esquinas. Los contenedores ISO se clasifican de la forma que muestra la Tabla 4-1 y los más usados a nivel mundial son los contenedores ISO del tipo "Standard dry" o "SD" mostrado en la Figura 4-2 [26].

Tabla 4-1: Clasificación e identificación de contenedores ISO [26].

Abreviatura	Tipo	Traducción
SD	Standard dry	"Estándar" carga seca (común)
RF	Reefer	Frigorífico
OT	Open top	Techo abierto/de lona
FR	Flat reck	Base con parantes
HC/JB	High cube/jumbo	9'6" de altura
TK	Tank	Tanque
PL	Platform	Plataforma
HD	Heavy duty	Servicio pesado / reforzado

Las dimensiones y capacidad de los contendores ISO tipo "SD" se muestran en la Tabla 4-2 en su versión de 40' de largo.

Tabla 4-2: Dimensiones de contenedores ISO tipo "SD" 40' [27].

Contenedor ISO tipo "SD" 40'	
Tara [kg]	3.780
Carga máxima [kg]	26.700
Peso Bruto [kg]	30.480
Largo interior [m]	12,029
Ancho interior [m]	2,350
Altura interior [m]	2,392
Capacidad [m^3]	67,6

Figura 4-2: Contenedores ISO tipo "SD" 40' [28].

5 TRABAJO EXPERIMENTAL

Para poder diseñar un sistema de transporte neumático capaz de llenar un contenedor ISO de 40' sin realizar modificaciones a su estructura es necesario llevar a cabo ensayos de laboratorio que permitan estudiar el fenómeno de lanzamiento de partículas al interior del contenedor. La principal interrogante en este punto es encontrar, en caso de existir, la forma más eficiente para llenar el contenedor minimizando los recursos utilizados.

En base a los antecedentes teóricos recopilados se reconoce que la velocidad de lanzamiento (V_0) y el ángulo de lanzamiento (Θ) son parámetros relevantes para definir la capacidad de llenado que puede alcanzar el sistema. De igual manera, la trayectoria de las partículas al interior del contenedor se ve afectada directamente por la altura con respecto al nivel de la base (h) en que se instale la cañería del sistema. Por ejemplo, la Figura 5-1 muestra una serie de trayectorias posibles de obtener según la combinación de valores para los parámetros antes mencionados al interior de un contenedor.

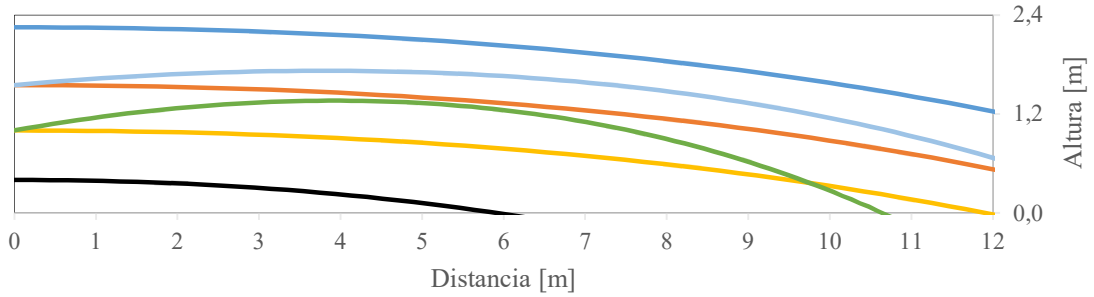


Figura 5-1: Ejemplo de trayectoria de partículas sopladas al interior de un contenedor.

Estas trayectorias deben ser obtenidas experimentalmente mediante una serie de ensayos de laboratorio en un sistema de llenado a escala que permita variar la velocidad de lanzamiento de partículas, el ángulo y la posición de lanzamiento. Al realizar los ensayos una de estas variables debe mantenerse fija mientras se varían las otras dos. Los parámetros a registrar durante los ensayos son: velocidad, posición, ángulo, presión del sistema, tiempo de llenado y masa total al interior del contenedor.

Al trabajar en un sistema a escala, es necesario utilizar un tamaño de material adecuado, pero las astillas de madera no contienen polvos o material fino que permita "escalar" el material. En base a esto, se decide utilizar para el registro de trayectorias grits de maíz al ser un material uniforme en su composición, de fácil manipulación y con un tamaño de partícula adecuado al tamaño del sistema.

5.1 Diseño del sistema a escala

Con tal de cumplir con lo descrito anteriormente se diseña un sistema neumático que permite realizar estos ensayos en las dependencias del CITRAM y que sea geométricamente semejante al caso real.

El sistema representado en la Figura 5-2 cuenta con un soplador conectado en su alimentación a una placa orificio, que permite medir de manera indirecta la velocidad de transporte. La alimentación de sólidos es a través de una "T" con la descarga proveniente de un silo en la parte superior. La presión del sistema se registra en un punto previo a la alimentación de sólidos por lo que debe conectarse un manómetro. La cañería de llenado debe ser transparente para poder detectar posibles problemas de flujo a bajas velocidades, desde la "T" de alimentación al contenedor.

Una parte importarte del sistema es que sea posible variar la inclinación de la cañería de llenado en 5° y 10° para poder estudiar el efecto del ángulo de lanzamiento (Θ) en la cantidad de material que puede ingresar al contenedor. Para esto, la conexión entre la "T" de alimentación y la válvula de guillotina debe permitir una pequeña variación y la estructura que soporta el silo de alimentación debe poder inclinarse.

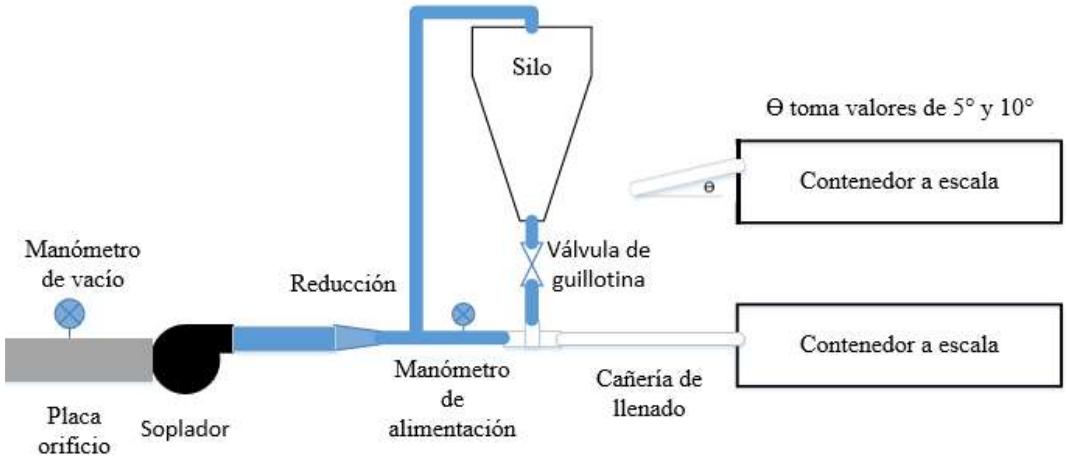


Figura 5-2: Esquema del sistema neumático a construir.

En cuanto a dimensiones del sistema se propone utilizar un factor de escala 1:12 en función de las dimensiones de un contenedor ISO de 40' y una cañería de llenado de 6" de diámetro. Este diámetro tiene relación con el tamaño máximo de partículas que se espera

transportar. Al aplicar este factor el diseño del sistema requiere utilizar una cañería de diámetro interior de ½", no obstante las dimensiones del resto de las cañerías del sistema pueden variar.

Al aplicar el factor de escala al contenedor se obtienen las dimensiones en milímetros mostradas en la Figura 5-3. Además, como las trayectorias deben ser registradas de manera visual una de las paredes del contenedor debe ser transparente.

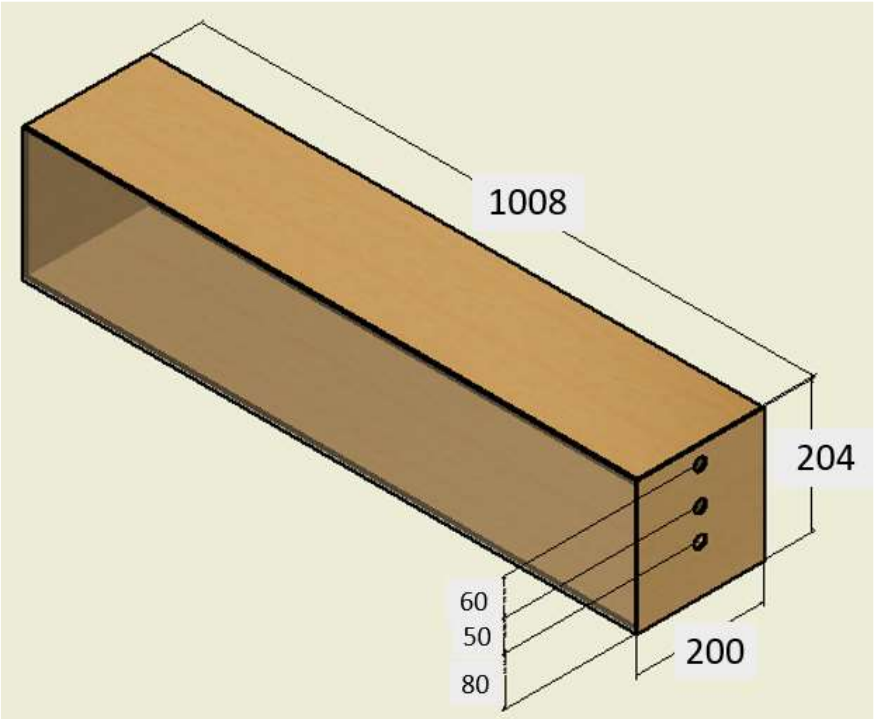


Figura 5-3: Diseño de contenedor a escala (dimensiones en mm).

5.2 Construcción del sistema

Para la construcción del sistema neumático diseñado se utilizaron varios elementos ya disponibles en el CITRAM. Para la alimentación de aire al sistema se utiliza un soplador Gardner Denver G-SAP150 con una capacidad máxima de 175 [m^3/hr]. Este soplador cuenta con regulación de caudal mediante un variador de frecuencia. En la toma de aire del soplador se conecta una placa orificio con una conexión a un manómetro incorporada como se muestra en la Figura 5-4. Esta placa crea una caída de presión en el sistema que permita medir de manera indirecta la velocidad del aire al interior de la cañería. En el Anexo B se encuentra la información del soplador.

Al trabajar con una cañería de ½" se necesita estrangular la entrada de aire en la placa orificio, ya que un menor caudal permite registrar de manera más sensible la velocidad de manera indirecta en el manómetro. La estrangulación se logra con una placa de madera con un diámetro de entrada de 32 [mm].

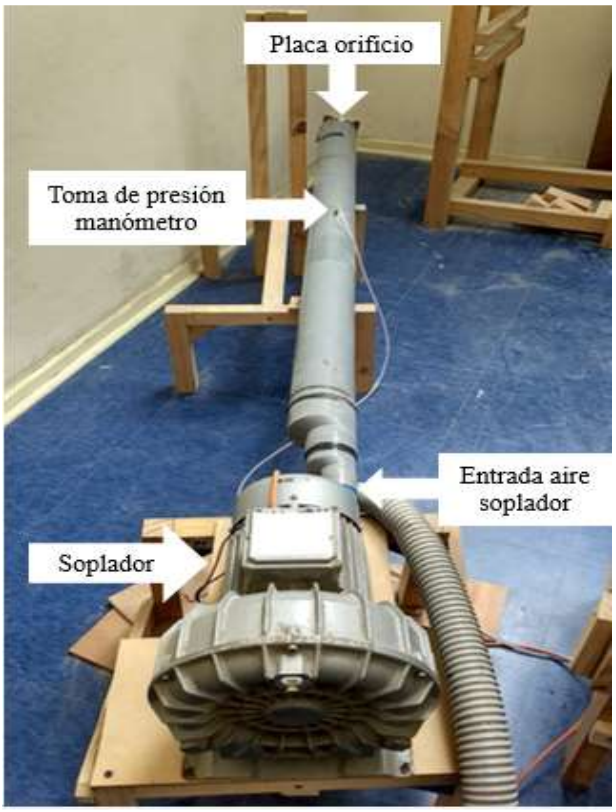


Figura 5-4: Soplador utilizado con placa orificio conectada.

Para el almacenamiento de sólidos se utiliza un silo cilíndrico disponible en laboratorio, con dimensiones de 500 [mm] de altura y 300 [mm] de diámetro, al cual se conecta una tolva de descarga cónica que asegura flujo másico en la descarga. Este silo es montado sobre una estructura construida en base a madera. El silo debe sellarse en su parte superior dejando un abertura de 63 [mm], esta abertura sirve para cargar el silo con material y para conectar con la alimentación de aire, mediante una cañería de 40 [mm], con tal de igualar la presión en el silo.

La línea de alimentación de aire desde el soplador hasta el punto de alimentación corresponde a una serie de reducciones de PVC para pasar de un diámetro de cañería interior de 58 [mm] al requerido de 14 [mm]. En la reducción de 40 [mm] se incorpora una "T" para unir la línea de alimentación de aire con la parte superior del silo. La Figura 5-5 muestra el silo cargado, de manera frontal, y también se aprecia la línea de conexión entre la alimentación de

aire y la parte superior del silo. La estructura que soporta el silo también se utiliza para instalar los manómetros que permiten registrar la presión en la placa orificio y la presión del sistema en un punto anterior a la alimentación de sólidos.

Figura 5-5: Silo de alimentación con línea de alimentación de aire instalada.

La tolva de acero en la parte baja del silo cuenta con un diámetro de salida de 58 [mm]. Aquí se instala una cañería de acrílico transparente de 58 [mm] con una abertura donde se ajusta una placa de acero removible. Esta placa cumple la función de válvula de guillotina y permite interrumpir la alimentación de sólidos desde el silo al sistema. En la Figura 5-6 se aprecia esta válvula de guillotina cortando el flujo de material. Bajo la válvula de guillotina se conecta una "T" de acrílico con diámetro interior de 32 [mm] con la ayuda de reducciones de PVC. Además, en esta reducción se ubica una placa orificio que permite regular el diámetro de descarga efectiva del silo de manera de ajustar diferentes flujos de sólidos en la descarga.

Figura 5-6: Unión tolva – "T" de alimentación y válvula de guillotina.

La "T" de alimentación tiene un diámetro mayor que el de la cañería de llenado a utilizar (20 [mm]) por lo a la cañería se llenado se le realiza una perforación de 15 [mm], esta debe ser alineada con la descarga de material desde el silo. Además, debe incorporarse en la cañería de llenado la conexión al manómetro que mide la presión del sistema (ΔP), ubicada antes de la "T" de alimentación. Finalmente, indicar que la cañería de acrílico es de 1.100 [mm] de largo, con un diámetro interior de 14 [mm] y diámetro exterior de 20 [mm]. La Figura 5-7 muestra la zona de alimentación con el arreglo fabricado y un esquema explicativo de las perforaciones realizadas a la cañería de llenado.

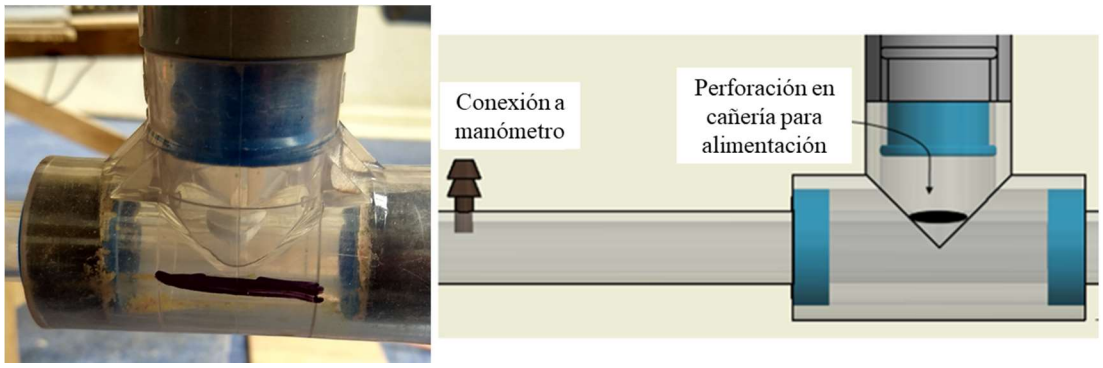


Figura 5-7: Zona de alimentación de sólidos.

La variación del ángulo de llenado del contenedor se consigue inclinando levemente la estructura que soporta el silo y ajustando de manera inclinada la primera reducción ubicada bajo la válvula de guillotina. La Figura 5-8 muestra el sistema con una inclinación de 10° en el punto de lanzamiento.

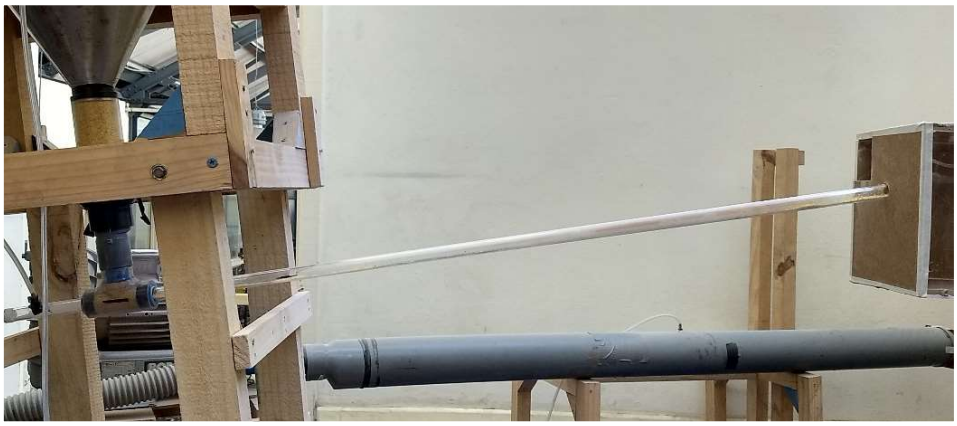


Figura 5-8: Sistema con inclinación de 10°.

El plano del sistema de llenado y el arreglo de alimentación de sólidos se encuentran en el Anexo A. Las especificaciones de instrumentación se encuentran en el Anexo B.

5.2.1 Contenedor

En base al diseño del contenedor a escala presentado, se dimensionó y cortó una plancha de madera aglomerada MASISA de 9 [mm] de espesor. Se utilizó este material por ser fácil de cortar y accesible en el comercio. Para apreciar la forma del llenado y la trayectoria de las partículas en su interior se utiliza una pared de acrílico transparente de 3 [mm] de espesor. La Figura 5-9 muestra el contenedor construido en el laboratorio.

Figura 5-9: Modelo de contenedor construido en escala 1:12.

La variación de la altura en que ingresa el material con respecto a la base se consigue utilizando una “puerta” para el contenedor con una perforación de 20 [mm] que permite posicionar la cañería de transporte. Para obtener las tres posiciones que aparecen en el diseño (Ver Figura 5-3) se fabrican tres “puertas”, cada una con la perforación a distinta altura. Finalmente, la base que soporta el contenedor es construida en madera y su altura es variable de acuerdo a los requerimientos de cada ensayo. El plano del contenedor construido puede verse en el Anexo A.

La Figura 5-10 muestra el sistema de llenado para un contenedor a escala, ya instalado y funcionando.

Figura 5-10: Vista general del sistema neumático para modelar el llenado de contenedor a escala.

5.3 Calibración

Previo a comenzar la realización de los ensayos es necesario calibrar el sistema y los instrumentos a utilizar para asegurar una toma de datos fidedigna y evitar errores en cálculos posteriores.

5.3.1 Velocidad del aire

La velocidad del aire al interior de la cañería del sistema no es posible medirla durante la realización de ensayos de manera directa por lo que se utiliza la placa orificio instalada en la succión del soplador. La diferencia de presión medida a través de un manómetro y la utilización de la ecuación (5-1) basada en Bernoulli que permite obtener la velocidad son necesarias para la calibración.

$$U_g = K_{placa} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta P_{placa}}{\rho_g}} \qquad \textbf{(5-1)}$$

Para determinar la constante K_{placa} se utiliza un tubo pitot conectado a un anemómetro para registrar la velocidad del aire en el punto de salida del sistema y relacionarlo con la caída de presión en la placa orificio registrada por un manómetro. El procedimiento comienza ajustando el flujo de aire con el variador de frecuencia a una diferencia de presión en la placa de 0,01 [”H_2O] y se registra la velocidad marcada por el anemómetro. Se debe repetir este procedimiento aumentando la caída de presión 0,01 [”H_2O] cada vez, hasta alcanzar los 0,25 [”H_2O] y así cubrir todo el rango posible a utilizar durante los ensayos. Las especificaciones del anemómetro utilizado se encuentran en el Anexo B.

Con estas mediciones se obtiene una relación entre la presión registrada por el manómetro conectado a la placa orificio y la presión de salida del aire utilizando la ecuación (5-1). Finalmente, se obtiene un valor promedio K_{placa} = 5,68 para el sistema de llenado al realizar una regresión a los datos como muestra la Figura 5-11. Los datos utilizados en esta calibración se entregan en el Anexo C.

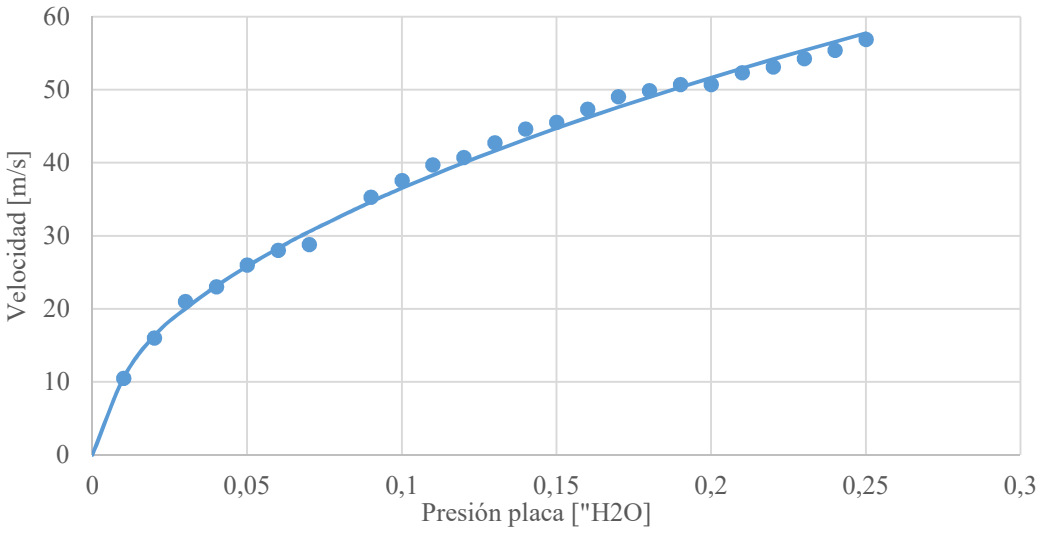


Figura 5-11: Curva de calibración placa orificio para sistema de llenado.

5.3.2 Flujo de sólidos

Un parámetro relevante para este trabajo y en específico para el ensayo de llenado es el flujo de sólidos (W_s) logrado en la descarga del silo. Este flujo de sólidos se regula mediante la utilización de placas con diferente diámetro con tal de variar la descarga efectiva del silo, ubicadas entre la cuña de cierre de alimentación y la entrada a la "T" de alimentación.

El procedimiento para conocer este flujo consiste en instalar una placa orificio definida y descargar de manera libre una masa conocida de material. Este procedimiento se repite cinco veces para obtener un rango probable de flujo y los resultados se muestran en la Tabla 5-1. Se seleccionan las placas #9, #13 y #15 para la calibración al ser las que permiten operar el sistema en la zona de fase diluida (relación de carga entre 1 y 10).

Tabla 5-1: Calibración del flujo de sólidos.

	Placa #9			Placa #13			Placa #15		
N°	Masa [kg]	Tiempo [s]	Ws [kg/s]	Masa [kg]	Tiempo [s]	Ws [kg/s]	Masa [kg]	Tiempo [s]	Ws [kg/s]
1	4,000	1702,03	0,002	1,000	44,12	0,023	2,000	61,43	0,033
2	1,000	466,78	0,002	2,000	87,65	0,023	2,000	59,25	0,034
3	2,000	982,66	0,002	2,000	97,71	0,020	2,000	54,19	0,037
4	1,000	400,85	0,002	2,000	89,91	0,022	2,000	55,03	0,036
5	1,000	395,56	0,003	2,000	87,32	0,023	2,000	44,67	0,045
	W_s máx. [kg/min]		0,152	W_s máx. [kg/min]		1,394	W_s máx. [kg/min]		2,498
	W_s mín. [kg/min]		0,126	W_s mín. [kg/min]		1,273	W_s mín. [kg/min]		1,926

5.4 Metodología de ensayo

El procedimiento seguido durante la toma de datos del ensayo de llenado es el siguiente:

- Colocar la “puerta” del contenedor que corresponde a la altura de lanzamiento a la que se desea medir.
- Ubicar la base del contenedor a la altura correspondiente a la “puerta” a utilizar, se debe buscar que la cañería entre el punto de alimentación y el ingreso en la “puerta” tenga el ángulo requerido.
- Instalar el contenedor sobre la base de madera y verificar que se encuentre nivelado.
- Verificar que la válvula de guillotina este bloqueando el paso de sólidos bajo el silo.
- Ubicar entre la válvula de guillotina y la “T” de alimentación la placa orificio #15.
- Llenar el silo completamente por la parte superior con ayuda de un embudo.
- Ubicar la cañería en la “puerta” del contenedor a escala y verificar la correcta ubicación del agujero de alimentación.
- Encender el soplador y revisar que todas las conexiones estén en óptimas condiciones. Ajustar a una presión mínima de 0,02 [”H_2O] (punto mínimo en que hay transporte de material)
- Comenzar la grabación del video.
- Quitar la placa metálica en la alimentación para permitir el flujo de sólidos, registrar el tiempo con el cronómetro.
- Medir, una vez que el transporte de sólidos sea estable, la presión del sistema.
- Una vez que el contenedor se encuentre lleno o no sea capaz de almacenar más material bloquear la alimentación de sólidos y apagar el soplador. Registrar el tiempo transcurrido.
- Vaciar y pesar el material al interior del contenedor.
- Limpiar la “T” de alimentación, quitando el material acumulado.
- Repetir el procedimiento aumentando en 0,01 [”H_2O] cada vez hasta los 0,05 [”H_2O].
- Variar la altura de lanzamiento cambiando la “puerta” del contenedor y el ángulo de lanzamiento hasta completar todos los ensayos repitiendo cada uno dos veces para asegurar los resultados.

5.5 Caracterización del material

La caracterización del material a utilizar corresponde a la realización de ensayos que permitan determinar parámetros claves en el diseño de sistemas neumáticos, tales como granulometría, porcentaje de humedad, densidad de partícula y densidad aparente.

El material con el que interesa llenar los contenedores son astillas de madera que cumplan con estándares de calidad requeridos para exportación (Ver Figura 5-12). Como forma de asegurar esto, la muestra utilizada corresponde a astillas proporcionadas por la empresa Trans Pacific Fibre S.A., joint-venture entre la empresa nacional Bosques Cautín S.A. y la empresa japonesa Mitsui. Por otra parte, para los ensayos de llenado a escala se utiliza grits de maíz (ver Figura 5-12).

Figura 5-12: Muestra de astillas de madera y grits de maíz.

Con la ayuda del personal académico del Laboratorio de Termodinámica de la UTFSM, y siguiendo los procedimientos indicados anteriormente en la sección 4, se obtuvieron los resultados presentados en la Tabla 5-2.

Tabla 5-2: Caracterización de los materiales utilizados.

	Astillas de madera		Grits de maíz	
Densidad Aparente				
Volumen	1000	[ml]	90	[ml]
Masa	220	[g]	70,2	[g]
Densidad Aparente	220	[kg/m^3]	780	[kg/m^3]
Densidad de Partícula				
Volumen	150	[ml]	90	[ml]
Masa	29,6	[g]	70,2	[g]
Masa + líquido	96,3	[g]	101,1	[g]
Densidad Partícula	920	[kg/m^3]	1350	[kg/m^3]
Contenido Humedad				
Humedad	50,7	[%]	4,5	[%]

Cabe destacar que para los ensayos de densidad de partícula se utiliza como líquido kerosene, el cual tiene una densidad previamente medida de 814 [kg/m^3].

Los resultados del ensayo de granulometría para ambos materiales se muestran en la Tabla 5-3 y gráficamente en la Figura 5-13.

Tabla 5-3: Granulometría para astillas de madera y grits de maíz.

		Granulometría astillas			Granulometría grits de maíz		
Malla	Abertura [mm]	Masa [kg]	%Retenido	%Pasante	Masa [kg]	%Retenido	%Pasante
1"	25,0	0,0	0,0%	100,0%	0,0	0,0%	100,0%
1/2"	12,5	148,2	14,8%	85,2%	0,0	0,0%	100,0%
1/4"	6,3	666,9	66,7%	18,5%	0,0	0,0%	100,0%
#5	4,0	125,0	12,5%	6,0%	0,0	0,0%	100,0%
#10	2,0	40,3	4,0%	2,0%	0,0	0,0%	100,0%
#18	1,0	11,9	1,2%	0,8%	74,4	24,8%	75,2%
#30	0,600	3,8	0,4%	0,4%	195,2	65,1%	10,1%
#50	0,300	2,1	0,2%	0,2%	29,5	9,8%	0,3%
#100	0,150	1,6	0,2%	0,0%	0,8	0,3%	0,0%
Fondo	-	0,2	0,0%		0,1	0,0%	
Total [g]		1000,0		Total [g]	300,0		
				d_{50} [mm]	0,595		
				$d_{máx}$ [mm]	2,0		

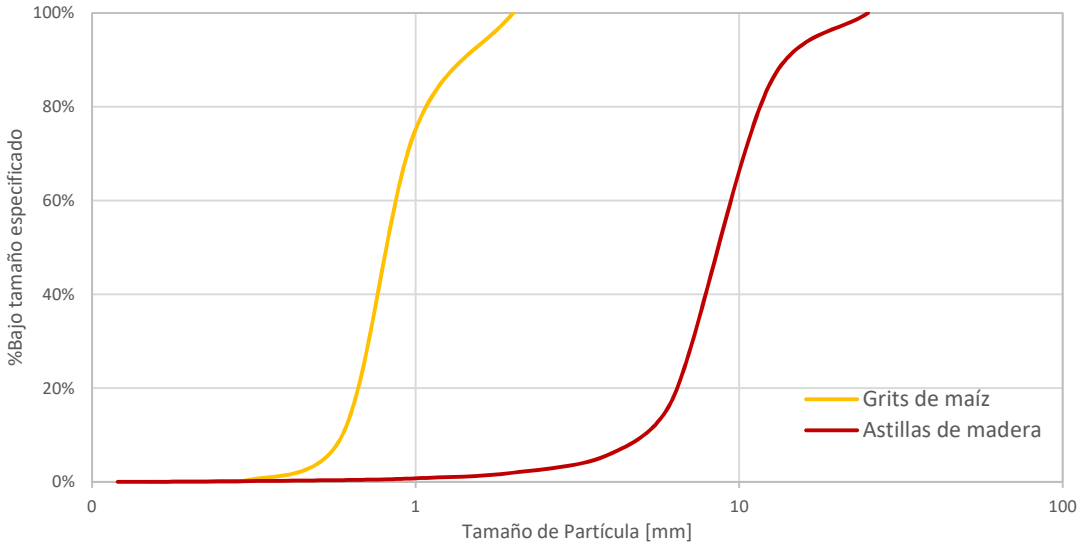


Figura 5-13: Granulometría para astillas de madera y grits de maíz.

Las astillas tienen una forma alargada y no uniforme por lo que no es recomendable obtener desde el ensayo de granulometría un diámetro máximo o un diámetro medio de partícula como se hizo para el grits de maíz. Para obtener este dato, se les mide a 20 astillas seleccionadas de manera aleatoria su largo, ancho y espesor. Estos resultados se presentan en la Tabla 5-4. Desde estos datos se calcula una esfera de volumen equivalente para obtener un diámetro promedio de partícula y un diámetro máximo de partícula, de 11,4 [mm] y un 15,5 [mm], respectivamente.

Tabla 5-4: Resultados medición de astillas de madera.

Medición [-]	Largo [mm]	Ancho [mm]	Alto [mm]	Medición [-]	Largo [mm]	Ancho [mm]	Alto [mm]
1	28	5	3	11	24	6	5
2	24	5	2	12	13	5	1
3	27	3	5	13	16	6	2
4	21	12	3	14	8	10	2
5	15	9	2	15	18	5	5
6	15	8	2	16	20	7	4
7	20	7	4	17	22	12	2
8	10	7	3	18	15	5	2
9	12	10	5	19	18	4	4
10	22	8	5	20	11	8	2

6 RESULTADOS

Los resultados experimentales del ensayo de llenado para el contenedor a escala se presentan en el Anexo D. Estos resultados corresponden a ensayos que cubren un rango de valores posibles para cada una de las variables que determinan el llenado óptimo de un contenedor: velocidad de lanzamiento de partículas, el ángulo de lanzamiento y la posición o altura con respecto a la base en que se instala la cañería.

6.1 Llenado óptimo de contenedor

La selección de una combinación óptima entre velocidad, posición y ángulo de lanzamiento debe lograr alcanzar el máximo llenado posible y utilizar la menor velocidad posible con tal de reducir el consumo de energía y la atrición de las astillas.

Para el siguiente análisis no se consideró una velocidad de lanzamiento inferior a los 16,3 [m/s], ya que se presentaron problemas de flujo en la cañería de lanzamiento generando inestabilidad en la trayectoria alcanzada al interior del contenedor. De la misma forma, la velocidad máxima ensayada es de 28,3 [m/s] ya que a velocidades mayores la variación porcentual del llenado alcanzado resulta despreciable.

A continuación se presentan el porcentaje de llenado alcanzado en el contenedor en función de la velocidad y el ángulo de lanzamiento para cada posición de lanzamiento ensayada.

La Figura 6-1 presenta los resultados del lanzamiento de partículas desde la parte alta del contenedor (190 [mm] desde la base) en forma horizontal. Es posible alcanzar porcentajes de llenado entre 92,5% y 99,0% al variar la velocidad desde 16,3 [m/s] a 28,3 [m/s]. Al aumentar la velocidad de lanzamiento el porcentaje de llenado aumenta hasta alcanzar el máximo posible, por lo que velocidades mayores a 28,3 [m/s] mejoran la capacidad de llenado sólo en forma marginal. Al ubicar la cañería en la parte alta del contenedor no es posible inclinar la cañería de lanzamiento. En la Figura 6-2 se aprecia el resultado obtenido para 20,0 [m/s], el cual se considera más que aceptable.

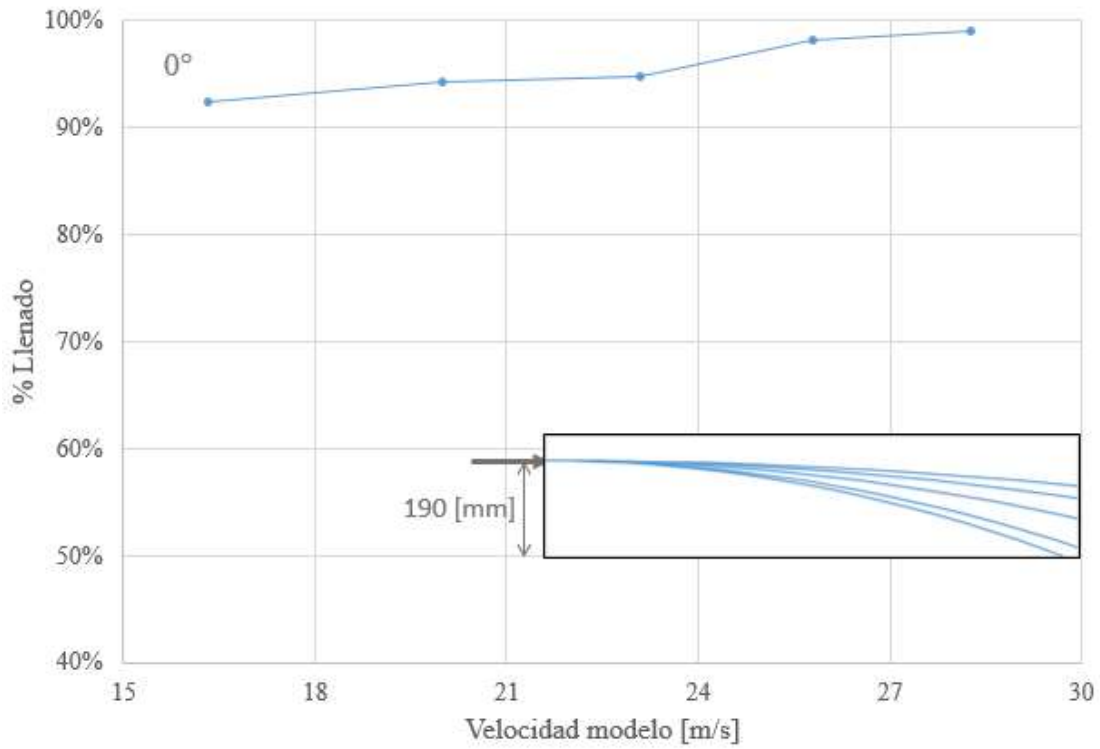


Figura 6-1: Llenado en función de la velocidad de lanzamiento, h=190 [mm] e inclinación de 0°.

Figura 6-2: Llenado de contenedor, h=190 [mm], V_0=20,0 [m/s] e inclinación de 0°.

La Figura 6-3 presenta los resultados del lanzamiento de partículas desde la parte media-alta del contenedor (130 [mm] desde la base). Es posible alcanzar porcentajes de llenado entre 64,5% y 80,2% al variar la velocidad desde 16,6 [m/s] a 25,8 [m/s] como muestra la línea a 0°. Desde esta posición al utilizar una velocidad mayor a 20 [m/s] se alcanza un porcentaje de llenado estable por lo que no resulta significativo aumentar la velocidad más allá de este punto para mejorar la capacidad de llenado. Que el llenado no supere el 80% se explica por la forma en que el material se acomoda al interior del contenedor. En la Figura 6-4 se aprecia que el material no es capaz de ocupar la parte superior del fondo en el contenedor al lanzar las partículas a 20,0 [m/s] desde esta posición con la cañería horizontal.

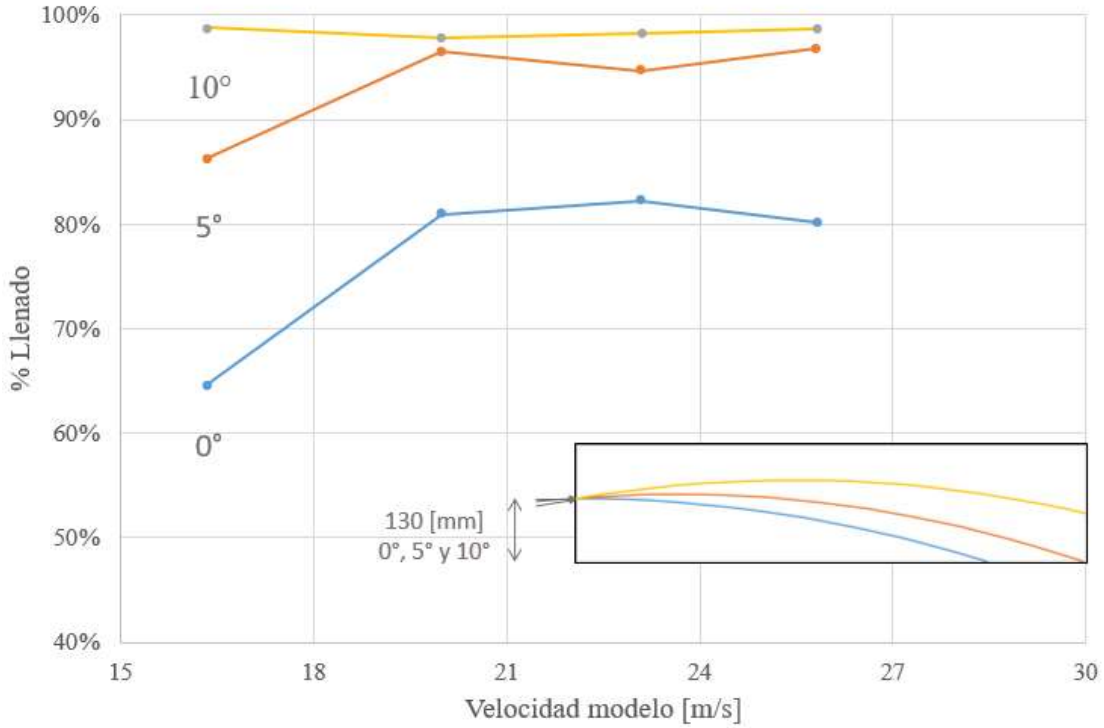


Figura 6-3: Llenado en función de la velocidad de lanzamiento, h=130 [mm] y a tres inclinaciones ensayadas (V_0=16,3 [m/s] en la representación).

Figura 6-4: Llenado de contenedor, h=130 [mm], V_0=20,0 [m/s] e inclinación de 0°.

Si se aplica una inclinación de 5° al lanzamiento se obtiene una mejora en la capacidad de llenado en torno al 17,5% para cada velocidad ensayada alcanzando un valor máximo de llenado de 96,8%. Al igual que para los ensayos con una cañería horizontal, a velocidades sobre los 20 [m/s] se alcanza un llenado prácticamente constante.

Si se aplica una inclinación de 10° al lanzamiento se alcanza un 98,8% de llenado para la velocidad mínima utilizada en los ensayos, 16,3 [m/s], mejorando los resultados obtenidos con una inclinación de 5°. La variación en el porcentaje de llenado producto de aumentar la velocidad en este caso es mínima al estar cerca del llenado máximo.

La Figura 6-5 presenta los resultados del lanzamiento de partículas desde una zona media-baja del contenedor (80 [mm] desde la base). Es posible alcanzar porcentajes de llenado entre 47,3% y 65,8% al variar la velocidad desde 16,3 [m/s] a 25,8 [m/s] como muestra la línea a 0°. Desde esta posición, al contrario que los casos anteriores, el aumentar la velocidad de lanzamiento si mejora el llenado del contenedor, pero es bueno recordar que una mayor velocidad implica un mayor consumo de energía. De manera similar al llenado desde la parte media-alta se puede explicar el bajo porcentaje de llenado alcanzado por que el material no es capaz de ocupar por completo el espacio en el fondo del contenedor. Además, la ubicación de la cañería en la parte media-baja reduce la altura que puede alcanzar el material en las cercanías de la "puerta", como muestra la Figura 6-6.

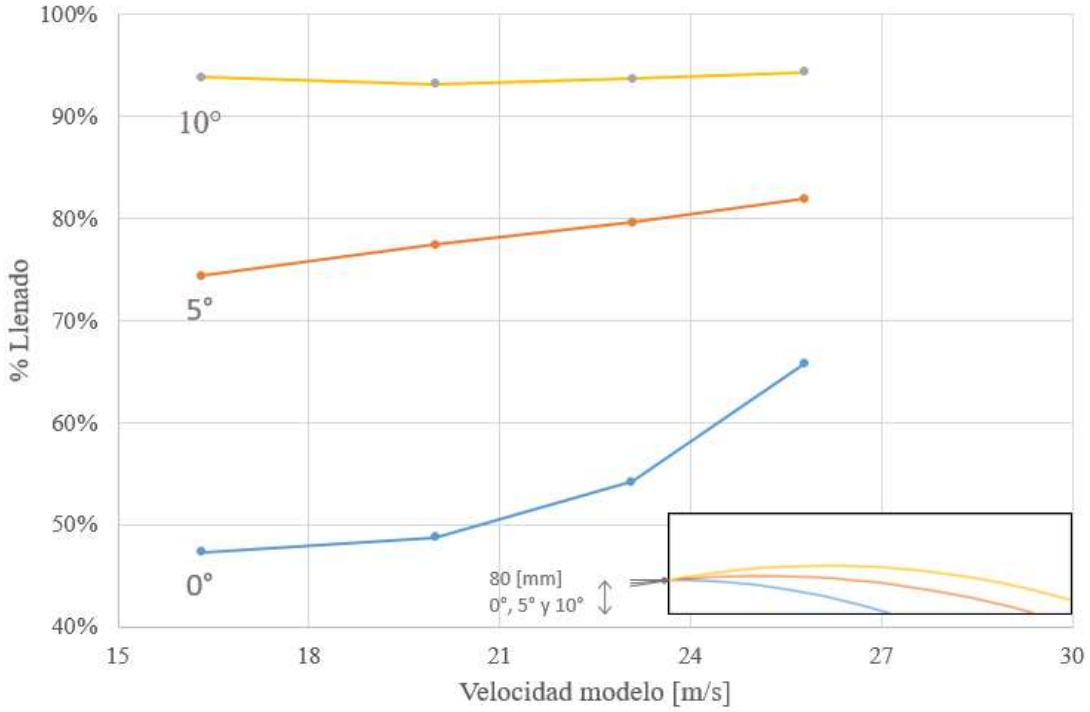


Figura 6-5: Llenado en función de la velocidad de lanzamiento, h=80 [mm] y a tres inclinaciones ensayadas (V_0=16,3 [m/s] en la representación).

Figura 6-6: Llenado de contenedor, h=80 [mm], V_0=25,8 [m/s] e inclinación de 0°.

La baja capacidad de llenado desde esta posición se puede corregir con buenos resultados aplicando un ángulo de inclinación en la cañería de transporte. Para una inclinación de 5°, se obtiene una mejora en la capacidad de llenado para cada velocidad ensayada alcanzando un valor máximo de llenado de 81,9%. En este caso, al igual que para los ensayos con cañería horizontal, si se continúa aumentando la velocidad se aumenta el porcentaje de llenado del contenedor.

Si se aplica una inclinación de 10° al lanzamiento se alcanza un 94,4% de llenado, mejorando los resultados obtenidos con una inclinación de 5°. La variación en el porcentaje de llenado al aumentar la velocidad es marginal por lo que se considera un llenado constante, el espacio que no es capaz de llenarse al interior del contenedor es producto de la ubicación de la cañería en la parte media-baja del mismo.

En general, se puede concluir que aumentar la velocidad de lanzamiento mejora la capacidad de llenado en el contenedor a escala, no obstante resulta más efectivo inclinar la cañería en lugar de aumentar la velocidad. Se encontraron una serie de combinaciones que entregan un porcentaje de llenado superior al 90%, pero como se definió en un principio, la combinación óptima debe utilizar la menor velocidad posible. Para determinar la combinación óptima que maximiza el llenado de un contenedor y minimiza la velocidad de lanzamiento se utiliza el coeficiente mostrado en la Ecuación (6-1).

$$C = \frac{\%Llenado}{Velocidad}\ [\frac{\%}{m/s}] \qquad \textbf{(6-1)}$$

Considerando que el porcentaje de llenado posible se encuentra en un rango de 0% a 100% y la velocidad utilizada en los ensayos se encuentra entre 16,3 [m/s] y 28,3 [m/s], el coeficiente de llenado tiene un valor máximo de 6,1 para el ensayo realizado con la cañería instalada a 130 [mm] desde la base con una inclinación de 10° y una velocidad de lanzamiento

de 16,3 [m/s], esto se considera la combinación óptima de llenado. Este resultado se explica por utilizar la menor velocidad de lanzamiento del rango considerado para los ensayos y alcanzar un 98,8% de llenado en el contenedor.

La Figura 6-7 muestra la trayectoria recorrida por las partículas para el lanzamiento con la combinación óptima, es decir, en una posición de altura media a 130 [mm], velocidad de lanzamiento de 16,3 [m/s] y un ángulo de lanzamiento de 10°. La Figura 6-8 muestra el resultado alcanzado al finalizar el ensayo.

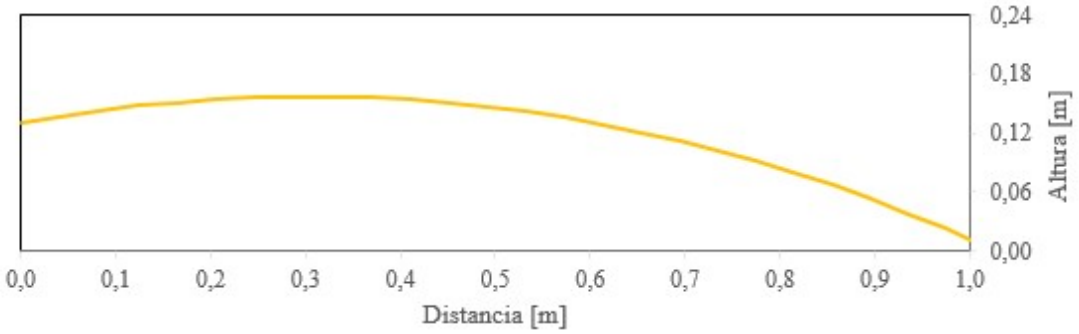


Figura 6-7: Trayectoria de partículas para combinación óptima de parámetros ensayados.

Figura 6-8: Llenado de contenedor a escala para la combinación óptima de parámetros ensayados.

6.2 Escalamiento

Para cada ensayo realizado, se registra la trayectoria de las partículas de manera visual y se relaciona con una trayectoria teórica basada en la ecuación de lanzamiento de proyectil (ecuación (4-6)) y su velocidad. Esto con el fin de determinar si esta ecuación es capaz de predecir la trayectoria dentro del contenedor.

Las observaciones entregan como resultado que las partículas al interior del contenedor sufren una caída mucho más rápido de lo esperado. Esto se produce entre otras razones porque el modelo teórico es en base al lanzamiento de una partícula, por lo que no considera el efecto

que produce una partícula sobre otras. Además, tampoco considera los efectos de la resistencia del aire y la forma de la partícula.

El escalamiento de la velocidad tiene por objetivo encontrar la velocidad en un sistema de tamaño real en que se obtiene la misma trayectoria observada al utilizar la configuración definida como óptima del sistema. Este escalamiento se logra al estudiar la relación existente entre la velocidad utilizada en los ensayos y la velocidad teórica que entrega el modelo de lanzamiento de proyectil para cada trayectoria. La relación entre velocidades se presenta en el Anexo E. Como se mencionó anteriormente, al caer las partículas más rápido de lo esperado obliga a trabajar con velocidades mayores a las indicadas por el modelo teórico.

Por lo tanto, para la configuración óptima del modelo, la cual corresponde a ubicar la cañería en la parte media-alta del contenedor (h = 130 [mm]), con una inclinación de 10° y una velocidad de lanzamiento V_0 = 16,3 [m/s] se encuentra una configuración equivalente al operar un contenedor a escala real con la cañería ubicada a una altura de lanzamiento h = 1,55 [m], con un ángulo de lanzamiento de 10° y una velocidad de lanzamiento V_0 = 34,8 [m/s]. La Figura 6-9 muestra esta equivalencia.

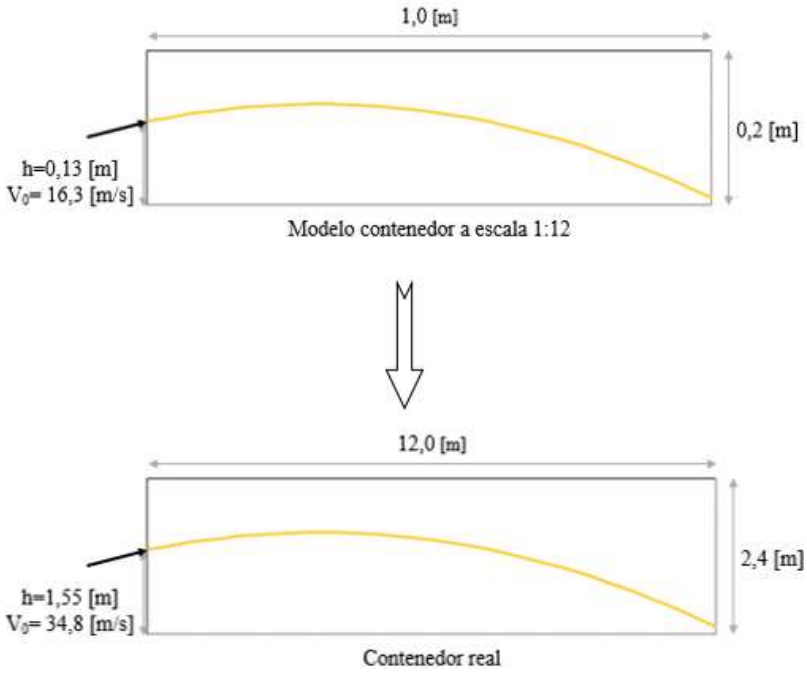


Figura 6-9: Configuración óptima equivalente en sistema a tamaño real, a partir de los resultados obtenidos.

7 DISEÑO DEL SISTEMA

El primer paso a realizar en el diseño de sistemas neumáticos es caracterizar el material que se desea transportar. Las Tablas 5-2 y 5-3 presentan las características del material determinadas de manera experimental.

En base a la densidad aparente de las astillas obtenida experimentalmente, un contenedor ISO de 40' puede almacenar un máximo de 15,0 [tons] ocupando un 100% de su volumen disponible. El tiempo de llenado se define en base a esto, por lo que los cálculos del sistema neumático consideran el llenar un contenedor en una hora.

No fue posible determinar la velocidad mínima de transporte de manera experimental por lo que se utiliza la correlación propuesta por Schade [23] con una densidad del aire a condiciones ambientales, un diámetro de cañería de 0,15 [m] y una relación de carga de 5. Además se aplica un factor de seguridad de 1,2.

$$U_{crit} = 1{,}2 \cdot \sqrt{gD} \cdot \left(\frac{D}{d_p}\right)^{0{,}025} \cdot \left(\frac{\rho_p}{\rho_g}\right)^{0{,}34} \cdot u^{0{,}11} = 18{,}3\ [\frac{m}{s}] \qquad \textbf{(7-1)}$$

Debe considerarse que la velocidad de transporte mínima en sistemas de presión negativa es superior que en sistemas de presión positiva, por lo que se estima que 24 [m/s] como velocidad mínima en cualquier punto de la cañería es aceptable.

El sistema debe ser de fácil traslado, instalación y operación. Otro punto importante es que el sistema pueda ser utilizado no sólo en astilleros o grandes plantas, si no que pueda ser utilizado en operaciones como la que se aprecia en la Figura 1-1, es decir, que la empresa o un particular pueda astillar y cargar para su posterior venta en el mismo lugar de tala de árboles.

El diseño considera como base las turbinas de succión presentadas en los antecedentes previos, porque son compactas, autónomas y pueden ser montadas sobre un carro para ser transportadas. El sistema neumático es del tipo combinado, se utilizan mangueras flexibles tanto para la etapa de presión negativa como para la etapa de presión positiva. Para la alimentación de sólidos se utiliza una válvula rotatoria la cual cumple también la función de sello separando ambas zonas de presión. La Figura 7-1 muestra un esquema del diseño propuesto, el cual debe ser dimensionado para cumplir con los requerimientos de operación.

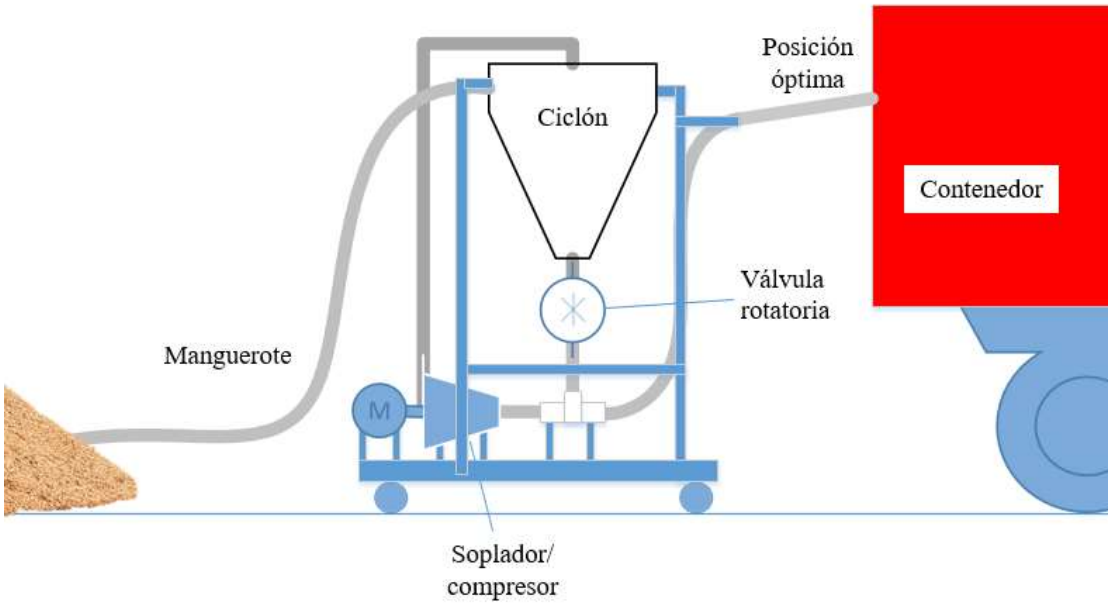


Figura 7-1: Esquema de diseño propuesto.

La Tabla 7-1 resume las principales características del sistema neumático, las cuales sirven de base para el diseño y dimensionamiento que se desarrolla a continuación.

Tabla 7-1: Características necesarias en el sistema neumático a diseñar.

Características de sistema neumático		
Relación de carga	6	[-]
Flujo másico de sólidos	15.000	[kg/hr]
Tipo de sistema	Combinado	
Densidad gas de transporte	1,205	[kg/m^3]
Temperatura de gas	20	[°C]
Elevación sobre el nivel del mar	0	[msnm]
Velocidad mínima de transporte	24	[m/s]
Velocidad mínima de lanzamiento	35	[m/s]
D_{int} manguera	0,150 y 0,168	[m]
Alimentación y sello	Válvula rotatoria	
Separador	Ciclón convencional	

El cálculo del sistema se divide en tres etapas (presión negativa, ciclón, presión positiva) dependientes entre sí. A continuación se detalla el cálculo de cada una de estas etapas. El cálculo se realiza de forma iterativa y los datos de salida de una etapa del sistema son los datos de entrada de la siguiente etapa.

7.1 Dimensionamiento del sistema

7.1.1 Presión Negativa

El cálculo de un sistema de presión negativa se realiza en base a la memoria desarrollada por Vicente Weippert [29]. El algoritmo consiste en una hoja de cálculo de 4 pasos:

1. Definir las características del material a transportar
2. Definir las condiciones de operación
3. Definir la configuración del sistema, calcular la caída de presión, velocidad y densidad en cada tramo del sistema
4. Crear resumen del sistema

Los primeros dos pasos del algoritmo se definieron en las Tablas 5-2 y 7-1 por lo que ahora corresponde definir la configuración del sistema. La Figura 7-2 muestra un esquema numerado de la disposición de las mangueras y la Tabla 7-2 presenta el calculo iterativo y las dimensiones en detalle. La hoja de cálculo utilizada se entrega en el Anexo F.

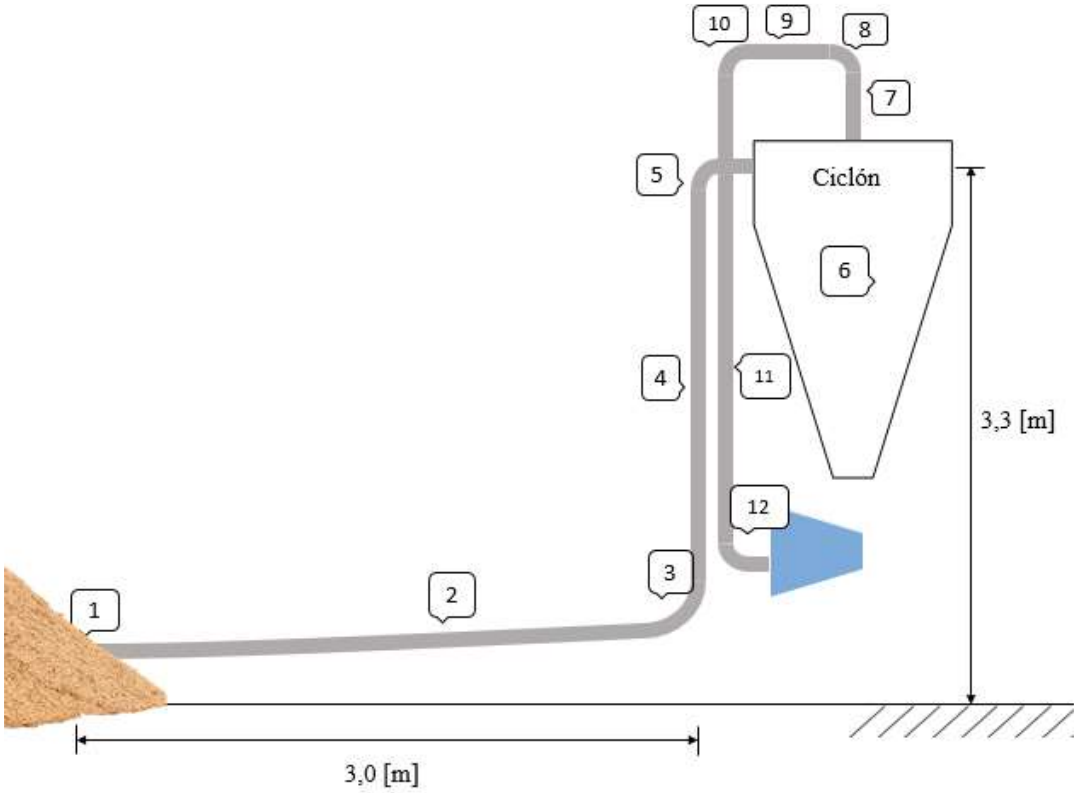


Figura 7-2: Disposición de mangueras y accesorios etapa de presión negativa.

Tabla 7-2: Cálculos iterativos en etapa de presión negativa para un diámetro de 0,168 [m].

Cálculos etapa de presión negativa							
N°	Tipo	Largo [m]	V_{in} [m/s]	$\rho_{g,in}$ [kg/m^3]	V_{out} [m/s]	$\rho_{g,out}$ [kg/m^3]	$\Delta P_{sección}$ [Pa]
1	Entrada	-	24,02	1,205	24,11	1,201	347,68
2	Horizontal	3,0	24,11	1,201	24,88	1,163	3.135,16
3	Codo largo 90°	-	24,88	1,163	25,81	1,122	3.504,25
4	Vertical	2,2	25,81	1,122	26,08	1,110	981,73
5	Codo 90°	-	26,08	1,110	27,76	1,043	5.633,22
6	Ciclón	-	27,76	1,043	28,34	1,026	1.428,00
7	Vertical	0,2	28,34	1,026	28,34	1,026	20,42
8	Codo 90°	-	28,34	1,026	28,34	1,026	2,57
9	Horizontal	0,8	28,34	1,026	28,37	1,025	81,66
10	Codo 90°	-	28,37	1,025	28,37	1,025	2,58
11	Vertical	2,5	28,37	1,025	28,46	1,022	255,18
12	Codo 90°	-	28,46	1,022	28,46	1,022	2,58

Como se espera de un sistema de presión negativa, se genera un vacío en el interior de la manguera reduciendo la densidad del gas de transporte. En estos cálculos se cumple con la restricción de que la velocidad mínima en todos los tramos debe ser mayor a la velocidad mínima de transporte de sólidos, es decir hasta la entrada al ciclón. Luego del ciclón el aire es retirado y no existe transporte de sólidos hasta la alimentación del soplador (N° 7 a 12). La Tabla 7-3 presenta el resultado para etapa de presión negativa.

Tabla 7-3: Resumen de parámetros sistema de presión negativa.

Sistema presión negativa					
$L_{horizontal}$	3,0	[m]	μ	6	[-]
$L_{vertical}$	3,3	[m]	$\rho_{g,mín}$	1,022	[m/s]
D_{int}	168	[mm]	$U_{g,mín}$	24,02	[m/s]
$W_{s,máx}$	15.000	[kg/hr]	ΔP_{total}	15.395	[Pa]
$Q_{g,máx}$	2.260	[m^3/hr]	Potencia	7,7	[kW]
$W_{g,máx}$	2.310	[kg/hr]			

7.1.2 Ciclón

Para el diseño del ciclón que sirve de zona de traspaso de sólidos entre la etapa de presión negativa y la etapa de presión positiva se debe asegurar la captación completa de las partículas de material a una tasa constante. De esta manera se evita la acumulación de material en su interior. La base teórica y la estrategia de diseño están basados en la memoria desarrollada por

Martín Silva Hott [30]. Al igual que para el cálculo de la etapa de presión negativa se cuenta con una planilla de cálculo que de manera iterativa entrega el resultado.

Los datos de entrada para el ciclón aparecen en la Tabla 7-4. Aquí se deben incorporar los datos de salida de la etapa de presión positiva. Como último dato requerido por la planilla se utilizan los datos de la Tabla 5-3 correspondiente a la granulometría de las astillas.

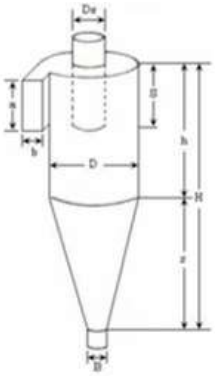
Tabla 7-4: Parámetros de entrada para diseño de ciclón.

Datos de entrada para diseño de ciclón			
Parámetros	Simb.	Valor	Unidad
Caudal de aire	Q	0,628	m^3/s
Temperatura	T	25	°C
Densidad gas	ρ	1,024	kg/m^3
Densidad sólidos	ρ_p	920	kg/m^3
Viscosidad aire	μ	1,8,E-05	kg/ms
Flujo de sólidos	W_s	4,17	kg/s
Caída presión máxima admitida	$P_{máx}$	2.488	Pa
Diámetro manguera	D	0,168	m
Concentración de sólidos	C	6.545	g/m^3
Velocidad de entrada	Vi	27,8	m/s
Relación de carga	μ	6	-

Según el tipo de ciclón que se desee diseñar, las dimensiones están dadas en relación al diámetro de la sección cilíndrica. Para esta aplicación se selecciona un ciclón convencional del tipo Lapple al ser el más básico y suficiente para capturar partículas con el diámetro de las astillas [30]. Luego de realizar los cálculos se obtienen las dimensiones geométricas, la caída de presión y la eficiencia total de remoción del ciclón. Las dimensiones finales del ciclón se presentan en la Tabla 7-5. La hoja de cálculo utilizada se entrega en el Anexo F.

Tabla 7-5: Dimensiones geométricas de ciclón diseñado [30].

Dim geométricas	Simb	Valor	Unidad
Diámetro cuerpo	D	0,70	m
Altura entrada	a	0,33	m
Ancho entrada	b	0,15	m
Altura salida	S	0,43	m
Diámetro salida	Ds	0,35	m
Altura cilindro	h	1,00	m
Altura cono	z	0,80	m
Altura total	H	1,80	m
D salida solidos	B	0,30	m
diámetro de corte	dpc	6,06	um



La eficiencia de remoción del ciclón diseñado es de 100% y tiene asociada una caída de presión de 1.448 [Pa]. La caída de presión calculada es ingresada nuevamente a la planilla correspondiente a la etapa de presión negativa hasta que converge al valor antes mencionado.

7.1.3 Presión positiva

El cálculo de la etapa de presión positiva sigue el mismo algoritmo utilizado para el cálculo de la etapa de presión negativa [29]. Existe una diferencia en esta etapa con respecto a la velocidad, ya que ahora el valor de velocidad requerido es la velocidad mínima de lanzamiento para la configuración óptima (35 [m/s]). Para aumentar la velocidad en esta etapa sin modificar el caudal de aire utilizado se reduce el diámetro interior de la manguera a 0,15 [m]. El sistema debe ser capaz de alcanzar en su salida esta velocidad y mantenerse en todos los tramos por sobre la velocidad mínima de transporte (24 [m/s]).

Nuevamente las características del material y las condiciones de operación están especificados por las Tablas 5-2 y 7-1, por lo que se continúa el algoritmo desde el tercer paso. La Figura 7-3 muestra un esquema numerado de la disposición de las mangueras y la Tabla 7-6 presenta el calculo iterativo y las dimensiones en detalle. La hoja de cálculo utilizada se entrega en el Anexo F.

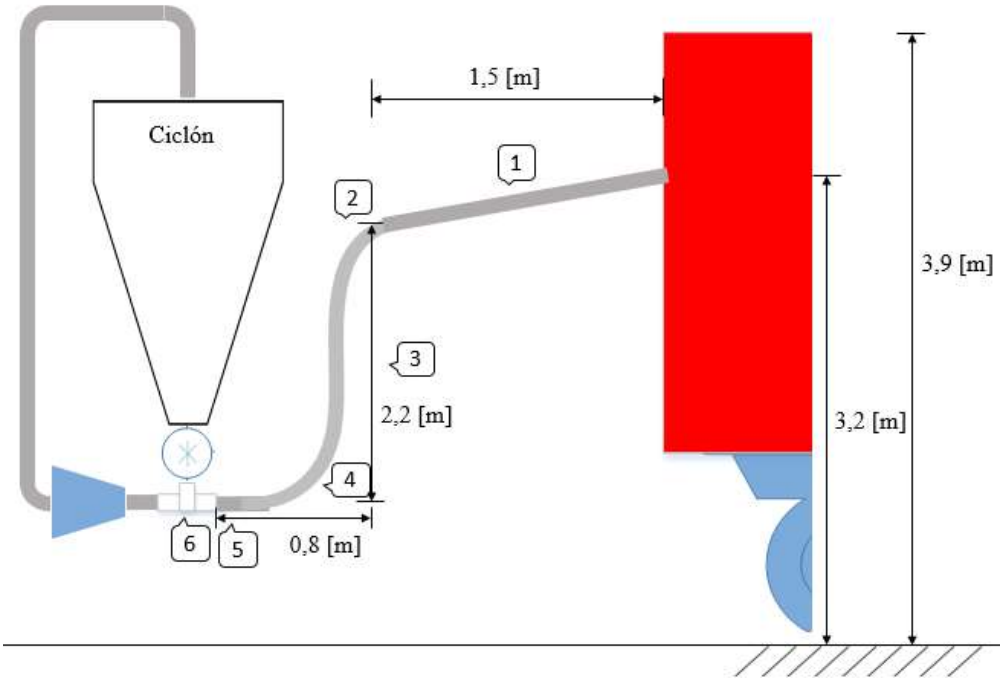


Figura 7-3: Disposición de mangueras y accesorios etapa de presión positiva.

Tabla 7-6: Cálculos iterativos en etapa de presión positiva para un diámetro de 0,15 [m].

Cálculos etapa de presión positiva							
N°	Tipo	Largo [m]	V_{out} [m/s]	$\rho_{g,out}$ [kg/m^3]	V_{in} [m/s]	$\rho_{g,in}$ [kg/m^3]	$\Delta P_{sección}$ [Pa]
1	Horizontal	1,5	35,52	1,205	35,15	1,218	1.096,97
2	Curva	0,3	35,15	1,218	34,26	1,249	2.667,14
3	Vertical	1,9	34,26	1,249	33,74	1,269	1.624,84
4	Curva	0,3	33,74	1,269	32,96	1,299	2.510,04
5	Horizontal	0,6	32,96	1,299	31,67	1,352	4.460,17
6	Alimentación		31,67	1,352	31,48	1,360	677,89

En este caso, al ser un sistema de presión positiva la densidad del gas de transporte es mayor en la zona de alimentación y se descomprime en su recorrido hasta la salida. La velocidad al interior de la mangueras se mantiene por sobre la velocidad mínima de transporte y en la salida sobrepasa la velocidad de lanzamiento requerida. La Tabla 7-7 presenta el resultado para etapa de presión positiva.

Tabla 7-7: Resumen de parámetros sistema de presión positiva.

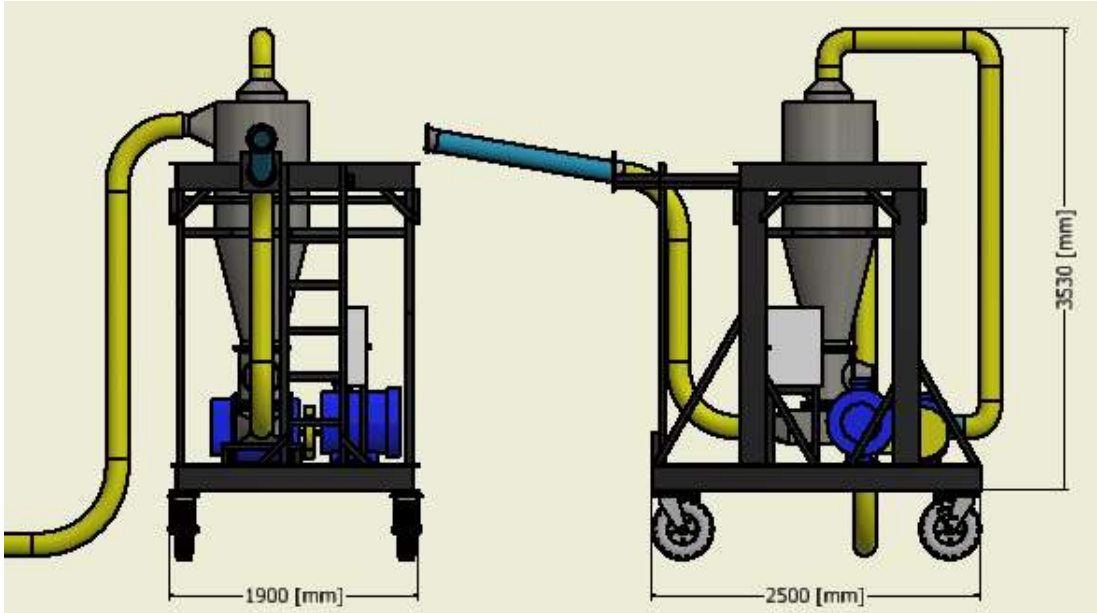
Sistema presión positiva					
$L_{horizontal}$	2,2	[m]	μ	6	[-]
$L_{vertical}$	2,5	[m]	$\rho_{g,mín}$	1,205	[m/s]
D_{int}	150	[mm]	$U_{g,mín}$	31,48	[m/s]
$W_{s,máx}$	15.000	[kg/hr]	ΔP_{total}	13.037	[Pa]
$Q_{g,máx}$	2.260	[m^3/hr]	Potencia	7,41	[kW]
$W_{g,máx}$	3.071	[kg/hr]			

7.2 Componentes

A continuación se describen los equipos y estructuras requeridas para la implementación del sistema de llenado de contenedores mediante un sistema neumático, basado en el esquema propuesto en la Figura 7-1 y los resultados obtenidos en el dimensionamiento del sistema presentados en las Tablas 7-1, 7-3, 7-5 y 7-7. En la Figura 7-4 se presenta el sistema diseñado y en el Anexo H se entregan los planos con sus dimensiones principales.

En términos generales el sistema consiste en un soplador, un ciclón, una válvula rotatoria que separa ambas zonas de presión y una estructura acorde que permita soportar los equipos. Las dimensiones principales del sistema son 2,5 [m] de largo, 1,9 [m] de ancho y 3,53 [m] de

alto sin considerar las ruedas a utilizar. El peso del sistema en base a los equipos principales y el material utilizado para la estructura y ciclón se estima en 750 [kg].



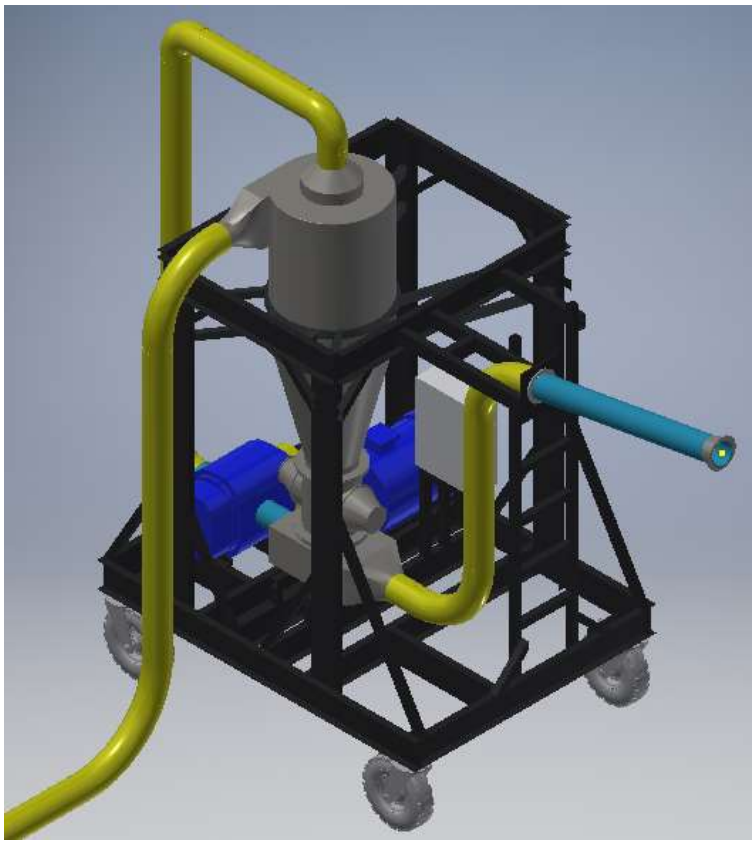


Figura 7-4: Vistas principales y 3D del sistema diseñado para el llenado de contenedores.

7.2.1 Soplador

El equipo principal del sistema debe ser capaz de cumplir con los requerimientos tanto de la etapa de presión negativa como de presión positiva. Las condiciones que debe cumplir el soplador seleccionado son un caudal mínimo de aire de 2260 [m^3/hr] y soportar una caída de presión máxima de 155 [mbar] en la sección negativa y 131 [mbar] en la sección positiva. Además, es necesario considerar un motor acorde a los requerimientos del soplador.

En base a los sopladores disponibles en el mercado se selecciona uno de la marca Howden Roots modelo 615 URAI Roots. Este soplador entrega un caudal de aire máximo de 2670 [m^3/hr], una caída de presión positiva de 480 [mbar] y 400 [mbar] al operar en vacío. La selección de este soplador le entrega una holgura al sistema que permite futuras modificaciones o sobrecargas debido a una mala operación. En cuanto al motor se selecciona un motor trifásico 4 polos de 30 [HP] en base a las curvas de rendimiento del soplador para las condiciones de operación requeridas.

7.2.2 Ciclón

Las características y dimensiones del ciclón para la operación del sistema a implementar se encuentran descritas en la sección 7.1.2. Este componente es relativamente fácil de fabricar en una maestranza. Para la fabricación de este, se considera como material acero ASTM A36 con un espesor de 4 [mm].

7.2.3 Válvula rotatoria

La válvula rotatoria en el sistema cumple el rol de sello y separación de ambas secciones con distinta presión. Además, se encarga de alimentar con material la etapa de presión positiva. Esta válvula debe ser capaz de entregar una capacidad de 15.000 [kg/hr] de material para cumplir las condiciones de diseño. Debe ser de paso vertical directo (ver Figura 7-1) e incorporar un motor de accionamiento. Las condiciones de operación consideradas para esta válvula son un material poco abrasivo, operación a baja temperatura y discontinua.

Se selecciona la válvula ofrecida por el proveedor GUANGZHOU JIABAO MACHINERY CO. modelo TGFWZB-180L a través del sitio Alibaba. Esta válvula es de paso vertical directo construida en acero al carbono, las dimensiones para la entrada y salida son de

300 x 300 [mm]. Su capacidad de desplazamiento permite alcanzar la alimentación de solidos requerida por el sistema a bajas revoluciones. Esta válvula requiere la alimentación de un motor de 4 [kW] entregado por el proveedor.

7.2.4 Estructura del sistema

La estructura soportante del sistema corresponde a un carro con ruedas que permite ser desplazado con facilidad considerando el peso de los equipos involucrados, además se espera una operación en terrenos disparejos o en el mismo aserradero. Al igual que para el ciclón, la fabricación de la estructura se debe realizar en una maestranza. La Figura 7-5 presenta el diseño de la estructura, la ubicación específica de cada elemento de fijación en la estructura depende de los componentes que finalmente se utilicen, pero utilizando dimensiones de referencia se puede entregar un diseño cercano al final.

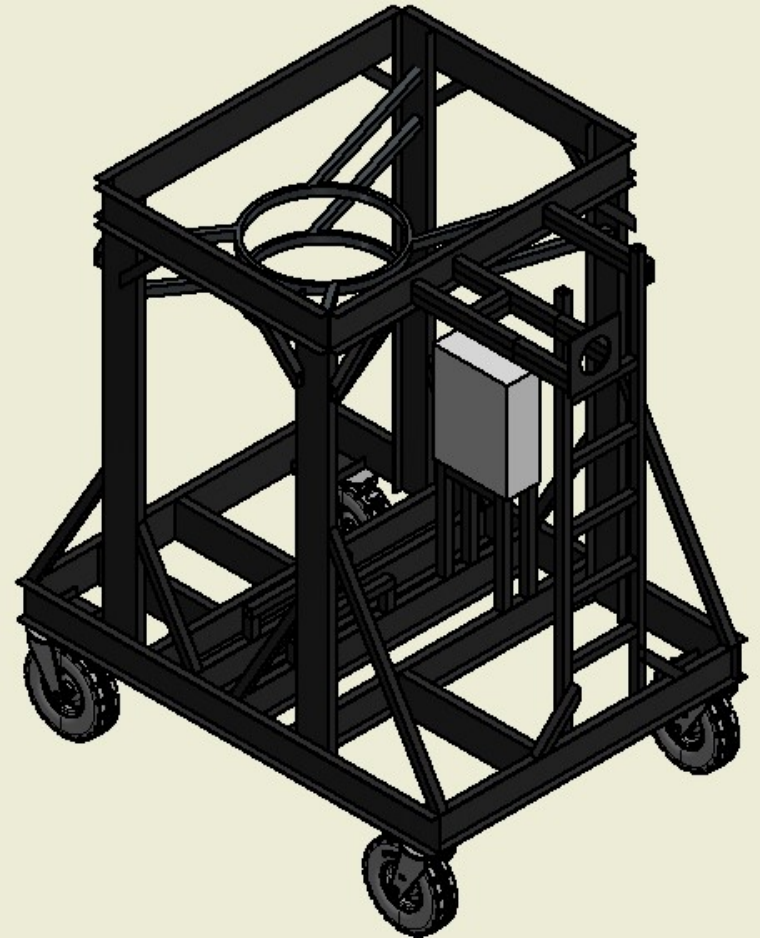


Figura 7-5: Diseño de estructura para el sistema.

El diseño considera soportes para el motor, el soplador y la zona de alimentación de sólidos, un soporte para la conexión del tramo final de cañería. Al costado de la conexión entre la manguera y el tramo final de cañería se instala una escalera que permita a un operador realizar esta operación. Finalmente la carga del ciclón debe sostenerse en la estructura, por lo que mediante un anillo de acero se debe soldar a los verticales ubicados en la parte media como se aprecia en la Figura 7-5 . Los perfiles utilizados en el diseño son de acero al carbono tipo canal doblado de 200 x 50 x 4 [mm] y perfiles cuadrados de 50 x 50 x 4 [mm]. El plano de este diseño se adjunta en el Anexo H.

7.2.5 Cañerías y mangueras

Para ambas etapas de presión se utiliza una manguera industrial reforzada con espirales, ya que entregan una mayor flexibilidad para definir el punto de alimentación del material y son mucho más livianas que las cañerías convencionales. Para la etapa de presión negativa se utiliza una manguera flexible con un diámetro interior de 168 [mm]. Por otra parte, para la etapa de presión positiva se utiliza una manguera de diámetro interior 150 [mm], la reducción en diámetro permite aumentar la velocidad y alcanzar la velocidad de lanzamiento requerida.

Para el último tramo de la etapa de presión positiva, la sección inclinada, se considera que su instalación debe realizarse al momento de iniciar el llenado del contenedor. En base a esto, se selecciona una cañería rígida de HDPE con una diámetro interno de 150 [mm] y un peso de 4,55 [kg/m] lo que facilita su instalación.

7.2.6 “Puerta” de contenedor

Para evitar modificaciones a la estructura de los contenedores ISO y poder llenarlos lo máximo posible se necesita ubicar una segunda “puerta”, similar a la utilizada en el modelo a escala (ver Figura 5-3). Esta se fabrica en base a tablero terciado de 11[mm] de espesor con dimensiones de 2.350 x 2.392 [mm] y se instala utilizando una de las puertas del contenedor como apoyo. A 1,6 [m] de la base del contenedor se debe ubicar un agujero de 160 [mm] donde se fijará la cañería para el llenado y en la parte superior de extremo izquierdo debe realizarse un corte que permita la salida libre del aire.

Una vez completado el llenado, el contenedor se cierra y la “puerta” queda al interior. Se requiere una “puerta” para cada contenedor llenado, ya que esta se envía junto al contenedor. La Figura 7-6 muestra la ubicación de la “puerta” al operar el sistema.

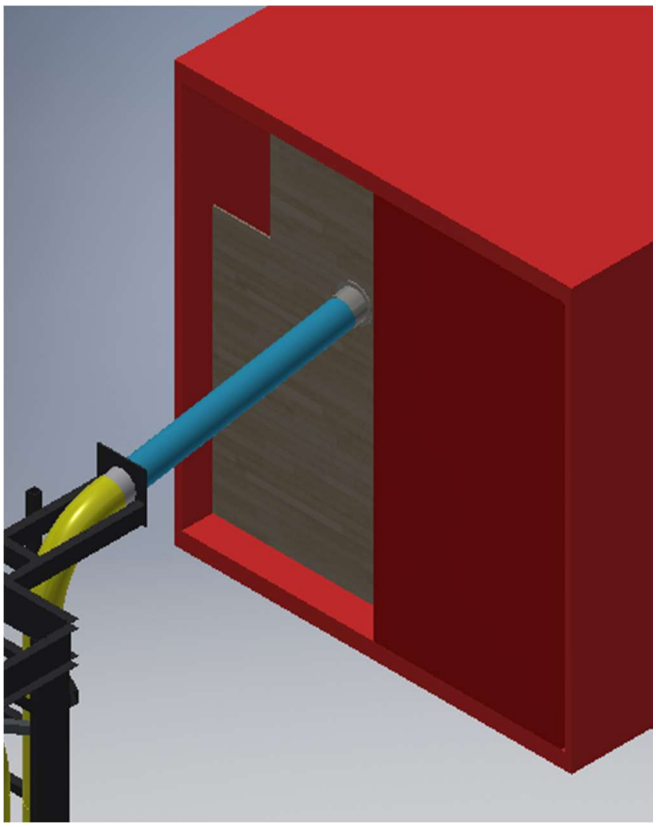


Figura 7-6: Ubicación de “puerta” de contenedor al operar el sistema.

7.3 Presupuesto

La Tabla 7-8 resume las cotizaciones realizadas para los componentes principales descritos en la sección 7.2, por lo que el presupuesto entregado se realiza en base a los costos directos del sistema. En el caso de proveedores que entregan sus cotizaciones en dólares, se considera el valor dólar oficial al día 15/03/2018 ($601) [31].

Para las piezas a fabricar en maestranza se estima su costo según los materiales requeridos más un recargo de un 20% por concepto de mano de obra y un 5% para costos asociados a soldadura y uniones. Desde los modelos realizados en Autodesk Inventor se obtiene el área, volumen y finalmente peso requerido para el cálculo de costos. A los costos asociados al ciclón se incluyen la fabricación de conexiones y la zona de recepción bajo la válvula rotatoria.

Dentro de los costos requeridos para la implementación del sistema que no se consideran en este presupuesto se encuentran: ruedas de estructura, tablero eléctrico, conexiones eléctricas, flange de unión para la "puerta" del contenedor, pintura, traslado a ubicación final y otros similares. No obstante, se contempla un 5% extra sobre el costo para imprevistos. Los respaldos de los valores presentados en esta tabla se entregan en el Anexo G.

Tabla 7-8: Presupuesto para la implementación del sistema diseñado.

Ítem	Precio unitario [$]	Cantidad [-]	Precio Total [$]
Soplador	**-**	**-**	**4.389.001**
Urai Roots 615 1583 [cfm]	3.570.541	1	3.570.541
Traslado	-	-	276.460
Motor trifásico 30 [HP]	542.000	1	542.000
Ciclón	**-**	**-**	**390.360**
Plancha ASTM A36 2440x12000x4 [mm]	589 (kilo)	530	312.170
Soldadura y uniones	-	-	15.638
Mano de obra	-	-	62.552
Rotatoria	**-**	**-**	**3.301.778**
Válvula TGFWZB-180L, motor incluido	3.064.499	1	3.064.499
Traslado	-	-	237.279
Estructura	**-**	**-**	**579.238**
Perfil canal doblado 200x50x4 [mm] (6 metros)	41.990	6	251.940
Perfil cuadrado 50x50x4 [mm] (6 metros)	42.290	5	211.450
Soldadura y uniones	-	-	23.170
Mano de obra	-	-	92.678
Cañerías y mangueras	**-**	**-**	**577.119**
Manguera Líquiflex liviana 6"	31.822	4	127.288
Manguera Líquiflex liviana 6 1/2"	38.681	10	386.810
Abrazaderas media presión 143-216 [mm] (10 unidades)	1.382	2	2.764
Cañería HDPE PN10 6" (6 metros)	60.257	1	60.257
Subtotal	**-**	**-**	**9.238.084**
Imprevistos	-	-	461.904
Costo directo	**-**	**-**	**9.699.398**

7.4 Ventajas comparativas del sistema

A continuación se comparan las características del sistema propuesto con los antecedentes previos presentados al inicio de este documento.

Para el transporte del material, el sistema permite la carga en el lugar mismo de su producción (aserradero o central de astillado) y al utilizar contenedores ISO se pueden entregar directamente para su carga en el puerto correspondiente. Esto elimina de la cadena de transporte la carga y descarga del material en pilas de acopio en el puerto. Por otra parte, esta forma de transporte de astillas es una alternativa para aquellos productores que requieren realizar envíos en cantidades pequeñas, bajo las 35.000-50.000 [tons] requeridas para un envío en buques graneleros. Este transporte de material también resulta ser una excelente alternativa para recorridos internos propios de la empresa o ventas al interior del país.

Para el llenado de contenedores, utilizar el sistema neumático propuesto tiene ventajas claras en cuanto a eficiencia y sencillez al ser comparado con el llenado de contenedores mediante cargadores frontales, llenado manual por parte de operadores o la utilización de sacos para poder apilar el material al interior del contenedor.

Al comparar el sistema con las alternativas disponibles en el mercado, es necesario resaltar que las especificaciones entregadas por proveedores en sus catálogos con respecto a capacidades, tiempos de llenado y otros son generalmente en base a otros materiales como maíz u otros de tamaño de partícula pequeños en comparación a las astillas. Además, los sistemas presentados en la sección 3 en su mayoría no entregan la opción de operar en el mismo lugar de producción de astillas ya que requieren una alimentación desde un silo o la instalación de sistemas de cañerías. La flexibilidad que entrega al sistema al ser móvil es una de las principales ventajas comparativas del sistema propuesto.

La Tabla 7-9 muestra una comparación de especificaciones entre el diseño propuesto y dos alternativas que cumplen un rol similar y permiten operar con alimentación desde una pila de material en el lugar mismo de producción. Además, según el precio obtenido al cotizar estos sistemas se puede ver que el presupuesto presentado en la Tabla 7-8 se encuentra en un rango aceptable, aunque hay que recordar que sólo se consideraron costos directos en este presupuesto. En el Anexo G se adjunta la información y cotización de estos sistemas.

Tabla 7-9: Comparación de sistema propuesto con alternativas del mercado.

Especificaciones	Sistema propuesto	Turbina de succión Kongskilde (Figura 3-4)	Transportador Zhengzhou QH30 (Figura 3-5)
Capacidad máxima [tons/hr]	15 (astillas)	14 (maíz)	15 (astillas)
Distancia máxima de succión [m]	3,5	7,5	10
Distancia máxima de descarga [m]	2	7,5	10
Operación	Discontinua	Discontinua	Discontinua
Otros materiales	No	Si	Si
Diámetro cañería [mm]	168/150	160	150
Flujo de aire [m^3/hr]	2.260	1.800	1.800
Consumo [kW]	21	23,1	47,2
Peso [kg]	750 (aprox.)	477	2.500
Dimensiones totales [m]	2,5 x 1,9x 3,5	2,1 x 1,1 x 1,6	3,6 x 1,6 x 2,2
Precio [$]	9.700.000	14.293.000 (CIF)	8.110.000 (FOB)
Procedencia	-	Dinamarca	China

Al comparar las dimensiones y el peso entregado por los proveedores destaca la turbina de succión por su menor tamaño y peso, no obstante, se espera que su capacidad máxima se vea reducida al trabajar con astillas de madera. En un principio el sistema se diseñó para trabajar con las distancias máximas que aparecen en la Tabla 7-9, las cuales son menores al compararlas con las alternativas, pero la selección del conjunto soplador y válvula rotatoria tienen una holgura en cuanto a capacidad que permiten aumentar las distancias máximas realizando los cálculos pertinentes.

El sistema diseñado está pensado para llenar el contenedor mediante el lanzamiento del material desde la puerta, mientras que los sistemas de Kongskilde y Zhengzhou están pensados para transportar materia de un punto a otro y se suelen utilizar con contenedores adaptados o con una apertura superior (Open top) [26]. Estos últimos no son idóneos para utilizarse en la exportación, comparados con el contenedor ISO tipo “SD” que puede ser utilizado nuevamente en destino por otras empresas y para otros usos.

8 CONCLUSIONES

El objetivo principal de este trabajo fue desarrollar una solución que permita el llenado de contenedores ISO de 40” mediante un sistema neumático de manera simple y efectiva. Para alcanzar este objetivo fue necesaria la recopilación de información teórica y técnica que permita comprender los fenómenos físicos involucrados y los parámetros necesarios para el diseño de sistemas neumáticos.

Se determinó que los parámetros más relevantes en el llenado de contenedores ISO mediante un sistema neumático corresponden a la velocidad de lanzamiento, el ángulo de lanzamiento y la altura en que se instala la cañería con respecto a la base del contenedor. En cuanto al sistema neumático a utilizar es importante considerar la relación $D_{int}/d_{p,máx} > 5$ para la selección de cañerías o mangueras.

Para el diseño de sistemas neumáticos es fundamental la realización de ensayos de laboratorio. Para esto se diseñó e implementó un sistema de transporte neumático en una escala de 1:12 con respecto a un contenedor real lo que permitió simular el llenado de un contenedor. El sistema diseñado consiste en un silo de alimentación con una válvula de guillotina y placa orificio para regular la alimentación. Para la línea de llenado se utilizó una cañería de acrílico transparente con un diámetro de ½”, el contenedor a escala se construyó en madera y se utilizó una pared lateral de acrílico que permitió grabar y tomar fotografías de los ensayos. Los ensayos realizados consistieron en llenar el contenedor variando la combinación de altura, ángulo y velocidad con tal de obtener una base de datos suficiente para determinar la configuración que entrega el mayor porcentaje de llenado.

La operación de este sistema fue concluida de manera exitosa y se pudo estudiar la influencia de los parámetros relevantes antes definidos en el llenado del contenedor. Se concluye en base a los datos obtenidos y la observación visual realizada que la configuración optima en el llenado del contenedor a escala corresponde al ubicar la cañería en la parte media-alta del contenedor.

Para poder realizar un diseño en tamaño real del sistema, fue necesario encontrar una equivalencia entre la configuración óptima en el modelo a escala y el modelo en tamaño real. Esta equivalencia se obtuvo mediante correlaciones que incorporan la teoría de lanzamiento de proyectil y las observaciones de trayectorias obtenidas al realizar los ensayos. Finalmente, la

configuración óptima en el diseño a escala real corresponde a llenar el contenedor desde la parte media-alta del contenedor (1,55 [m] desde la base), con una inclinación de 10° y una velocidad de 34,8 [m/s].

El diseño del sistema de llenado corresponde a un sistema neumático combinado, con una relación de carga de 6 [-], una capacidad de 15 [tons/hr] que permite llenar el contenedor en una hora de operación alcanzando un llenado cercano al 100%, una velocidad mínima de transporte de 24 [m/s] y velocidad de lanzamiento de 35 [m/s].

El costo directo del sistema considera el valor de los equipos principales, materiales de construcción para la estructura y el silo, mangueras flexibles y un porcentaje adicional para cubrir imprevistos. Los costos directos estimados para la implementación de este sistema son de $9.700.000 considerando un precio del dólar de $601 (15/03/18). Si bien sólo se consideraron los costos directos, se considera aceptable al compararlo con las cotizaciones obtenidas para otros sistemas móviles.

Las ventajas comparativas de este sistema con respecto a otros similares son principalmente la posibilidad de operar en el mismo lugar de astillado gracias a ser un sistema móvil que solamente requiere una conexión eléctrica.

Finalmente, destacar este sistema como una alternativa que permita simplificar las operaciones de llenado y transporte de astillas de madera. En cuanto a la exportación de estas, por economías de escala no es posible comparar la exportación a través de contenedores con la exportación utilizando buques graneleros por su gran diferencia de capacidades (15 [tons] por contenedor versus 35.000 [tons] por buque), no obstante, la utilización de los contenedores ISO entrega la oportunidad de realizar exportaciones que requieran cantidades menores de astillas y la entrada al negocio de proveedores cuya capacidad de producción es lejana a la requerida para llenar un buque granelero.

9 RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar los ensayos de laboratorio presentados a una mayor escala que la utilizada en este trabajo. El utilizar un diámetro de cañería mayor y un soplador con mayor capacidad permite realizar los ensayos para determinar velocidad, altura y ángulo de lanzamiento de manera directa con las astillas de madera a utilizar en la operación real. Además, el tener un largo de contenedor a escala mayor permite estudiar de mejor manera la trayectoria real que se obtiene al interior. Se recomienda a los interesados utilizar este trabajo sólo como una guía o metodología para alcanzar un diseño óptimo que cumpla con sus requerimientos.

Los cálculos asociados al diseño del sistema consideran un tamaño máximo de astillas de 1", el cual incide directamente en el diámetro de cañería seleccionado que debe ser al menos 5 veces el tamaño máximo de partícula.

En el caso de que se desee buscar o comparar con alternativas en el mercado, es importante considerar la velocidad de lanzamiento que se puede alcanzar, la cual varía de acuerdo a la configuración de los sistemas y debe alcanzar un valor de al menos 35 [m/s] en el punto de lanzamiento que permita replicar la trayectoria óptima presentada.

En cuanto a futuros trabajos, existe una cantidad reducida de información disponible en la literatura para el transporte neumático de materiales con un tamaño de partícula similar a las astillas de madera, por lo que las correlaciones existentes tienen un limitado uso al enfrentarse a un problema de este tipo. Se recomienda estudiar el comportamiento y las velocidades de transporte requeridas para este tipo de partículas mediante ensayos de laboratorio en futuras investigaciones. La incorporación de esta información a la ya disponible será de gran ayuda al momento de diseñar sistemas de transporte neumático.

10 REFERENCIAS

[1] **Google imágenes.** Busqueda: Eucalyptus chips and wood chipper. [En línea] [Citado el: 17 de Diciembre de 2017.]

[2] **INFOR.** *La industria de las astillas.* Santiago : s.n., 2015.

[3] **INFOR.** Directorio de la industria forestal chilena 2017. *Instituto Forestal.* [En línea] 2017. [Citado el: 07 de 01 de 2018.] http://wef.infor.cl/publicaciones/directorio/2017/Directorio2017.pdf.

[4] **Lignum.** Lignum: Bosque, madera y tecnología. *Puerto Coronel inicia atención de naves graneleras degran volumen.* [En línea] 23 de Septiembre de 2016. http://www.lignum.cl/2016/09/23/puerto-coronel-inicia-atencion-naves-graneleras-gran-volumen/.

[5] **INFOR.** *Exportaciones forestales chilenas.* Santiago : s.n., 2017.

[6] **INFOR.** *Mercado Forestal Boletín estadístico N°70.* Santiago : s.n., 2017.

[7] **Google Imágenes.** Busqueda: Puerto de coronel astillas. [En línea] [Citado el: 17 de Diciembre de 2017.]

[8] **Google imágenes.** Busqueda: Contedores buques y carga de contenedores. [En línea] [Citado el: 17 de Diciembre de 2017.]

[9] **FAO.** Las astillas de madera: su producción, manipulación y transporte. *Food and Agriculture Organization of the United Nations.* [En línea] 1978. http://www.fao.org/docrep/016/ae227s/ae227s00.pdf.

[10] **SEREMI del Medio Ambiente Valparaíso.** Guía de buenas prácticas en el almacenamiento, transporte y manipulación de graneles sólidos en instalaciones industriales. *Ministerio del Medio Ambiente.* [En línea] Agosto de 2016. http://portal.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2016/07/GUIA-2-Valparaiso-web.pdf.

[11] **BulkCarrierGuide.** Bulk Carrier Guide. *Types of Ship.* [En línea] 2010. http://bulkcarrierguide.com/types-of-ship.html.

[12] **Schenckprocess.** FulFiller® Container Loading System. *Schenckprocess.* [En línea] 2015. http://www.schenckprocess.com/data/en/files/203/bvp9001gb.pdf.

[13] **SiloadmaxX.** *Sistema SiloadmaxX.* [En línea] 2013. http://www.siloadmaxx.com/downloads.html?file=tl_files/siloadmaxx/downloads/Englisch/Siloadmaxx-CQF_2014-GB.pdf.

[14] **Bulkflow.** Pneumatic Loader. *Bulkflow.* [En línea] http://es.bulk-flow.com/bulkflow-product/pneumatic-loader/.

[15] **Kongskilde.** Kongskilde Industries. *Pneumatic Grain Conveying.* [En línea] [Citado el: 24 de Noviembre de 2017.] http://www.kongskilde-industries.com/us/es-ES/Grain/Grain/Pneumatic-Grain-Conveying.

[16] **Alibaba.** Alibaba. *Grain Pneumatic vacuum Conveyor* . [En línea] [Citado el: 24 de Noviembre de 2017.] https://www.alibaba.com/product-detail/grain-Pneumatic-vacuum-Conveyor-for-loading_60186551295.html.

[17] **Cabrejos M, Francisco.** Propiedades de fluidez de los materiales sólidos a granel. *I Congreso de Metalurgia Internacional.* Arequipa, Arequipa, Perú : s.n., 5 de Noviembre de 2001.

[18] **Cabrejos M, Francisco.** Velocidad mínima de transporte en sistemas de transporte neumático en fase diluida. *49a Convención del Instituto de Ingenieros en minas de Chile.* 1998. págs. 49-64.

[19] **Cabrejos M, Francisco.** *Transporte Neumático.* Valparaiso : USM, 2013.

[20] **Klinzing et al.** An Overview of Pneumatic Conveying Systems and Performance. [aut. libro] G. E. Klinzing, y otros. *Pneumatic Conveying of Solids: A Theoretical and Practical Approach.* s.l. : Springer, 2010, págs. 6-15.

[21] **Cabrejos M, Francisco.** Como seleccionar el sistema de transporte neumático más adecuado para su material y aplicación. *49a Convención del Instituto de Ingenieros en minas de Chile.* 1998. págs. 247-254.

[22] **Mills, David.** Introduction to pneumatic conveying and the guide. *Pneumatic Conveying Design Guide.* s.l. : Elsevier Butterworth-Heinemann, 2004, pág. 5.

[23] **Schade, B.** Zum Übergang Sprung-Strähnenförderung bei der horizontalen pneumatischen Feststofförderung. PhD diss., Uni Karlsruhe. 1987.

[24] **Sanabria C, Frank y Zuriarraín Sosa, Ángel.** *Ánalisis de ecuaciones de proyectiles para el perfeccionamiento de lanzamientos en la preparación para la defensa.* Matanzas : s.n., 2013.

[25] **Física con ordenador.** Movimiento bajo la aceleración constante de la gravedad. *Física con ordenador.* [En línea] 2010. [Citado el: 16 de Agosto de 2017.] http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/cinematica/parabolico/parabolico.htm#Alcance horizontal y altura máxima.

[26] **Comunidad Andina.** Manual sobre control de contenedores. *Comunidad Andina.org.* [En línea] 2013. [Citado el: 16 de Agosto de 2017.] http://www.comunidadandina.org/DS/Manual%20Contenedores.pdf.

[27] **SeaRates LP.** Parameters of sea containers: 40' STANDARD. *SeaRates.com.* [En línea] 2017. [Citado el: 16 de Agosto de 2017.] https://www.searates.com/es/reference/equipment/2/.

[28] **Google Imágenes.** Busqueda: ISO standar dry 40' ft. [En línea] [Citado el: 24 de Noviembre de 2017.]

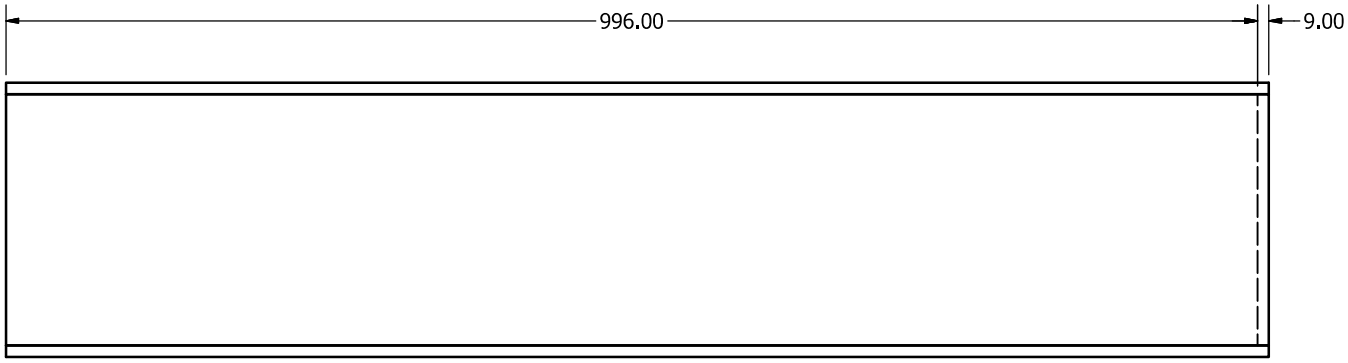
[29] **Weippert Martínez, Vicente.** Trabajo para optar al título de Ingeniero Civil Mecánico. *"Desarrolo de programa computacional para el diseño y diagnostico de sistemas de transporte neumático en fase diluida".* Valparaíso : UTFSM, 2016.

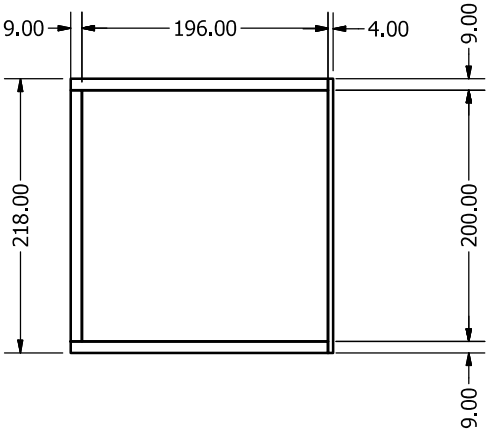
[30] **Silva Hott, Martín.** Trabajo para optar al título de Ingeniero Civil Mecánico. *"Modelación de un ciclón para separar y/o captar partículas sólidas en un sistema de transporte neumático".* Valparaíso : UTFSM, 2010.

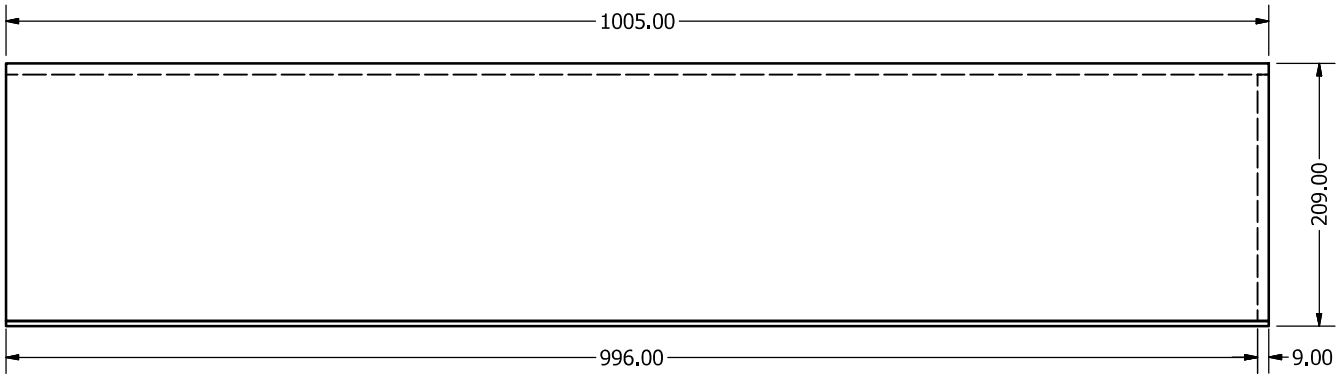
[31] **Banco central de Chile.** Base de datos estadísticos. *Banco Central de Chile.* [En línea] 15 de Marzo de 2018. [Citado el: 15 de Marzo de 2018.] https://si3.bcentral.cl/indicadoressiete/secure/indicadoresdiarios.aspx.

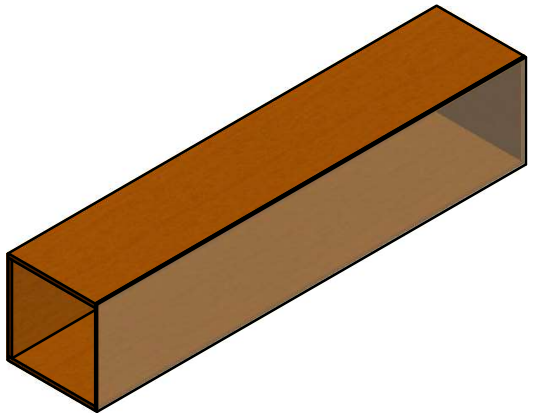
ANEXOS

Anexo A: Planos del sistema de laboratorio

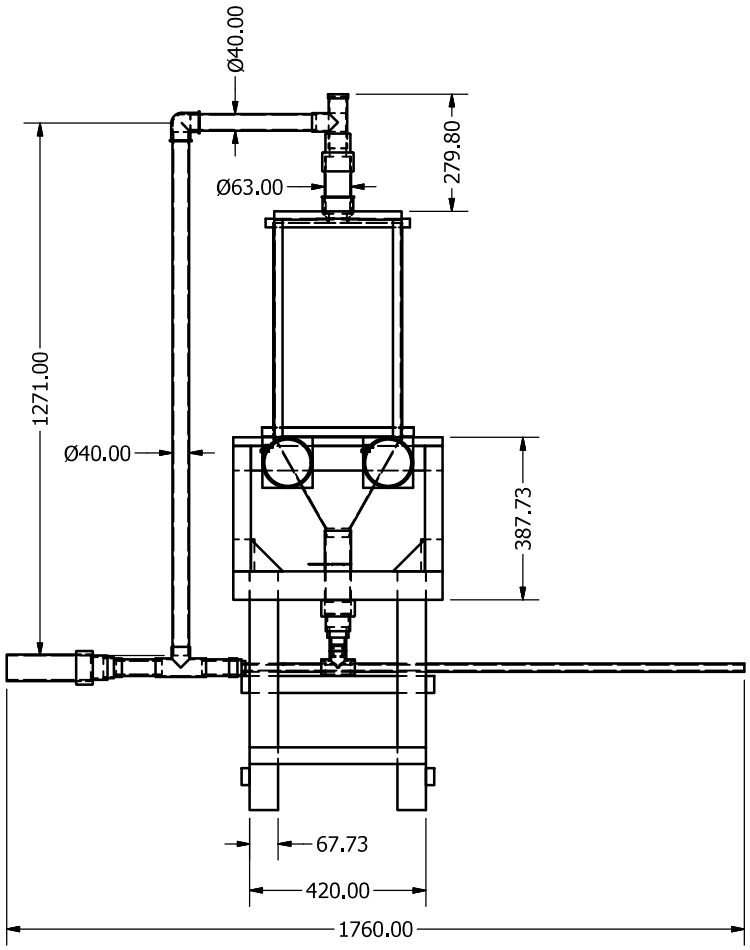


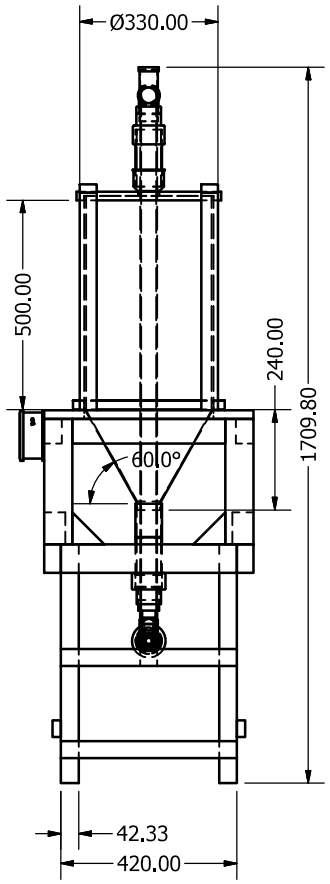


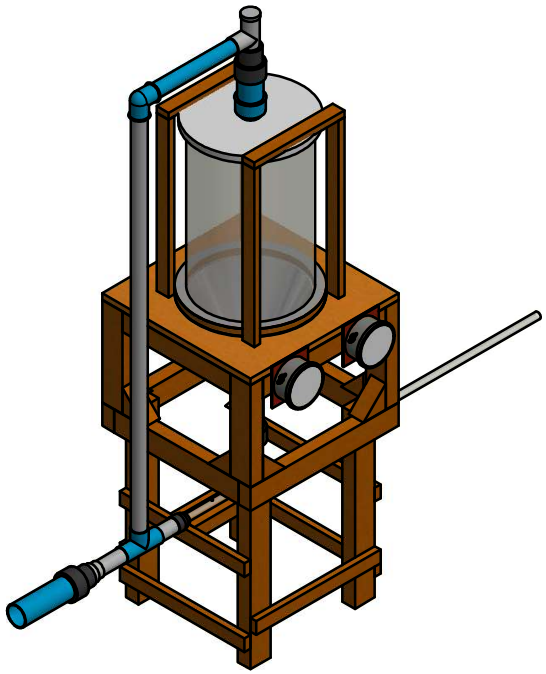


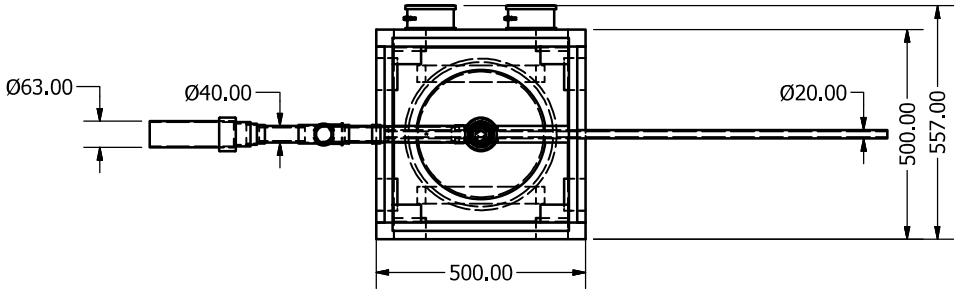


DRAWN Diego Alvarado Tapia	18-11-2017	Universidad Tecnica Federico Santa María
CHECKED		TITLE
QA		Modelo contenedor a escala
MFG		
APPROVED		
		SIZE A3 / DWG NO / REV
		SCALE 0,25 : 1 / SHEET 1 OF 1

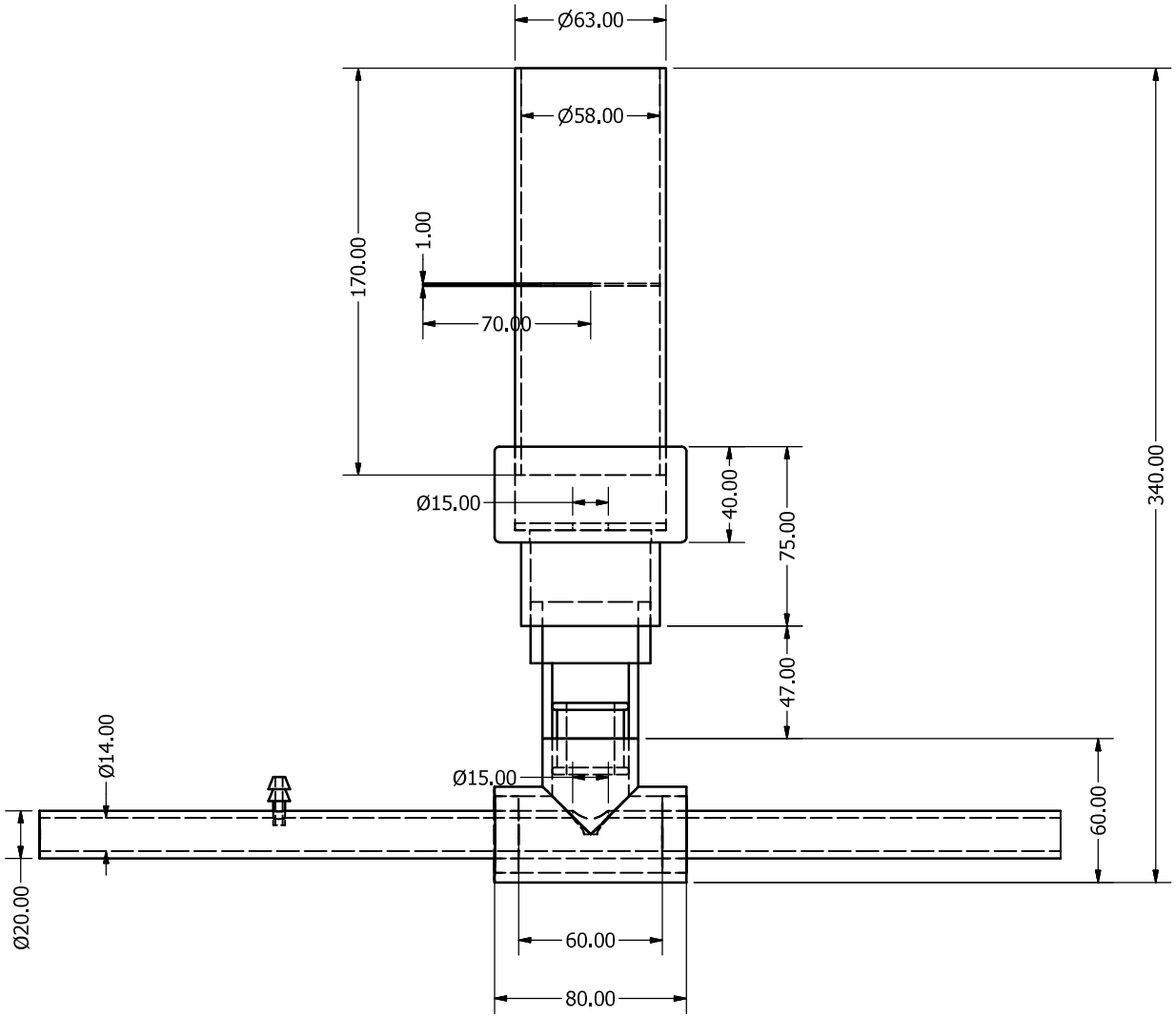


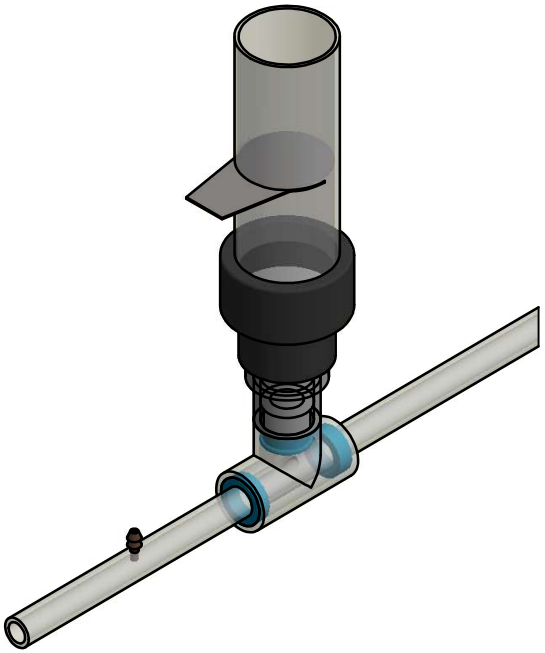






DRAWN Diego Alvarado Tapia	19-11-2017	Universidad Tecnica Federico Santa María
CHECKED		TITLE
QA		Sistema de llenado
MFG		
APPROVED		
		SIZE A3 / DWG NO / REV
		SCALE 1 / 12 / SHEET 1 OF 1





DRAWN Diego Alvarado Tapia	22-11-2017	Universidad Tecnica Federico Santa María
CHECKED		TITLE
QA		Sistema de alimentación
MFG		
APPROVED		
		SIZE A3 / DWG NO / REV
		SCALE 1 / 2 / SHEET 1 OF 1

Anexo B: Especificaciones de equipos e instrumentos

- **Soplador**
  - Marca: Gardner Denver
  - Modelo: G-SAP150
  - Caudal: 0-175 [m^3/hr]
  - Presión: 130 [mbar]
  - Potencia: 1,1 [kW]
- **Variador de frecuencia**
  - Marca: Danfoss
  - Modelo: VLT Microdrive
  - Rango: 0 - 52 [hz]
  - Resolución: 0,1 [hz]
- **Anemómetro**
  - Marca: Airflow Developments Ltd
  - Modelo: EDM 2500 M
  - Rango: 0 – 2.500 [Pa] para presión y 0 - 30 [m/s] para velocidad
  - Resolución: 2 [Pa] para presión y 0,5 [m/s] para velocidad
- **Manómetro placa orificio**
  - Marca: Dwyer Instruments
  - Modelo: Magnehelic
  - Rango: 0 - 0,5 [”H_2O]
  - Resolución: 0,01 [”H_2O]
- **Manómetro punto de alimentación**
  - Marca: Dwyer Instruments
  - Modelo: Magnehelic
  - Rango: 0 - 5 [”H_2O]
  - Resolución: 0,1 [”H_2O]

- **Manómetro auxiliar punto de alimentación**
  - Marca: Dwyer Instruments
  - Modelo: Magnehelic
  - Rango: 0 - 30 [”H_2O]
  - Resolución: 1 [”H_2O]
- **Balanza electrónica para granulometría**
  - Marca: FWE
  - Modelo: Precision Electronic Weighing
  - Rango: 0 – 6.000 [g]
  - Resolución: 0,1 [g]
- **Balanza electrónica para ensayo de llenado**
  - Marca: Maigas
  - Modelo: Balanza 30 [kg] DY208E
  - Rango: 0,2 – 30 [kg]
  - Resolución: 0,005 [kg]
- **Cronometro**
  - Marca: Kenko
  - Modelo: KK-5898
  - Rango: 00:00:00 - 09:59:99
  - Resolución: 0,01 [s]

Anexo C: Datos calibración placa orificio

Tabla C-1: Datos medidos en calibración de placa orificio.

N° Medición [-]	ΔP_{placa} [inH_2O]	ΔP_{placa} [Pa]	V_{pitot} [m/s]	ΔP_{pitot} [Pa]
1	0	0	0	0,00
2	0,01	2,49	11	66,43
3	0,02	4,98	16	154,24
4	0,03	7,47	21	265,70
5	0,04	9,96	23	318,72
6	0,05	12,45	26	407,29
7	0,06	14,94	28	472,36
8	0,07	17,43	29	500,00
9	0,09	22,41	35	750,00
10	0,1	24,9	38	850,00
11	0,11	27,39	40	950,00
12	0,12	29,88	41	1.000,00
13	0,13	32,37	43	1.100,00
14	0,14	34,86	45	1.200,00
15	0,15	37,35	46	1.250,00
16	0,16	39,84	47	1.350,00
17	0,17	42,33	49	1.450,00
18	0,18	44,82	50	1.500,00
19	0,19	47,31	51	1.550,00
20	0,2	49,8	51	1.550,00
21	0,21	52,29	52	1.650,00
22	0,22	54,78	53	1.700,00
23	0,23	57,27	54	1.775,00
24	0,24	59,76	55	1.850,00
25	0,25	62,25	57	1.950,00

Anexo D: Resultados de ensayos de llenado

Tabla D-1: Resultados de ensayos de llenado 1-5.

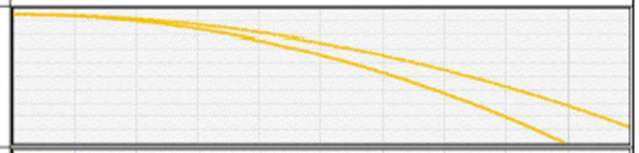
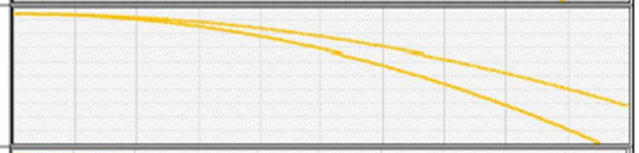
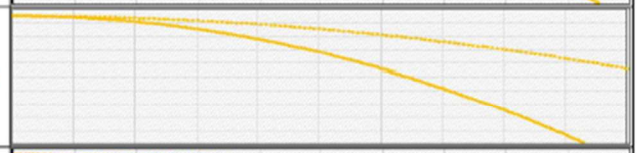
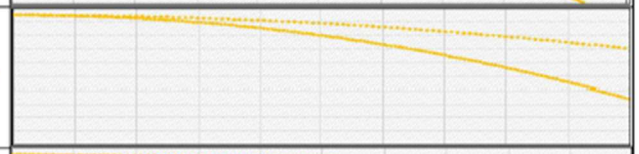
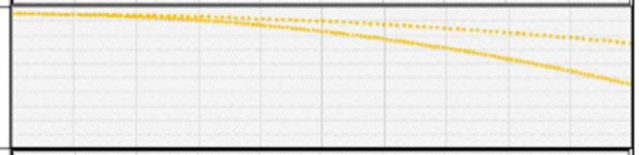
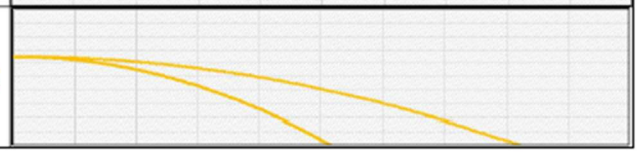
Altura lanzamiento [cm]	Ángulo [°]	P_{Placa} ["H_2O]	Tiempo [s]	Masa [kg]	% Llenado [-]	W_s [kg/min]	Velocidad [m/s]	u [-]	Trayectoria real (límite superior y límite inferior)
19	0	0,02	815	25,43	92,47%	1,87	16,32	10,31	
19	0	0,03	817	25,93	94,27%	1,90	19,99	8,56	
19	0	0,04	754	26,05	94,73%	2,07	23,08	8,07	
19	0	0,05	724	27,01	98,22%	2,24	25,80	7,79	
19	0	0,06	782	27,23	99,02%	2,09	28,26	6,64	
13	0	0,02	547	17,74	64,51%	1,95	16,32	10,71	

Tabla D-2: Resultados de ensayos de llenado 2-5.

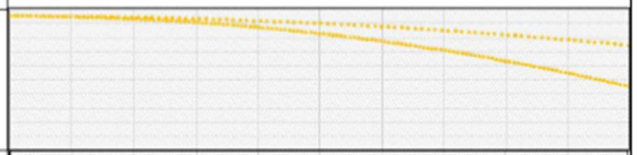
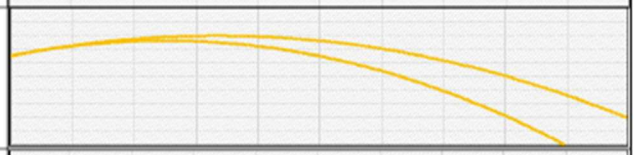
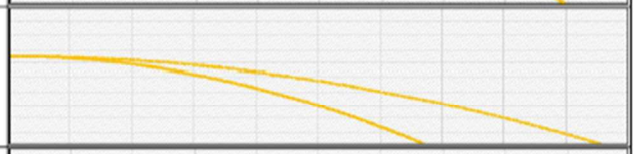
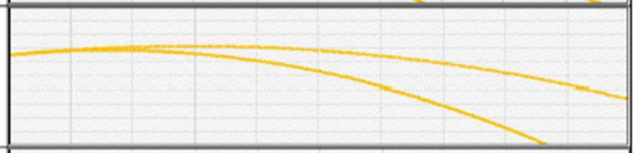
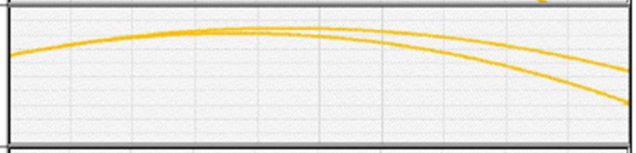
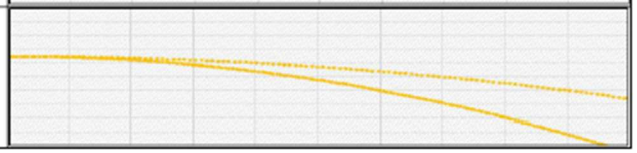
Altura lanzamiento [cm]	Ángulo [°]	P_{Placa} ["H_2O]	Tiempo [s]	Masa [kg]	% Llenado [-]	W_s [kg/min]	Velocidad [m/s]	u [-]	Trayectoria real (límite superior y límite inferior)
13	5	0,02	760	23,71	86,22%	1,87	16,32	10,31	
13	10	0,02	1020	27,16	98,75%	1,60	16,32	8,79	
13	0	0,03	676	22,26	80,95%	1,98	19,99	8,88	
13	5	0,03	808	26,53	96,45%	1,97	19,99	8,85	
13	10	0,03	785	26,91	97,85%	2,06	19,99	9,25	
13	0	0,04	662	22,62	82,25%	2,05	23,08	7,98	

Tabla D-3: Resultados de ensayos de llenado 3-5.

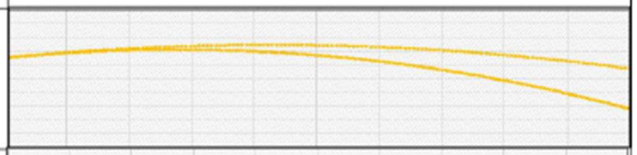
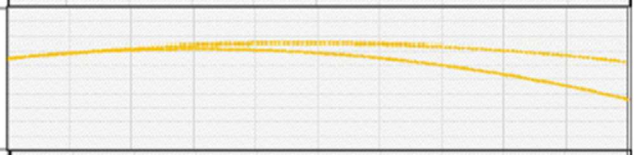
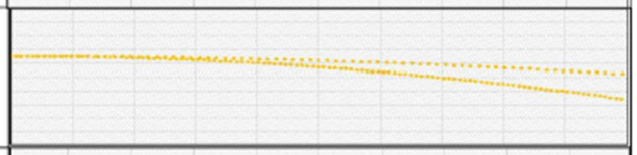
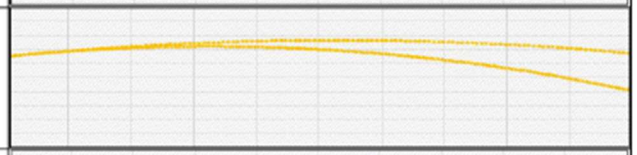
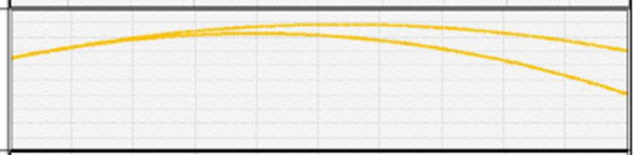
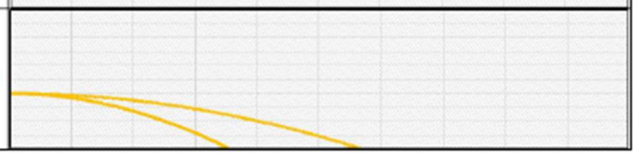
Altura lanzamiento [cm]	Ángulo [°]	P_{Placa} ["H_2O]	Tiempo [s]	Masa [kg]	% Llenado [-]	W_s [kg/min]	Velocidad [m/s]	u [-]	Trayectoria real (límite superior y límite inferior)
13	5	0,04	725	26,03	94,64%	2,15	23,08	8,39	
13	10	0,04	755	27,02	98,25%	2,15	23,08	8,36	
13	0	0,05	544	22,05	80,18%	2,43	25,80	8,47	
13	5	0,05	780	26,61	96,76%	2,05	25,80	7,13	
13	10	0,05	818	27,12	98,62%	1,99	25,80	6,93	
8	0	0,02	402	13,01	47,31%	1,94	16,32	10,69	

Tabla D-4: Resultados de ensayos de llenado 4-5.

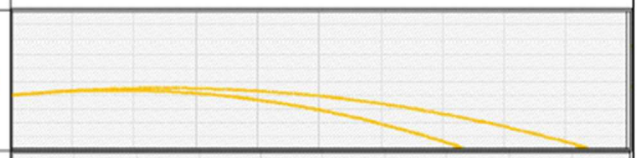
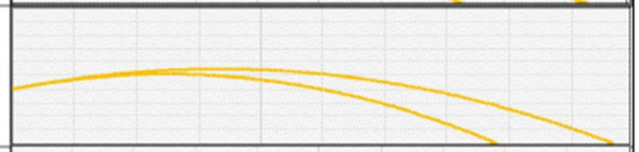
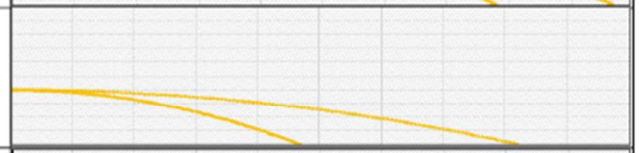
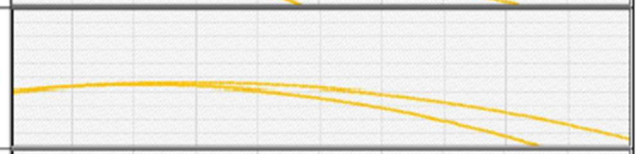
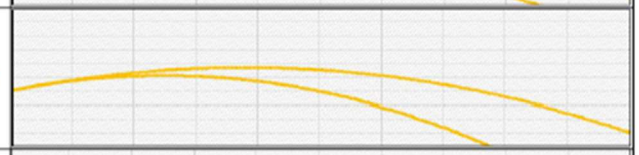
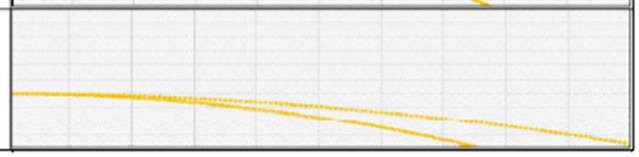
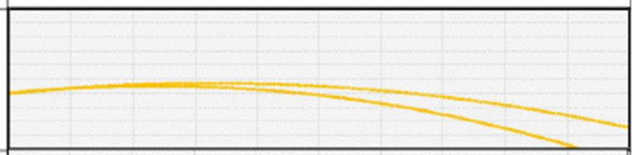
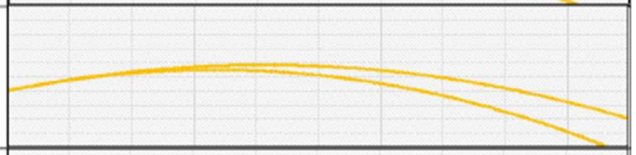
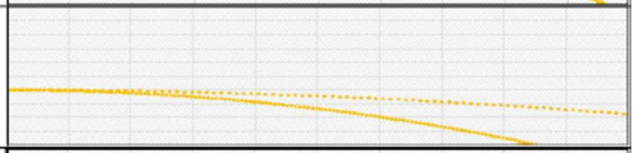
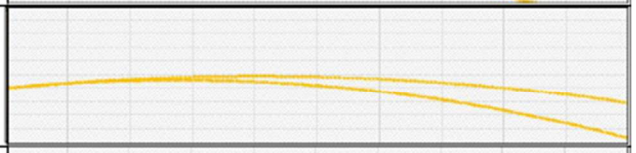
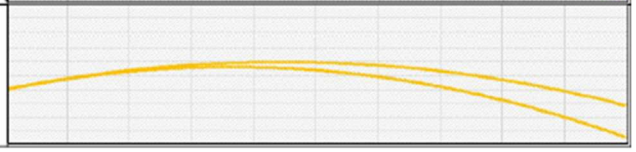
Altura lanzamiento [cm]	Ángulo [°]	P_{Placa} ["H_2O]	Tiempo [s]	Masa [kg]	% Llenado [-]	W_s [kg/min]	Velocidad [m/s]	u [-]	Trayectoria real (límite superior y límite inferior)
8	5	0,02	689	20,46	74,40%	1,78	16,32	9,81	
8	10	0,02	992	25,81	93,85%	1,56	16,32	8,60	
8	0	0,03	432	13,40	48,73%	1,86	19,99	8,37	
8	5	0,03	645	21,28	77,36%	1,98	19,99	8,90	
8	10	0,03	882	25,62	93,16%	1,74	19,99	7,84	
8	0	0,04	488	14,91	54,22%	1,83	23,08	7,14	

Tabla D-5: Resultados de ensayos de llenado 5-5.

Altura lanzamiento [cm]	Ángulo [°]	P_{Placa} ["H_2O]	Tiempo [s]	Masa [kg]	% Llenado [-]	W_s [kg/min]	Velocidad [m/s]	u [-]	Trayectoria real (límite superior y límite inferior)
8	5	0,04	650	21,88	79,56%	2,02	23,08	7,86	
8	10	0,04	801	25,77	93,71%	1,93	23,08	7,52	
8	0	0,05	484	18,09	65,78%	2,24	25,80	7,81	
8	5	0,05	674	22,52	81,89%	2,00	25,80	6,98	
8	10	0,05	657	25,95	94,36%	2,37	25,80	8,25	

Anexo E: Tablas de resultados

Tabla E-1: Determinación coeficiente de llenado.

Posición [m]	Ángulo [°]	Masa [kg]	%Llenado	Velocidad [m/s]	C% [-]
0,19	0	25,43	92,47%	16,32	5,67
0,19	0	25,925	94,27%	19,99	4,72
0,19	0	26,05	94,73%	23,08	4,10
0,19	0	27,01	98,22%	25,80	3,81
0,19	0	27,23	99,02%	28,26	3,50
0,13	0	17,74	64,51%	16,32	3,95
0,13	5	23,71	86,22%	16,26	5,30
0,13	10	27,16	98,76%	16,07	6,15
0,13	0	22,26	80,95%	19,99	4,05
0,13	5	26,53	96,47%	19,91	4,85
0,13	10	26,91	97,85%	19,68	4,97
0,13	0	22,62	82,25%	23,08	3,56
0,13	5	26,03	94,65%	22,99	4,12
0,13	10	27,02	98,25%	22,73	4,32
0,13	0	22,05	80,18%	25,80	3,11
0,13	5	26,61	96,76%	25,70	3,76
0,13	10	27,12	98,62%	25,41	3,88
0,08	0	13,01	47,31%	16,32	2,90
0,08	5	20,46	74,40%	16,26	4,58
0,08	10	25,81	93,85%	16,07	5,84
0,08	0	13,40	48,73%	19,99	2,44
0,08	5	21,28	77,38%	19,91	3,89
0,08	10	25,62	93,16%	19,68	4,73
0,08	0	14,91	54,22%	23,08	2,35
0,08	5	21,88	79,56%	22,99	3,46
0,08	10	25,77	93,71%	22,73	4,12
0,08	0	18,09	65,78%	25,80	2,55
0,08	5	22,52	81,89%	25,70	3,19
0,08	10	25,95	94,36%	25,41	3,71

Tabla E-2: Datos para ajuste de velocidad de lanzamiento.

Posición [m]	Ángulo [°]	VcosΘ teórico [m/s]	$g/2V^2cos\Theta^2$ teórico	VcosΘ modelo [m/s]	$g/2V^2cos\Theta^2$ modelo
0,19	0	5,10	0,018	16,32	0,1886
0,19	0	5,90	0,012	19,99	0,1409
0,19	0	7,30	0,009	23,08	0,092
0,19	0	8,30	0,007	25,80	0,0712
0,19	0	8,46	0,006	28,26	0,0685
0,13	0	5,10	0,018	16,32	0,1886
0,13	5	4,19	0,019	16,26	0,2802
0,13	10	4,12	0,019	16,07	0,2937
0,13	0	6,00	0,012	19,99	0,1363
0,13	5	5,39	0,012	19,91	0,1695
0,13	10	4,49	0,013	19,69	0,2471
0,13	0	7,35	0,009	23,08	0,0908
0,13	5	5,91	0,009	22,99	0,1408
0,13	10	4,38	0,009	22,73	0,2602
0,13	0	8,31	0,007	25,80	0,0711
0,13	5	6,46	0,007	25,70	0,1179
0,13	10	4,91	0,008	25,41	0,2062
0,08	0	4,30	0,018	16,32	0,2653
0,08	5	4,62	0,019	16,26	0,2311
0,08	10	4,03	0,019	16,07	0,3066
0,08	0	5,90	0,012	19,99	0,1409
0,08	5	5,49	0,012	19,91	0,1634
0,08	10	4,53	0,013	19,69	0,243
0,08	0	7,30	0,009	23,08	0,092
0,08	5	5,27	0,009	22,99	0,1774
0,08	10	4,54	0,009	22,73	0,2413
0,08	0	8,60	0,007	25,80	0,0663
0,08	5	5,73	0,007	25,70	0,1500
0,08	10	4,65	0,008	25,41	0,2271

Tabla E-3: Escalamiento de velocidad para contenedor tamaño real.

$V_0 \cos\Theta$ en modelo [m/s]	$V_0 \cos\Theta$ teórico tamaño real [m/s]	$V_0 \cos\Theta$ tamaño real [m/s]
16,3	17,0	42,0
20,0	18,5	44,4
23,1	21,5	49,0
25,8	27,0	57,0
28,3	33,0	65,0
16,3	12,0	33,4
16,3	12,0	33,3
16,1	14,2	36,9
20,0	16,0	40,3
19,9	18,0	43,5
19,7	17,2	41,9
23,1	25,0	54,1
23,0	21,5	48,9
25,8	35,0	67,6
25,7	24,0	52,6
16,3	12,0	33,4
16,3	16,0	40,2
16,1	13,8	36,2
20,0	16,0	40,3
19,9	17,2	42,2
19,7	15,0	38,3
23,1	23,0	51,2
23,0	19,0	45,1
25,8	28,0	58,3

Anexo F: Hojas de cálculo para diseño de sistema

HOJA DE CÁLCULO PARA ETAPA DE PRESIÓN NEGATIVA

Datos de entrada			
Material	Astillas de madera		
Densidad de partícula	917	[kg/m^3]	
Densidad aparente	220	[kg/m^3]	
Diámetro máximo partícula	0,0155	[m]	*diámetro de esfera equivalente
Diámetro medio partícula	0,0115	[m]	*diámetro de esfera equivalente
Diámetro interno cañería	0,15	[m]	
Largo Horizontal	3	[m]	
Largo Vertical	3	[m]	
Flujo de solidos requerido	15.000	[kg/hr]	
Vel de entrada requerida	24	[m/s]	

Aire entrada soplador (ambiente)		
R	287	[J/KgK]
T_{g_amb}	20	[°C]
T_{g_amb}	293	[K]
P	101300	[Pa]
ρ_g	1,205	[kg/m^3]
μ_{g_amb}	0,000018	[Kg/ms]
H_{msnm}	760	[mmHg]
ρ_{g_msnm}	1,205	[kg/m^3]
g	9,81	[m/s^2]

Sistema		
D_{nom}	6,0	[in]
D_{int}	0,168	[m]
D_{ext}	0,175	[m]
A	0,022	[m^2]
ε	1,5,E-06	[m]
U_g	25,00	[m/s]
Re	7,0,E+06	[-]
Alimentación		
$W_{s,max}$	15000	[kg/hr]
$Q_{g,max}$	2261	[m^3/hr]
$W_{g,max}$	2310	[kg/hr]
μ	6,49	[-]
Us	16,00	[m/s]
Ugmin	19,20	[m/s]
Ut	16,58	[m/s]
Ugmin	19,90	[m/s]
Pot	7,64	[kW]
ΔPtotal	15395	[Pa]

Resumen sistema presión negativa		
Ws,max	13300	[kg/hr]
Qg,max	2043	[m3/hr]
Wg,max	2100	[kg/hr]
μ	6,33	[-]
Us	15,43	[m/s]
Ugmin	18,52	[m/s]
$\rho_{g,min}$	1,03	[m/s]
Ugmin	24,05	[m/s]
ΔPtotal	14876	[Pa]
Pot	6,69	[kW]

Sistema de presión negativa										
Sección	Tipo	Largo [m]	Le [m]	V entrada [m/s]	ρg entrada [kg/m3]	V salida [m/s]	ρg salida [kg/m3]	P entrada [Pa]	P salida [Pa]	ΔPtotal [Pa]
1	Alimentación	-	-	24,02	1,205	24,11	1,201	101300	100952	347,68
2	Horizontal	3,0	9,0	24,11	1,201	24,88	1,163	100952	97817	3135,16
3	Codo largo 90°	-	3,2	24,88	1,163	25,81	1,122	97817	94313	3504,25
4	Vertical	2,2	6,6	25,81	1,122	26,08	1,110	94313	93331	981,73
5	Codo 90°	-	4,8	26,08	1,110	27,76	1,043	93331	87698	5633,22
6	Ciclón	-	-	27,76	1,043	28,34	1,026	87698	86270	1428,00
7	Vertical	0,2	0,6	28,34	1,026	28,34	1,026	86270	86250	20,42
8	Codo 90°	-	4,8	28,34	1,026	28,34	1,026	86250	86247	2,57
9	Horizontal	0,8	2,4	28,34	1,026	28,37	1,025	86247	86165	81,66
10	Codo 90°	-	4,8	28,37	1,025	28,37	1,025	86165	86163	2,58
11	Vertical	2,5	7,5	28,37	1,025	28,46	1,022	86163	85908	255,18
12	Codo 90°	-	4,8	28,46	1,022	28,46	1,022	85908	85905	2,58

Auxiliar para ΔPz [Pa]		
Rep	18410,4123	[-]
Cd	0,43078366	[-]
Ut	16,5793835	[m/s]
Up	11,9409432	[m/s]
e	0,98324021	[-]

Caída de presión																	
Sección	Tipo	Largo [m]	Le [m]	$\Delta P_{alimentación}$ [Pa]	$\Delta P_{aceleración}$ [Pa]	$\Delta P_{h,aire}$ [Pa]	Ksh [-]	$\Delta P_{horizontal}$ [Pa]	$\Delta P_{v,aire}$ [Pa]	Ksv [-]	ΔP_z [Pa]	$\Delta P_{vertical}$ [Pa]	$\Delta P_{g,codos}$ [Pa]	$\Delta P_{s,codos}$ [Pa]	ΔP_{codos} [Pa]	$\Delta P_{separador}$ [Pa]	ΔP_{total} [Pa]	
1	Alimentación	-	-	347,68	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	347,68	
2	Horizontal	3,0	9,0	0,00	2242,19	261,40	0,37	892,97	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3135,16	
3	Codo largo 90°	-	3,2	0,00	0,00	96,06	0,38	235,63	0,00	0,00	0,00	0,00	1,21	3503,04	3504,25	0,00	3504,25	
4	Vertical	2,2	6,6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	205,23	0,33	340,08	641,65	0,00	0,00	0,00	0,00	981,73	
5	Codo 90°	-	4,8	0,00	0,00	150,96	0,39	378,75	0,00	0,00	0,00	0,00	2,38	5630,84	5633,22	0,00	5633,22	
6	Ciclón	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1428,00	1428,00	
7	Vertical	0,2	0,6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	20,42	0,00	0,00	20,42	0,00	0,00	0,00	0,00	20,42	
8	Codo 90°	-	4,8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,57	0,00	2,57	0,00	2,57	
9	Horizontal	0,8	2,4	0,00	0,00	81,66	0,00	81,66	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	81,66	
10	Codo 90°	-	4,8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,58	0,00	2,58	0,00	2,58	
11	Vertical	2,5	7,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	255,18	0,00	0,00	255,18	0,00	0,00	0,00	0,00	255,18	
12	Codo 90°	-	4,8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,58	0,00	0,00	0,00	2,58	
																	15395,02	18474

HOJA DE CÁLCULO PARA ETAPA DE CICLÓN

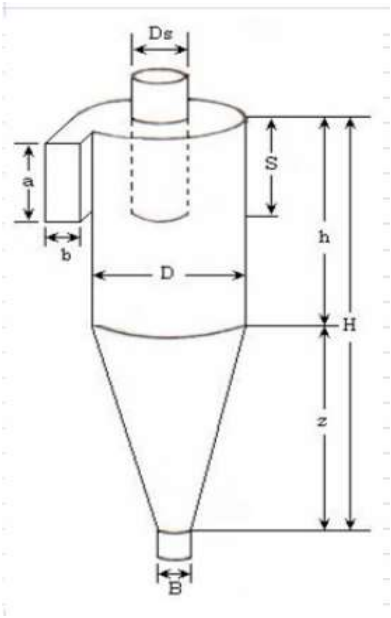
Datos de entrada para diseño de ciclón			
Parámetros	Simb.	Valor	Unidad
Caudal normal	Q	0,628	m^3/s
Temperatura	T	25	°C
Densidad gas	ρ	1,024	kg/m^3
Densidad solidos	ρ_p	920	kg/m^3
Viscosidad aire	μ	1,8,E-05	kg/ms
Flujo de solidos	W_s	4,17	kg/s
Caída máxima admitida	P_{max}	2488,16	Pa
Diámetro cañería	D_t	0,168	m
Concentración referencia	Cr	2	g/m3
Concentración	C	6640,13	g/m3
Ventrada	Vi	28,5	m/s
relación de carga	u	6,000	-

Malla	Simb	% Ret	Unidad
#1/2"	m1	14,82	%
#1/4"	m2	66,69	%
#5	m3	12,5	%
#10	m4	4,03	%
#18	m5	1,19	%
#30	m6	0,38	%
#50	m7	0,21	%
#100	m8	0,16	%
Fondo	m9	0,02	%

Relación Geométrica	Simb	Valor	Sugerido
Altura entrada	ka (a/D)	0,47	0,5
Ancho entrada	kb (b/D)	0,22	0,25
Altura salida	S/D	0,62	0,625
D salida	Ds/D	0,5	0,5
Altura cilindro	h/D	2	2
Altura cono	z/D	1,38	2
Altura total	H/D	3,38	4
D salida solidos	B/D	0,16	0,25

Parámetros operacionales de ciclón			
Constante de entrada	K	14	-
Numero de cabezas	NH	5,7904	-
Eficiencia total	ηT	100	[%]
Caída de presión	ΔP	1448,14789	Pa

Dim geométricas	Simb	Valor	Unidad
Diámetro cuerpo	D	0,70	m
Altura entrada	a	0,33	m
Ancho entrada	b	0,15	m
Altura salida	S	0,43	m
Diámetro salida	Ds	0,35	m
Altura cilindro	h	1,00	m
Altura cono	z	0,80	m
Altura total	H	1,80	m
D salida solidos	B	0,30	m
Vel equivalente	W	0,58	m/s
Vel de saltación	Vs	15,16	m/s
Relación de vel	R	1,83	-
Volumen evaluado sobre salida	Vsc	0,08	m3
Longitud natural ciclón	L	1,72	m
Factor dimensional lineal	KL	0,13	m
Volumen evaluado sobre Longitud natural	VR	0,23	m3
Factor dimensional de prop. Volumétrica	KC	0,56	-
Relación entre altura entrada y diámetro	Ka	0,47	-
Relación entre base entrada y diámetro	Kb	0,22	-
Factor de configuración	G	422,06	-
Exponente de vórtices	n	0,63	-
Número de giros	N	4,26	-
diámetro de corte	dpc	6,06	um



Tamaño [um]		mi	Dp	Dp [m]	Ti [s]	nir	ni	ni*mi
25000	31500	5	28250	0,02825	2266,103395	1,00	1,00	5,00
19000	25000	5	22000	0,022	1374,320988	1,00	1,00	5,00
13200	19000	5	16100	0,0161	736,0283951	1,00	1,00	5,00
12500	13200	5	12850	0,01285	468,866358	1,00	1,00	5,00
9500	12500	5	11000	0,011	343,5802469	1,00	1,00	5,00
8000	9500	5	8750	0,00875	217,3996914	1,00	1,00	5,00
6300	8000	5	7150	0,00715	145,1626543	1,00	1,00	5,00
5600	6300	10	5950	0,00595	100,5256173	1,00	1,00	10,00
4750	5600	15	5175	0,005175	76,04375	1,00	1,00	15,00
4000	4750	15	4375	0,004375	54,34992284	1,00	1,00	15,00
3350	4000	5	3675	0,003675	38,34930556	1,00	1,00	5,00
2800	3350	15	3075	0,003075	26,84930556	1,00	1,00	15,00
2360	2800	5	2580	0,00258	18,90088889	1,00	1,00	5,00
		100		Eficiencia Total (nt)				100

HOJA DE CÁLCULO PARA ETAPA DE PRESIÓN POSITIVA

Datos de entrada			
Material	Astillas de madera		
Densidad de partícula	917	[kg/m^3]	
Densidad aparente	220	[kg/m^3]	
Diámetro máximo partícula	0,0155	[m]	*diámetro de esfera equivalente
Diámetro medio partícula	0,0115	[m]	*diámetro de esfera equivalente
Diámetro cañería	0,15	[m]	
Largo Horizontal	2,5	[m]	
Largo Vertical	2,2	[m]	
Flujo de sólidos requerido	15.000	[kg/hr]	
Vel en salida requerida	35	[m/s]	

Aire entrada soplador (salida ciclón)		
R	287	[J/KgK]
T_{g_amb}	20	[°C]
T_{g_amb}	293	[K]
P	101300	[Pa]
ρ_g	1,205	[kg/m^3]
μ_{g_amb}	0,000018	[Kg/ms]
H_{msnm}	760	[mmHg]
ρ_{g_msnm}	1,205	[kg/m^3]
g	9,81	[m/s^2]

Sistema		
D_{nom}	6,0	[in]
D_{int}	0,150	[m]
D_{ext}	0,175	[m]
A	0,018	[m^2]
ε	1,5,E-06	[m]
U_g	35,00	[m/s]
Re	1,2,E+07	[-]
Alimentación		
$W_{s,max}$	15.000	[kg/hr]
$Q_{g,max}$	2.260	[m^3/hr]
$W_{g,max}$	3.071	[kg/hr]
μ	5,52	[-]
Us	14,81	[m/s]
Ugmin	17,77	[m/s]
Ut	16,10	[m/s]
Ugmin	19,32	[m/s]
Pot	7,41	[kW]
ΔPtotal	13.037	[Pa]

Resumen sistema presión positiva		
Ws,max	13300	[kg/hr]
Qg,max	2159	[m3/hr]
Wg,max	3060	[kg/hr]
μ	4,35	[-]
Ugmin	17,77	[m/s]
$\rho_{g,máx}$	18,63	[m/s]
ΔPtotal	17903	[Pa]
Pot	9,91	[kW]

Componentes sistema de presión positiva

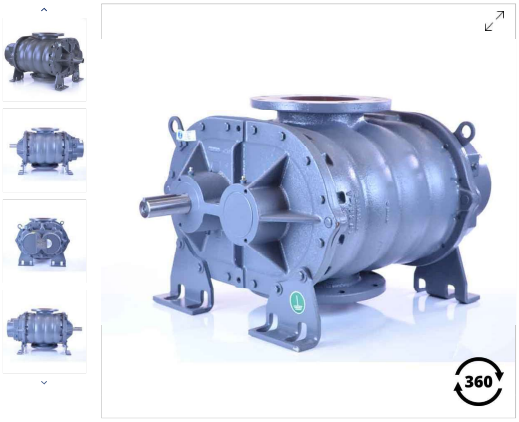
Sección	Tipo	Largo [m]	Le [m]	V salida [m/s]	ρg salida [kg/m3]	V entrada [m/s]	ρg entrada [kg/m3]	P salida [Pa]	P entrada [Pa]	ΔPtotal [Pa]
1	Horizontal	1,5	1,5	35,52	1,205	35,15	1,218	101300	102397	1096,97
2	Curva	0,3	0,9	35,15	1,218	34,26	1,249	102397	105064	2667,14
3	Vertical	1,9	5,7	34,26	1,249	33,74	1,269	105064	106689	1624,84
4	Curva	0,3	0,9	33,74	1,269	32,96	1,299	106689	109199	2510,04
5	Horizontal	0,6	1,5	32,96	1,299	31,67	1,352	109199	113659	4460,17
6	Alimentación	-	-	31,67	1,352	31,48	1,360	113659	114337	677,89
							1,359			

Auxiliar para ΔPz [Pa]		
Rep	26826,60076	[-]
Cd	0,425316406	[-]
Ut	15,76134049	[m/s]
Up	16,02307416	[m/s]
e	0,987510029	[-]

Caída de presión

Sección	Tipo	Largo [m]	Le [m]	$\Delta P_{alimentación}$ [Pa]	$\Delta P_{aceleración}$ [Pa]	$\Delta P_{h,aire}$ [Pa]	Ksh [-]	$\Delta P_{horizontal}$ [Pa]	$\Delta P_{v,\ aire}$ [Pa]	Ksv [-]	ΔP_z [Pa]	$\Delta P_{vertical}$ [Pa]	$\Delta P_{g,codos}$ [Pa]	$\Delta P_{s,codos}$ [Pa]	ΔP_{codos} [Pa]	ΔP_{salida} [Pa]	ΔP_{total} [Pa]	
1	Horizontal	1,5	1,5	0,00	0,00	108,02	0,38	201,66	0,00	0,00	134,94	0,00	0,00	0,00	0,00	760,37	1096,97	
2	Curva	0,3	0,9	0,00	0,00	80,36	0,38	167,84	0,00	0,00	0,00	0,00	4,02	2495,28	2499,30	0,00	2667,14	
3	Vertical	1,9	5,7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	495,06	0,32	259,78	1365,06	0,00	0,00	0,00	0,00	1624,84	
4	Curva	0,3	0,9	0,00	0,00	77,13	0,37	157,95	0,00	0,00	0,00	0,00	3,86	2348,23	2352,09	0,00	2510,04	
5	Horizontal	0,6	1,8	0,00	4004,39	150,67	0,37	455,78	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4460,17	
6	Alimentación	-	-	677,89	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	677,89	
																	13037,04	15644

Anexo G: Cotizaciones



615 URAI ROOTS BLOWERS

SKU: 21055
Category: Roots Universal RAI (URAI)

$5,941.00

Max Flow: 1583 CFM
Max Pressure: 7 psi
Max Vacuum: 12" Hg
Max Speed: 2350 RPM

WEIGHT:	525 lbs
DIMENSIONS:	54 x 32 x 32 in
MAX FLOW:	1583
MAX PRESSURE:	7 psi
MAX VACUUM:	12" Hg
MAX SPEED:	2350 RPM
MANUFACTURER:	Howden Roots

THC

Clear

We typically do not keep this configuration in stock, but can easily reconfigure a default LHC configuration to meet your needs. This service does not impact the cost, but could have a minor impact on shipping time. Click to learn more.

- 1 + ADD TO CART

Product Description

URAI Roots Blowers Model 615 URAI
Flow Range: to 1583 CFM
Max Δ Pressure: 7 psi
Max Δ Vacuum: 12" Hg
Max RPM: 2350
Min RPM: 636
Max ΔT: 130˚F
Connection: 6□ Flange
Shaft Dia.: 1.375□
Drive End Lubrication: Grease
Gear End Lubrication: Oil
Required Oil for Gear End Horizontal Unit: 52.1 ounces
Required Oil for Gear End Vertical Unit: 28.3 ounces
Unit Weight: 425 pounds (193.2 kg)
Shipping Skid Size (LxWxH): 54"x29"x31" (1372mmx737mmx787mm)
Shipping Container: Wood skid, open, blower lagged to skid

Common carrier is recommended

Roots Bill of Material (BOM) Number: 65118020

Related Resources

Specifications

ROOTS Universal RAI® Rotary Positive Blowers Frames 22 thru 718

Instruction Manuals

ROOTS Universal RAI® IO&M

Performance Curves

Roots Universal RAI® Frame 615 Vacuum Performance Curve

Roots Universal RAI® Frame 615 Pressure Performance Curve

Dimensional Drawings

URAI Dimensional Print for 6 and 7 inch Units

Sectional Drawing

URAI Sectional Assembly 6-7"

URAI Sectional Legend

Related Videos

Product Accessories

Roots Urai Repair Parts 6" Universal RAI Repair Kit with Gears
$726.00

Roots Urai Blower Parts 6" Universal RAI Repair Kit without Gears
$301.00

Shell Gadus Grease – Tube
$5.65

ROOTS Synthetic Lubricant ISO VG 220 Quart
$26.60

Join Our Newsletter Enter Email Address Sign Up ›

©pdblowers, Inc. Design and E-Commerce by: Red Clay Interactive

pdblowers inc

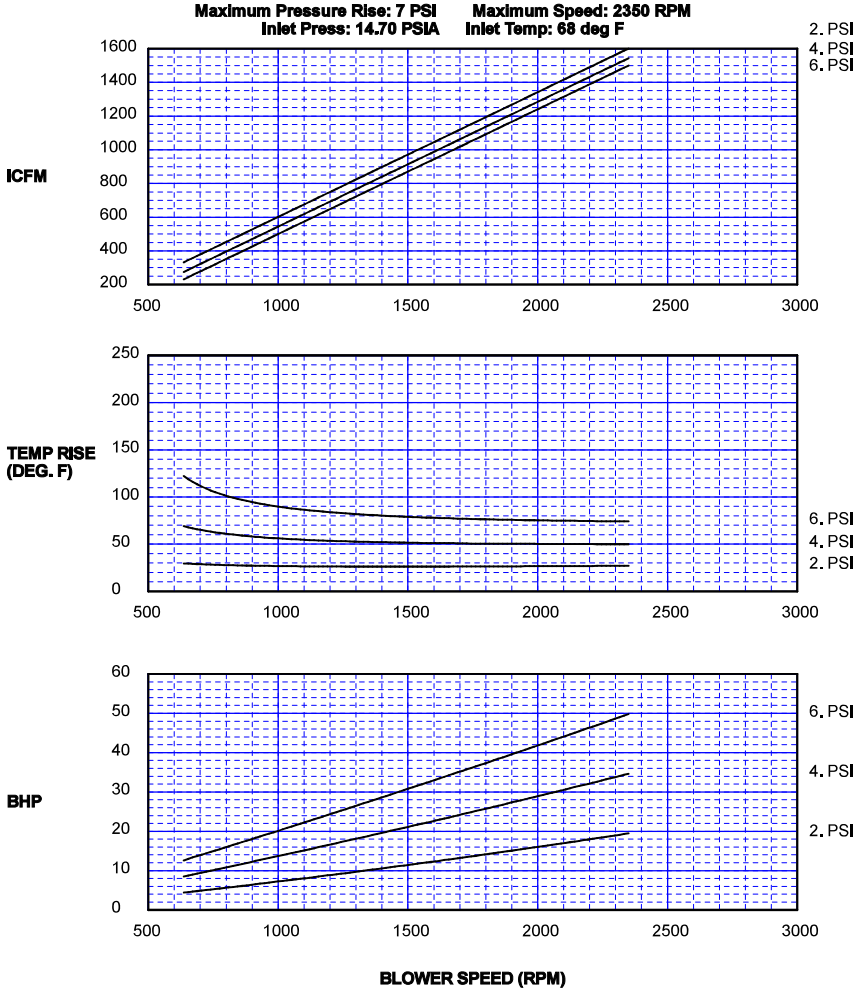
Blower Performance Curves

PDAnalysis 2013 Version 4.20

Pressure Performance
Roots Model 615 URAI

Saturday, May 20, 2017

Maximum Pressure Rise: 7 PSI **Maximum Speed: 2350 RPM**
Inlet Press: 14.70 PSIA **Inlet Temp: 68 deg F**



pdblowers inc

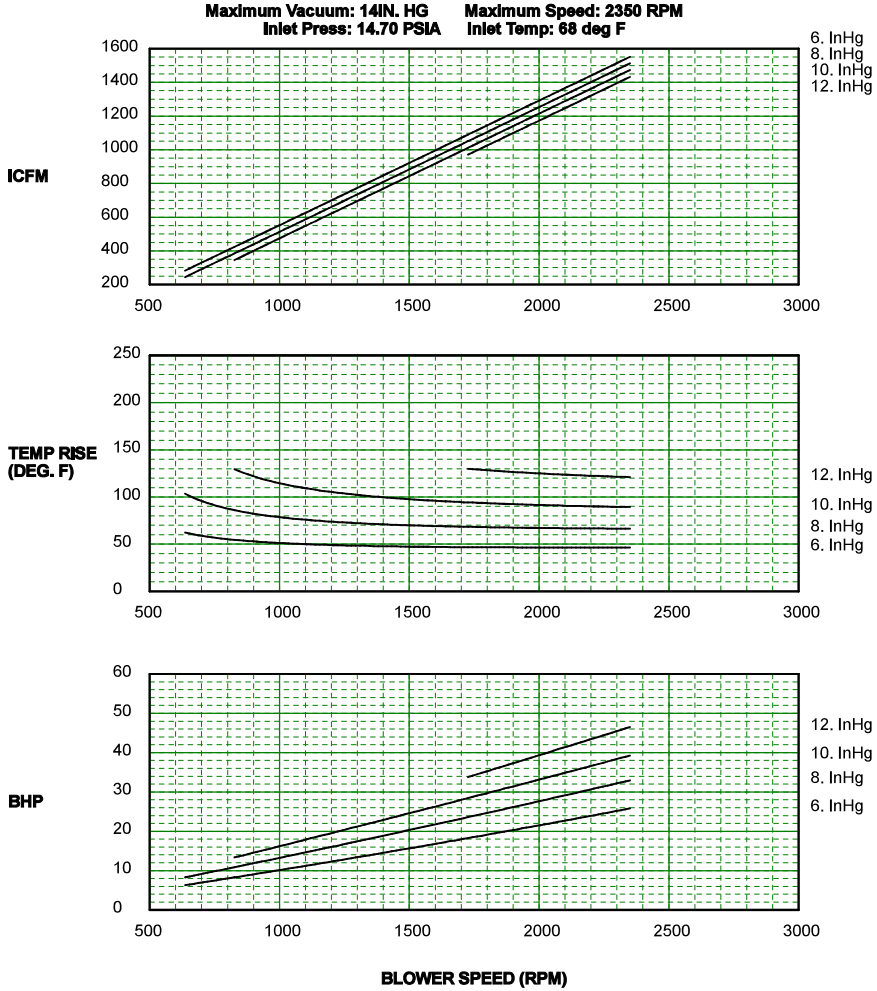
Blower Performance Curves

PDAnalysis 2013 Version 4.20

Vacuum Performance
Roots Model 615 URAI

Saturday, May 20, 2017

Maximum Vacuum: 14IN. HG **Maximum Speed: 2350 RPM**
Inlet Press: 14.70 PSIA **Inlet Temp: 68 deg F**



Ferretería O'Higgins

Villar Hnos. S.A.

Catálogo Minorista
Fecha Emisión 29/01/18

MOTORES

Imprimir

MOTORES TRIFASICOS 2 POLOS (NORMA CE) — 2508100

Artículo	Descripción	Fábrica	Precio Lista
2508100	MOTOR TRIFASICO 1.0 HP 380 V. 2.900 RPM	*	$ 57860
2508105	MOTOR TRIFASICO 2.0 HP 380 V. 2.900 RPM	*	$ 68500
2508110	MOTOR TRIFASICO 3.0 HP 380 V. 2.900 RPM	*	$ 78470
2508115	MOTOR TRIFASICO 5,5 HP 380/660 V. "	*	$ 142310
2508117	MOTOR TRIFASICO 7,5 HP 380/660 V. "	*	$ 214130
2508118	MOTOR TRIFASICO 10 HP 380/660 V. "	*	$ 234080
2508119	MOTOR TRIFASICO 15 HP 380/660 V. "	*	$ 379050
2508120	MOTOR TRIFASICO 20 HP 380/660 V. "	*	$ 422940

MOTORES TRIFASICOS 4 POLOS (NORMA CE) — 2508120

Artículo	Descripción	Fábrica	Precio Lista
2508121	MOTOR TRIFASICO 1.0 HP 380 V.1.430 RPM	*	$ 62780
2508122	MOTOR TRIFASICO 2.0 HP 380 V.1.430 RPM	*	$ 85790
2508125	MOTOR TRIFASICO 3.0 HP 380 V.1.430 RPM	*	$ 114650
2508135	MOTOR TRIFASICO 5,5 HP 380 V.1.430 RPM	*	$ 144970
2508140	MOTOR TRIFASICO 7,5 HP 380 V.1.430 RPM	*	$ 214130
2508145	MOTOR TRIFASICO 10 HP 380 V.1.430 RPM	*	$ 249770
2508150	MOTOR TRIFASICO 15 HP 380/660 V. "	*	$ 368410
2508155	MOTOR TRIFASICO 20 HP 380 V.1.430 RPM	*	$ 469490
2508165	MOTOR TRIFASICO 30 HP 380 V.1.430 RPM	*	$ 542110
2508170	MOTOR TRIFASICO 40 HP 380 V.1.430 RPM	*	$ 723520
2508190	MOTOR TRIFASICO 150 HP 380 V.1.430 RPM	*	$ 3540460

MOTORES A BENCINA HORIZONTALES 4 TIEMPOS — 4851500

Artículo	Descripción	Fábrica	Precio Lista
4851500	MOTOR A BENCINA DE 4 TIEMPOS DE 6,5 HP, 200 CC., RELACION DE COMPRESION 8,5:1, 1 CILINDRO, EJE HORIZONTAL, REFRIGERADO POR AIRE	168F-2	$ 96760
4851510	MOTOR A BENCINA DE 4 TIEMPOS DE 9,0 HP, 270 CC., RELACION DE COMPRESION 8,2:1, 1 CILINDRO, EJE HORIZONTAL, REFRIGERADO POR AIRE	177F	$ 170560
4851600	MOTOR A BENCINA DE 4 TIEMPOS DE 15 HP. 420 CC., RELACION DE COMPRESION 8,2:1, 1 CILINDRO, EJE HORIZONTAL, REFRIGERADO POR AIRE, PARTIDA MANUAL / ELECTRICA	190FD	$ 214840
4851610	MOTOR A BENCINA DE 4 TIEMPOS DE 20 HP. 614 CC., RELACION DE COMPRESION 8,3:1, 2 CILINDROS EN V. EJE HORIZONTAL, REFRI- GERADO POR AIRE, PARTIDA MANUAL/ ELECTR.	2V77F	$ 541200

MOTORES DIESEL VENTILADOS POR AIRE — 4851700

Artículo	Descripción	Fábrica	Precio Lista
4851700	MOTOR DIESEL DE 4 TIEMPOS, 6 HP, 300 CC. TORQUE MAX. 13,6 NM A 2,880 RPM., RELAC. DE COMPRESION 19:1, 1 CILINDRO, EJE HORIZONTAL, REFRIGERADO POR AIRE, ESTANQUE DIESEL 3.5 LTS.	178F	$ 285360
4851710	MOTOR DIESEL DE 4 TIEMPOS, 9 HP, 406 CC. TORQUE MAX. 18,7 NM A 2,880 RPM., RELAC. DE COMPRESION 19:1, 1 CILINDRO, EJE HORIZONTAL, REFRIGERADO POR AIRE, ESTANQUE DIESEL 5.5 LTS.	186F	$ 314880

CONSTRUMART S.A.
Venta, Distribución
Exportación e Instalación de
Materiales de Construcción
Arriendo de Maquinarias.

CASA MATRIZ
Av. Presidente Eduardo Frei Montalva 9275
Quilicura, Santiago-Chile
Fono (56-2) 24276000
www.construmart.cl

Cotización Electrónica

N° 5580

SUCURSALES
Arica - Iquique - Calama- Antofagasta - Copiapó - La Serena - Ovalle - Las Condes - Vitacura - Quilicura - Estación Central - Colina - Buin - Melipilla - San Antonio - La Calera
Quilpué - Rancagua - Curicó - Molina - Talca - Chillán - Talcahuano - San Pedro de La Paz - Los Ángeles - Temuco - Valdivia - Osorno - Puerto Montt

SEÑOR(ES): Diego Alvarado
R.U.T.: 18255831-1

Tienda: LAS REJAS
Fecha Emisión: 13/04/2018
Fecha Vencimiento: 18/04/2018

Sku	Descripción	A pedido	Precio U	Cantidad	Precio U c/Desc.	Total
32454	Plancha gruesa ASTM A36 6X 2440X12000 mm	Si	589	1	-	589

MONTO NETO $	**495**
I.V.A. 19% $	**94**
TOTAL $	**589**

Términos y Condiciones

• Esta cotización es válida por un máximo de 5 días desde el momento de su emisión y será aplicable solo en la tienda indicada en la cotización.
• Esta cotización está sujeta a disponibilidad de stock en la tienda donde se realizó la cotización.
• Cualquier modificación de esta cotización On line que se realice en tienda, en cuanto a producto y/o cantidades distintos de la cotización original, dejará sin efecto la cotización On line y se deberá emitir una nueva cotización en tienda o en línea, aplicándose los precios y promociones vigentes al momento de su emisión.
• Para mayor información de las condiciones de tu cotización, ingresa a www.construmart.cl y revisa los Términos y Condiciones.

COTIZA ONLINE VEN A CONSTRUMART
construmart.cl

GUANGZHOU JIABAO MACHINERY CO.,ITD

Address：No.953,Shixin road,Luobian village,Nancun town,Panyu district,Guangzhou,Guangdong

Tel:86-20-39135699 +86-13104925764 Email:choilin@jiabao-conveyor.c

Quotation

The Buyers :	Franco	**Order No:**	JBC00620180326
Tel :		**Made by :**	Choilin
Address:		**Date :**	26/Mar/18
Email :	francoalva1969@gmail.com		

The Undersign Sellers And Buyers Have Agreed To Close The Following Transaction According To The Terms And Condition Stipulated Below:

Item pictures	Description & Specification	Quantity	Unit Price	Amount
	1.Model：TGFWZB-180L-59-4 2.Speed:24rpm 3.Speed ratio:1：59 4.Power:4KW 5.Motor reducer: Cycloid reducer(made in china) 6.Material:Carbon Steel 7.Delivery time:45 Days	1Set	US$5,099	US$5,099
	Total FOB（Guangzhou)			US$5,099.00

REMARKS:

1. THE ABOVE QUOTATION IS BASED ON EXCHANGE RATE:6.30

2.THE DATE OF DELIVERY: 30-46DAYS

3.PAYMENT TERM: TRADE ASSURANCE OF ALIBABA T/T(5% HANDLE CHARGE)

4.THE ABOVE PRICE IS VALID TILL THE END OF THE MARCH 2018

5.THE ABOVE QUOTATON BASED ON OUR NORMAL PACKING

6.THE ABOVE QUOTATION DOES NOT INCLUDE SPECIAL CERTIFICATE CUSTOMER REQUIRED

CONSTRUMART
ESPECIALISTA A TU MEDIDA

CONSTRUMART S.A.
Venta, Distribución
Exportación e Instalación de
Materiales de Construcción
Arriendo de Maquinarias.

CASA MATRIZ
Av. Presidente Eduardo Frei Montalva 9275
Quilicura, Santiago-Chile
Fono (56-2) 24276000
www.construmart.cl

Cotización Electrónica

N° 3930

SUCURSALES
Arica - Iquique - Calama- Antofagasta - Copiapó - La Serena - Ovalle - Las Condes - Vitacura - Quilicura - Estación Central - Colina - Buin - Melipilla - San Antonio - La Calera
Quilpué - Rancagua - Curicó - Molina - Talca - Chillán - Talcahuano - San Pedro de La Paz - Los Ángeles - Temuco - Valdivia - Osorno - Puerto Montt

SEÑOR(ES): Diego Alvarado
R.U.T.: 18255831-1

Tienda: LA CALERA
Fecha Emisión: 08/03/2018
Fecha Vencimiento: 13/03/2018

Sku	Descripción	A pedido	Precio U	Cantidad	Precio U c/Desc.	Total
24443	Perfil cuadrado 50 x 50 4mm x 6 m	Si	42.290	2	-	84.580
24592	Perfil canal doblado 200 x 50 4mm x 6 m		41.990	3	-	125.970

MONTO NETO $	**176.933**
I.V.A. 19% $	**33.617**
TOTAL $	**210.550**

Términos y Condiciones

• Esta cotización es válida por un máximo de 5 días desde el momento de su emisión y será aplicable solo en la tienda indicada en la cotización.
• Esta cotización está sujeta a disponibilidad de stock en la tienda donde se realizó la cotización.
• Cualquier modificación de esta cotización On line que se realice en tienda, en cuanto a producto y/o cantidades distintos de la cotización original, dejará sin efecto la cotización On line y se deberá emitir una nueva cotización en tienda o en línea, aplicándose los precios y promociones vigentes al momento de su emisión.
• Para mayor información de las condiciones de tu cotización, ingresa a www.construmart.cl y revisa los Términos y Condiciones.

COTIZA ONLINE VEN A CONSTRUMART
construmart.cl

Liquiflex®

LÍNEA LIVIANA

COLOR: Amarillo

USOS: Transporte de líquidos, soluciones químicas, succión y descarga liviana

CODIGO	Ø INTERNO (mm)	Ø NOMINAL (pulg)	PRESION TRABAJO (psi)	VACIO (mca)	PRECIO LISTA ($/m)
350616	19	3/4	105	7	1.355
350622	25	1	100	7	1.513
350625	32	1 1/4	100	7	2.149
350628	38	1 1/2	90	7	2.621
350631	45	1 3/4	90	7	3.223
350634	50	2	90	7	3.323
350637	63	2 1/2	85	7	5.373
350640	75	3	70	7	7.340
350607	100	4	57	7	12.513
350610	120	5	50	7	20.581
350613	150	6	43	6	31.822
350611	168	6 1/2	36	6	38.681
350619	200	8	29	5	48.268
350601	250	10	10	5	81.826
350602	300	12	10	4	91.847

LARGO ROLLOS: 3/4" 25 mts, hasta 2" 50 mts, desde 2 1/2" 25 mts, desde 8" tiras de 10 mts.

Aquaflex®

COLOR: Azul

USOS: Transporte de líquidos, soluciones químicas, succión y descarga liviana

CODIGO	Ø INTERNO (mm)350544	Ø NOMINAL (pulg)	PRESION TRABAJO (psi)	VACIO (mca)	PRECIO LISTA ($/m)
350172	19	3/4	105	7	1.355
350178	25	1	100	7	1.513
350181	32	1 1/4	100	7	2.149
350184	38	1 1/2	90	7	2.621
350187	45	1 3/4	90	7	3.223
350190	50	2	90	7	3.323
350193	63	2 1/2	85	7	5.373
350196	75	3	70	7	7.340
350163	100	4	57	7	12.513
350166	120	5	50	7	20.581
350169	150	6	43	6	31.822
350175	200	8	29	5	48.268
350160	250	10	10	5	81.826
350176	300	12	10	4	91.847

LARGO ROLLOS: 3/4" 25 mts, hasta 2" 50 mts, desde 2 1/2" 25 mts, desde 8" tiras de 10 mts.

PETROFLEX

Av. Santa Rosa 01726, Puente Alto, Santiago - Chile, Teléfono: 56 224 826 400
ventas@petroflex.cl • www.petroflex.cl

MEDIA PRESION
Cinta y guía:
Acero inox 304
Tornillo: Acero galvanizado

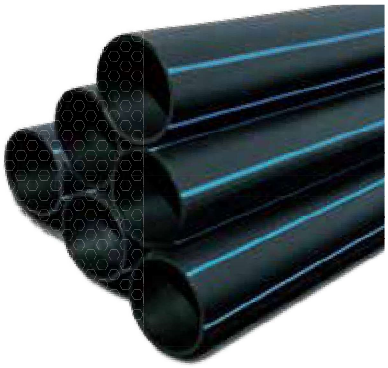
CODIGO	DIMENSIÓN (mm)	SUMINISTRO (unidades)	PRECIO $/unidad
359410	5,6-16	10	229
359414	13-23	10	410
359416	14-27	10	410
359418	17-32	10	436
359420	21-38	10	463
359422	21-44	10	463
359424	27-51	10	488
359426	33-57	10	511
359428	40-64	10	563
359430	46-70	10	563
359432	56-72	10	590
359434	59-83	10	590
359436	65-89	10	616
359438	71-95	10	664
359440	78-102	10	718
359442	84-108	10	743
359444	91-114	10	743
359446	103-127	10	770
359448	64-140	10	770
359450	129-152	10	792
359452	92-165	10	846
359454	105-178	10	898
359456	143-216	10	1382
359458	182-254	10	1562
359460	238-311	10	1793

MEDIA PRESION
Cinta y guía:
Acero galvanizado
Tornillo: Acero galvanizado

CODIGO	DIMENSIÓN (mm)	SUMINISTRO (unidades)	PRECIO $/unidad
359310	5.6-16	10	128
359312	11-20	10	128
359314	13-23	10	229
359316	14-27	10	229
359318	17-32	10	256
359320	21-38	10	256
359322	21-44	10	256
359324	27-51	10	283
359326	33-57	10	308
359328	40-64	10	335
359330	46-70	10	335
359332	56-72 *	10	335
359334	56-72	10	335
359336	59-83 *	10	335
359338	59-83	10	356
359340	65-89 *	10	356
359342	65-89	10	383
359344	71-95 *	10	383
359346	71-95	10	383
359348	78-102 *	10	383
359350	78-102	10	383
359352	84-108	10	410
359354	91-114	10	410
359356	103-127	10	463
359358	64-140	10	488
359360	129-152	10	511
359362	92-165	10	563
359364	105-178	10	590

* ancho de banda de 8mm

HDPE



Certificación de calidad otorgada por Cesmec Bureau Veritas.

Tubería HDPE - PE100 - PN10 (Tiras)

Ø Externo (mm)	PN (Bar)	CODIGO tira 6 m	PRECIO LISTA (US$/m)	CODIGO tira 12 m	PRECIO LISTA (US$/m)
20	16	214008-6	0,43	214008	0,41
25	12,5	214018-6	0,55	214018	0,52
32	10	214028-6	0,71	214028	0,68
40	10	214040-6	1,08	214040	1,03
50	10	214048-6	1,66	214048	1,58
63	10	214068-6	2,65	214068	2,52
75	10	214084-6	3,74	214084	3,56
90	10	214108-6	5,37	214108	5,11
110	10	214125-6	7,99	214125	7,61
125	10	214150-6	10,20	214150	9,71
140	10	214170-6	12,80	214170	12,19
160	10	214192-6	16,71	214192	15,91
180	10	214208-6	21,13	214208	20,12
200	10	214220-6	26,07	214220	24,83
225	10	214236-6	33,06	214236	31,49
250	10	214248-6	40,53	214248	38,6
280	10	214260-6	50,91	214260	48,49
315	10	214276-6	64,48	214276	61,41
355	10	214288-6	82,06	214288	78,15
400	10	214296-6	103,72	214296	98,78
450	10	214302-6	131,40	214302	125,14
500	10	214310-6	162,36	214310	154,63
560	10	214320-6	203,39	214320	193,7
630	10	214330-6	257,61	214330	245,34

Tubería HDPE - PE100 - PN10 (Rollos)

Ø Externo (mm)	PN (Bar)	LARGO ROLLO (m)	CODIGO	PRECIO LISTA (US$/m)
20	16	100	213008	0,41
25	12,5	100	213016	0,52
32	10	100	213026	0,68
40	10	100	213038	1,03
50	10	100	213052	1,58
63	10	100	213068	2,52
75	10	50	213084	3,56
90	10	50	213108	5,11
110	10	50	213125	7,61

Consultar por otros largos.

PETROFLEX
Av. Santa Rosa 01726, Puente Alto, Santiago - Chile, Teléfono: 56 224 826 400
ventas@petroflex.cl • www.petroflex.cl

Pneumatic Vacuum Conveyor

Pneumatic Vacuum Conveyor is a kind of advanced material handling machinery. Machine features flexible, fast and convenient assembly, after simple combination can be used to separate delivery, separate to send, or give mixing pumping and pressure. Horizontal, inclined and vertical transportation, such as rice, wheat, rice, rice husk, wood chips, corn, grain, barley malt, granular materials such as plastics and resin, suitable for grain, farm, station, wharf, grain
and oil processing and brewing industry in storage or in the process of production of bulk, bulk transport, discharge, turn over the storehouse, crib, warehouse, the warehouse etc mechanical work.

Main features of pneumatic vacuum grain conveyor :
1. The operation mode is diversiform, have a single suction operation mode, single delivery operation mode mixing, suction pressure, can undertake choosing according to different customers and different requirements.
2. The machine features flexible, fast and convenient assembly, compact structure, complete function, the whole machine to give full consideration to the user requirements from the design.
3. equipment has convenient, quick, convenient, save people, save Labour, etc.
4. less dust pollution, convenient operation.
5. just put the pipeline on-demand distribution, can be horizontal, vertical, inclined, etc.
6. High pressure, long transmission distance, high head, small volume, low noise, low energy consumption.

Technical data

Machine Model	QH30
Convey capacity	30T/H
Power of Air Blower	45kw
Power of air lock	2.2KW/40L
Convey pipe diameter	150mm
Conveyor length	20meter
Walking wheel	3set
Suction mouth	One set
Discharge mouth	One set
Dimension	3580*1600*2220 mm
Weight	2500kg

ZHENGZHOU DOUBLE BIRDS MACHINERY CO.,LTD

Address：57#,Science Avenue,High-Tech Development Zone, Zhengzhou, China
TEL： +86（371）86222692
FAX： +86（371）86222693
E-mail：bill@china-dbgroup.com

QUOTATION

NO： DB2018032612
DATE：26th Mar.2018

Customer:	Requirement:
Franco Alvarado <francoalva1969@gmail.com> Chile	1.Material:wood chips 2.Capacity:30T/H 3.Convey distance:10m

No	Product name	Specification	Qty	Single price	Total price
1	QH30 Pneumatic conveyor	1.power:45kw 2.Air lock power:2.2KW/40L 3.Capacity:30T/H 4.Pipe diameter:150mm 5.Pipe length:20m 6.With the suction and discharge mouth 7.Three mobile wheel 8.With cylone dust collection 9.Dimension:3580*1600*2220 mm 10.Weight:2500kg	1 Set	USD13495	USD13495
FOB Qingdao port					USD13495

SAY TOTAL:SAY US DOLLARS THIRTEEN THOUSAND FOUR HUNDRED NINTY FIVE ONLY.

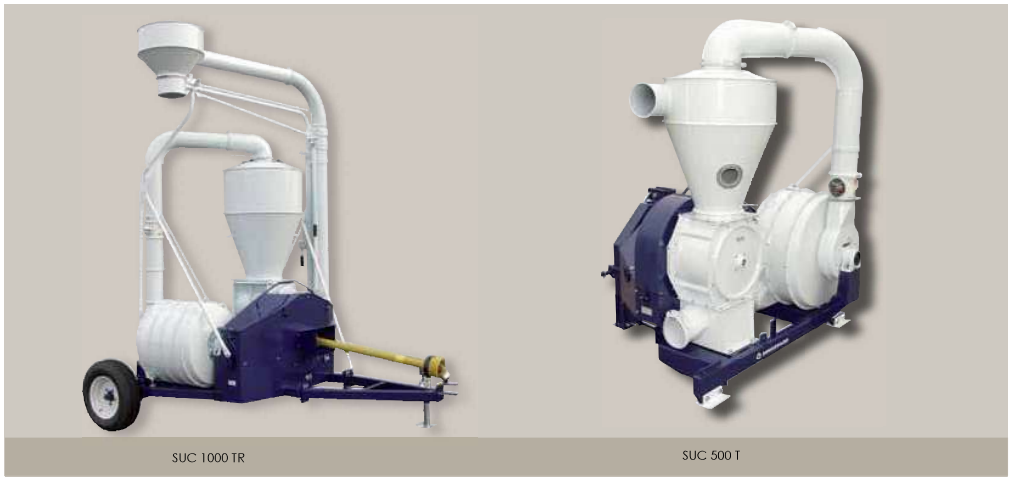
Remark:
Delivery time:30 working days after receiving the 30% advance payment
Payment:30% advance payment ,the balance should be paid before shipment.
Destination port:?

Offer： Jason DU
Tel:0086-(0)371—86222692 0086-18790286309

Validity of offer：30th,May，2018

Zhengzhou Double Birds Machinery Co.,LTD

Turbinas de succión accionadas por tractor SUC-T y SUC-TR



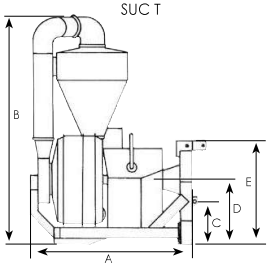
SUC 1000 TR

SUC 500 T

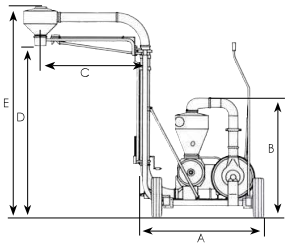
Las Turbinas de succión accionas por tractor tipo SUC-T se enganchan al tractor al enganche de tres puntos y accionadas por toma de fuerza. Al no requerir ningún tipo de conexión adicional se puede usar en muchos lugares. El SUC-T está disponible en 2 tamaños con capacidades de transporte de hasta 33 t/h.

Las turbinas de succión SUC-TR van remolcadas detrás del tractor, disponen de brazo de descarga y se accionan también por la toma de fuerza del tractor. Estos modelos se utilizan para llenado de camiones y remolques directamente desde el suelo en el campo o en silos. También pueden usarse en varios tipos de utilización especialmente se requiere un sistema flexible de transporte de grano.

SUC T



SUC TR



SUC T	300*	500*
A	1355	1360
B	1440	1900
C	515	360
D	670	570
E	995	820

SUC TR	500*	500**	700**	1000**
A	2100	2100	2100	2460
B	2130	2130	2550	2780
C	1690	1690	1690	2090
D (min/max)	2870/3840	2870/3840	2985/4395	3010/4420
E (min/max)	3620/4590	3620/4590	3635/5045	3660/5070

SUC 500/700/1000 TR si se invierten los brazos de rueda la turbina se baja 110 mm.
*) 540 rpm **) 1000 rpm

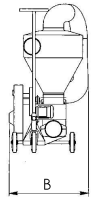
Especificaciones técnicas	SUC 300 T	SUC 500 T	SUC 500 TR		SUC 700 TR	SUC 1000TR
Potencia mínima recomendada CV/kW	45/34	65/48	65/48	65/48	85/62	120/90
Velocidad de tdf, rpm	540	540	540	1000	1000	1000
Tipo de eje tdf	1 3/8" 6 estrías	1 3/8" 6 estrías	1 3/8" 6 estrías	1 3/8" 21 estrías	1 3/8" 21 estrías	1 3/8" 21 estrías
Peso kg	350	595	820	730	770	1050
Flujo de aire (turbina) max m^3/h	1800	2000	2000	2000	2000	2000
Tipo de tubería	OK/OKR	OK/OKR	OK/OKR	OK/OKR	OK/OKR	OK/OKR
Diámetro tubería, mm	160	160	160	160	160	160

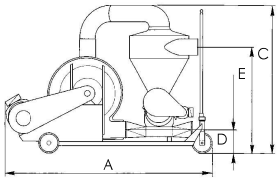
Turbinas de succión con motor eléctrico SUC-E

SUC 300 E

Las turbinas de succión accionadas con motor eléctrico se usan a menudo como sistemas de transporte fijos. Se pueden usar tanto en interior como en exterior y son válidos para todo tipos de trabajos de transporte.

Las ruedas del SUC-E facilitan su movimiento de un lugar a otro. Se fabrican en 5 tamaños diferentes y se puede escoger en función de las necesidades de transporte y del tipo de electricidad que se disponga. Hay modelos desde 10 a 50 CV, con una capacidad hasta 33 t/h.





SUC E	100	150	200	300	500
A	2040	2050	2050	2090	2235
B	775	775	775	1075	913
C	1460	1460	1460	1550	1820
D	230	230	230	313	308
E	1040	1040	1040	1150	1418

Especificaciones técnicas	SUC 100 E	SUC 150 E	SUC 200 E	SUC 300 E	SUC 500 E
Requerimiento de motor (turbina), CV/kW	10/7.5	15/11	20/15	30/22	50/37
Requerimiento de motor (válvula rotativa), CV/kW	0.5/0.37	0.5/0.37	0.5/0.37	1.5/1.1	2.0/1.5
Voltaje mínimo, V/hz	3x400/50	3x400/50	3x400/50	3x400/50	3x400/50
Amperage, A	16	22	30	44	73
Fusible mínimo recomendado	25	35	50	63	100
Peso incluidos los motores, kg	210	243	285	477	668
Flujo de aire, max m^3/h	1800	1800	1800	1800	2000
Tipo de tubería	OK/OKR	OK/OKR	OK/OKR	OK/OKR	OK/OKR
Diámetro tubería, mm	160	160	160	160	160
Cuadro eléctrico con pulsador automático star-delta*	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes

* Sólo turbinas con motor

Los datos reflejados se refieres a un voltaje de 3x400V/50 Hz. Para turbinas con otros voltajes se puede solicitar sobre pedido.

Turbinas de Succión
Características Técnicas para los Modelos SUC E

Características técnicas	SUC 100 E	SUC 150 E	SUC 200 E	SUC 300 E	SUC 500 E
Motor (turbina) kW/HP	7,5 (10)	11 (15)	15 (20)	22 (30)	37 (50)
Motor (válvula rotativa) kW/HP	0,55(0,75)	0,55(0,75)	0,5(0,75)	1,1(1,5)	1,5 (2)
Conexión eléctrica v/50Hz	3 x 400	3 x 400	3 x 400	3 x 400	3 x 400
Consumo total de Amp.	16	22	30	44	73
Min. Fusible amp. (recomendado)	25	35	50	63	100
Motor (turbina) rpm	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000
Motor (válvula rotativa) rpm	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500
Tipo de Motor	Motor con soporte normalizado IEC/DIN				
Peso incl. Motor en kg	210	243	285	477	668
Volumen de aire asp. m^3/h	1.800	1.800	1.800	1.800	2.000
Presión máxima del aire mm WG	950	1.300	1.600	2.000	3.500
Velocidad máx. del aire en el sistema aprox. m/s	25	25	25	25	25
Calentamiento aprox. del aire ºC	9	12	19	27	46
Rotor, rpm	3.650	4.200	4.700	4.100	4.300
Num. de rotores	1	1	1	2	3
Válvula rotativa, rpm	65	65	65	65	65
Num. de cámaras en la válvula rotativa	6	6	6	6	6
Vol. De las cámaras de la válvula rotativa, litros	1,2	1,2	1,2	2,3	5,3
Tipo de tuberías de transporte	OK/OKR160 Ø=160 mm				
Caja de controles	Cambio automático Star/Delta				

SUC 500 TR puede ser suministrado con TDF a 1000 rpm

Howard Iberica S.A.
Ctra. Granollers a Girona, km 1,5
08520 LES FRANQUESES DEL VALLES
(BARCELONA)

Telf.: 938 617 150
938 492 622
Fax: 938 493 577
E-mail: info@howard.es
web: www.kongskilde.com

KONGSKILDE
BRONNER GROUP S.A.
Ventas y showroom:
Tel./Fax +54 3576 424848 – 9 3576 417610
B. Hubaide 530 2434 Arroyito (Cba). Argentina
E – mail. leuca@leuca.com.ar
www.kongskilde-lat.com

Especialistas en sistemas de acopio, transporte y acondicionamiento de cereales.

06 de Abril de 2018**.**

Sr./Sres: **SIC Ltda.**
Atto: Sres. Diego / Franco Alvarado
Tel: (+56) 66665522
e-mail: diegoalvaradot@gmail.com
Dirección: Av. Málaga 69 – Las Condes
Ciudad: Santiago
Region Metropolitana
Pais: Chile

COTIZACION Nº 0060418 / 0047

Ref. : Cotización de Succionadora de cereal marca kongskilde origen Dinamarca modelo SUC 300 E.

Descripción:
Sistema neumático de transporte de grano apto para mover todo tipo de cereales para carga de carros o camiones y remolques desde un foso, el suelo o extrayendo de silos o celdas, montado sobre carro portátil con ruedas y equipado con motor eléctrico de 30 HP (22 Kw) con su correspondiente arranque progresivo con protección, la capacidad de transporte llega a 20 t/h. sin dañar el grano ya que este es movido solo por la acción del aire sin que pase por elementos que puedan romperlo y dañar sus propiedades intrínsecas. Viene equipado con 2,5 m. de manguera flex. de poliuretano y cabezal universal de succión con mango. No viene incluida la tubería ni el ciclón de descarga, los cuales se cotizarán aparte.

Precio CIF, Puerto de Valparaiso, Chile: u$s 21.400,00
(dólares estadounidenses veintiún mil cuatrocientos)

Validez de la cotización: 15 días.
Forma de pago: 50% con la confirmación mediante orden de compra, saldo a pagar previo a la entrega de la mercadería en la central industrial de Kongskilde Industries A/S. Ciudad de Soro, Dinamarca.
Puesta en marcha: A cargo del cliente con instrucción previa por parte de personal de nuestra empresa. (en el caso de viaje, se cobrarán solo los viáticos, no los honorarios)
Plazo de entrega: 30 días desde la recepción del anticipo del 50% con previo envío de la orden de compra.

NCM 8428.20.90

Saludos Cordiales.

Luis A. Leuca.
Dpto. ventas
leuca@leuca.com.ar

KONGSKILDE
BRONNER GROUP S.A.
Ventas y showroom:
Tel./Fax +54 3576 424848 – 9 3576 417610
B. Hubaide 530 2434 Arroyito (Cba). Argentina
E – mail. leuca@leuca.com.ar
www.kongskilde-lat.com

ESPECIALISTAS EN SISTEMAS DE ACOPIO, TRANSPORTE Y ACONDICIONAMIENTO DE CEREALES.

06 de Abril de 2018**.**

Sr./Sres: **SIC Ltda.**
Atto: Sres. Diego / Franco Alvarado
Tel: (+56) 66665522
e-mail: diegoalvaradot@gmail.com
Dirección: Av. Málaga 69 – Las Condes
Ciudad: Santiago
Region Metropolitana
Pais: Chile

COTIZACION Nº 0060418 / 0048

Descripción: Accesorios para aplicar en succionadora SUC 300E.

Cant.	*Código*	*Descripción*	*Precio Unitario*	*Total*
1	121 000 645	OK 160 Tubería flexible en poliuretano (en tramo de 2,5m.)	$ 770,00	
1	122 010 006	OK 160 Tubería rígida en acero (en tramo de 2m.)	$ 53,00	
1	122 000 800	OK 160 Abrazadera rápida deltatone	$ 24,00	
1	122 020 096	OK 160 Curva a 90º	$ 106,00	
1	121 130 249	OK 160 Cabezal de succión cilíndrico corto.	$ 715,00	
1	122 000 698	OK 160 UC Ciclón de descarga	$ 470,00	

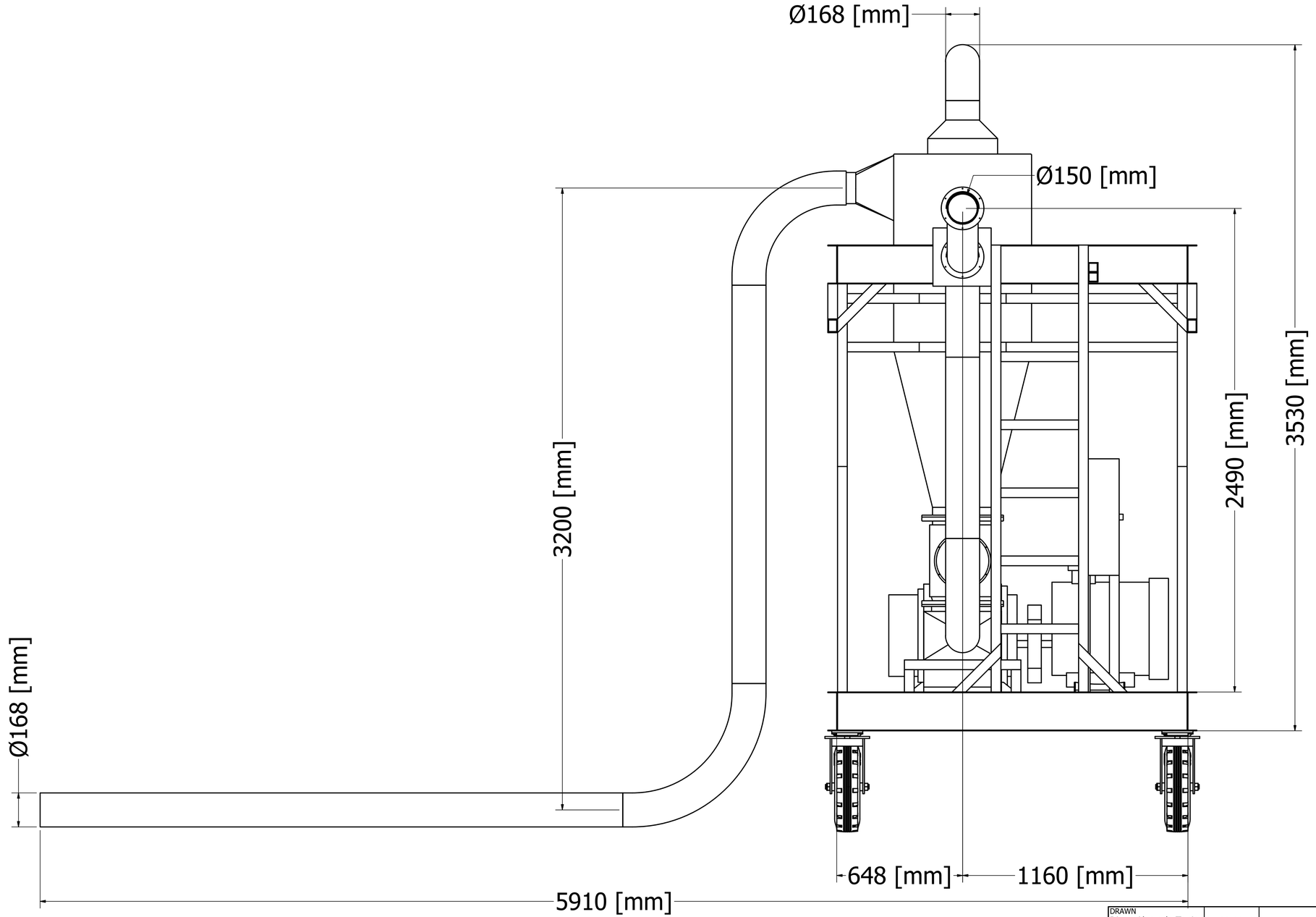
Precios EXW (depósito de fábrica en la Ciudad de Soro), Dinamarca, expresados en U$D

Nota: Estos precios son unitarios, solo falta definir las cantidades de artículos que se necesitarán, para luego volver a cotizar con las cantidades pedidas.

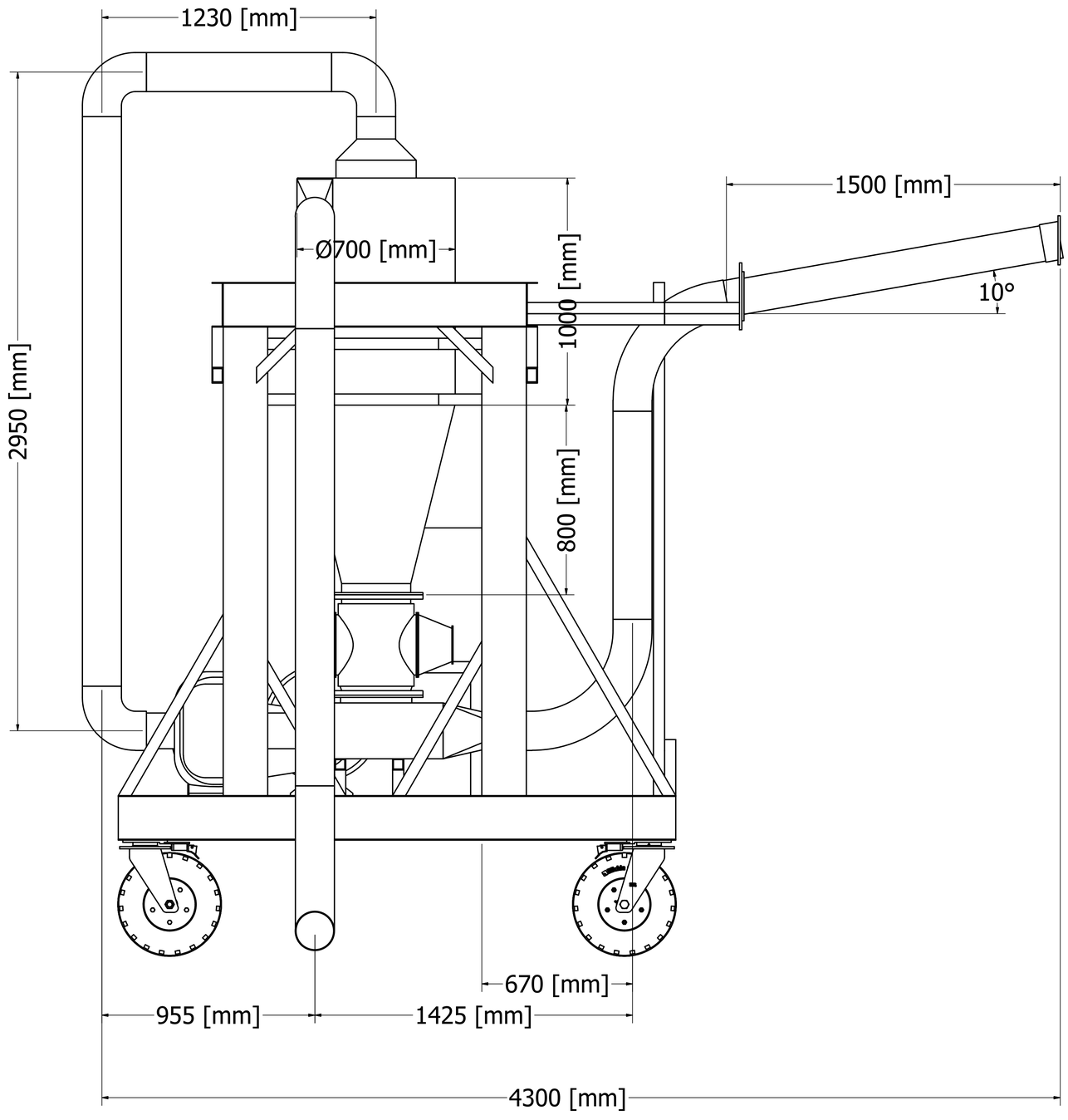
Forma de pago: 50 % con la confirmación mediante orden de compra, el saldo final se abonará previo a la entrega de la mercadería.
Plazo de entrega: 30 días desde la recepción del monto adelantado.

NCM 8428.20.90

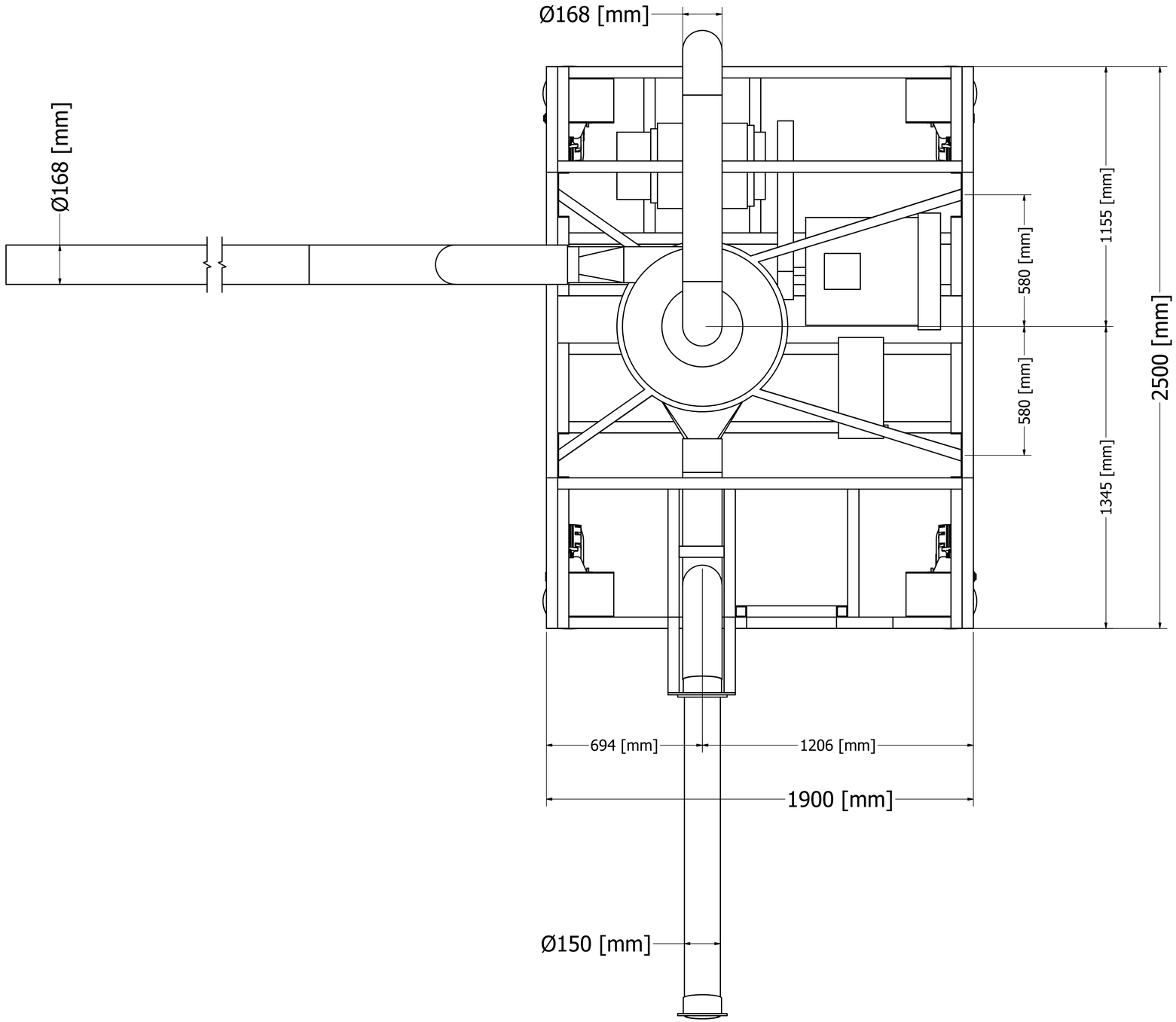
Anexo H: Planos del sistema diseñado



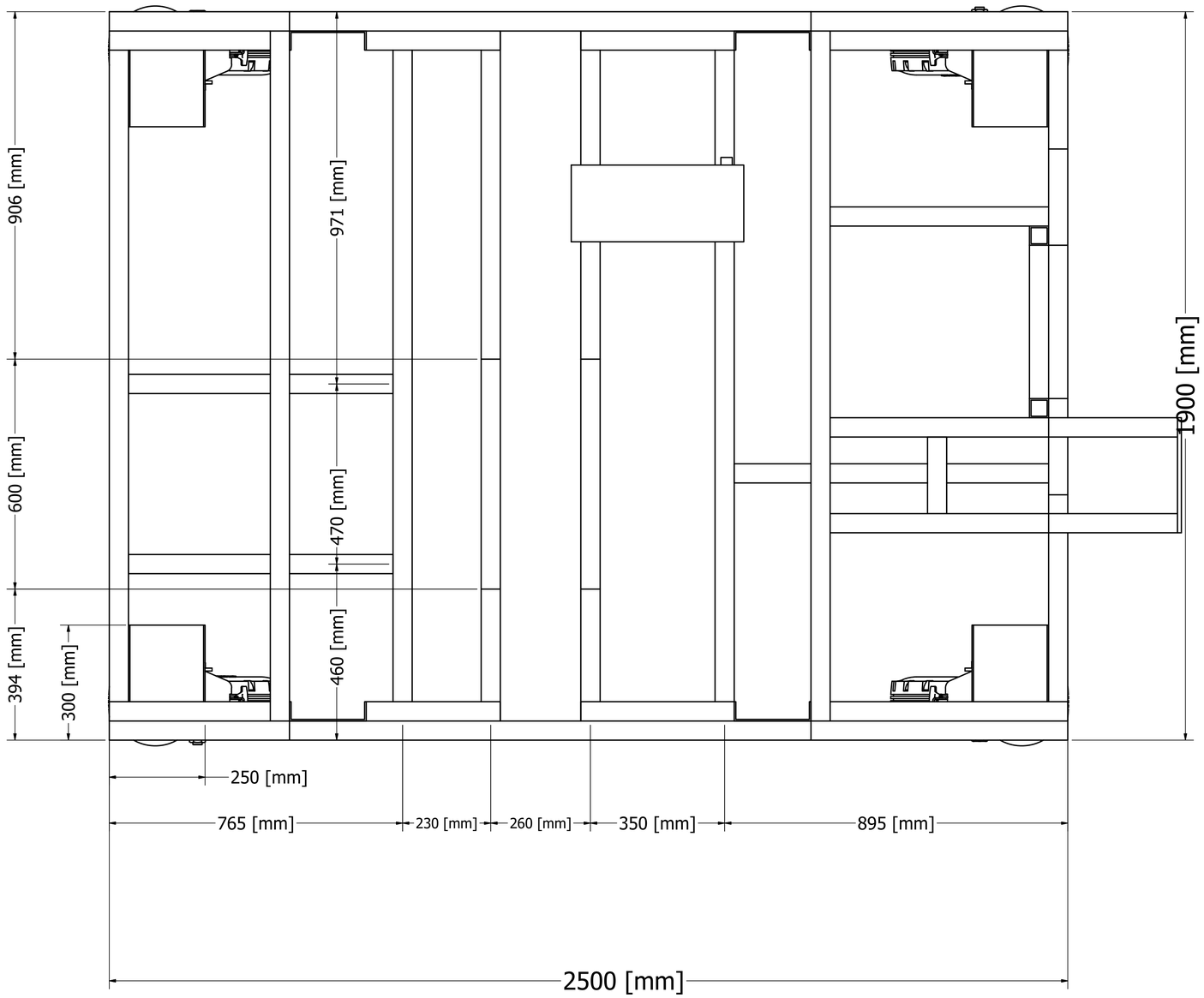
DRAWN Diego Alvarado Tapia	01-03-2018	Universidad Técnica Federico Santa María
CHECKED		TITLE Sistema neumático para llenado de contenedores
QA		
MFG		
APPROVED		
		SIZE D · DWG NO · REV
		SCALE 0,09 : 1 · SHEET 1 OF 3



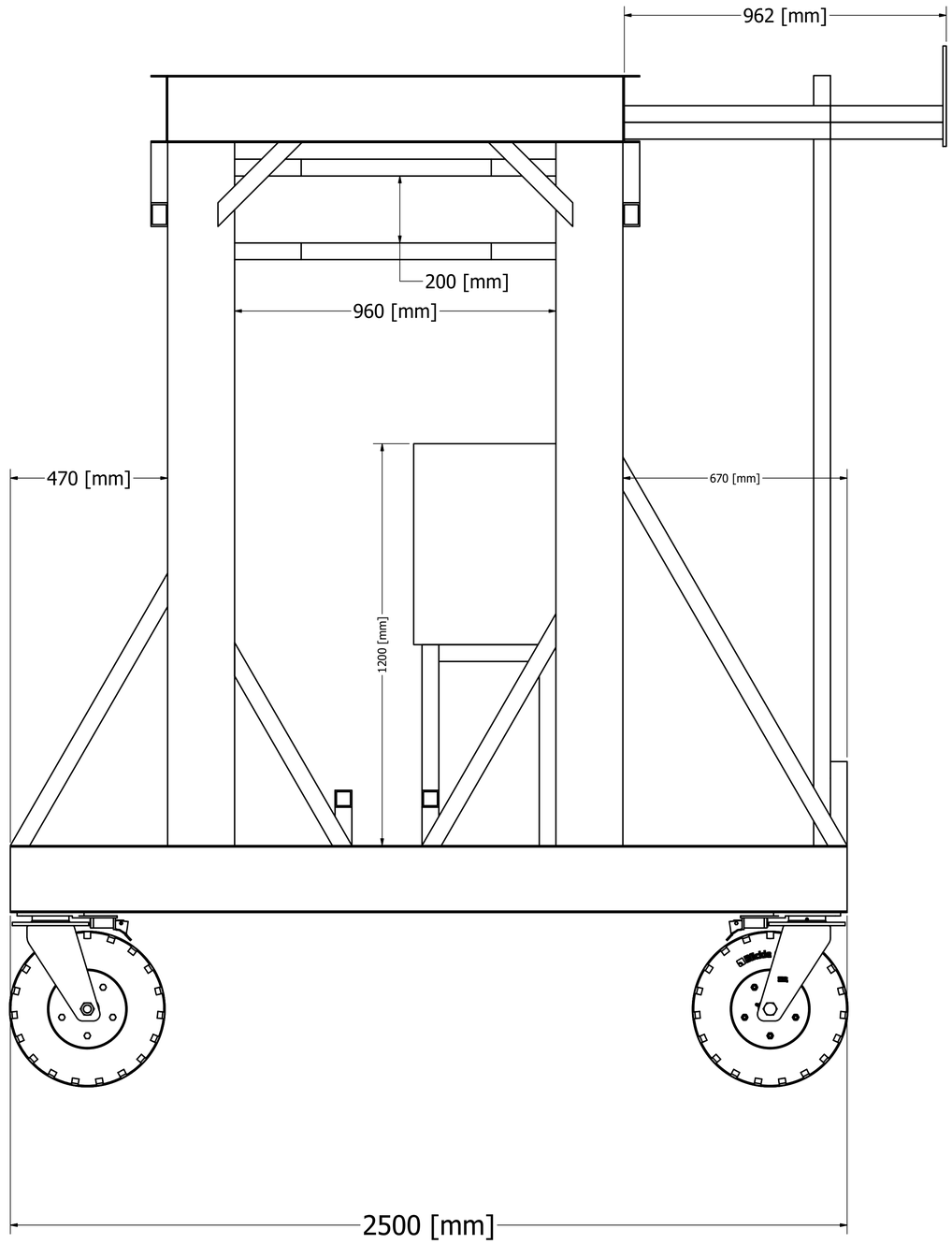
DRAWN Diego Alvarado Tapia	01-03-2018	Universidad Técnica Federico Santa María
CHECKED		TITLE Sistema neumático para llenado de contenedores
QA		
MFG		
APPROVED		
		SIZE D · DWG NO · REV
		SCALE 0,09 : 1 · SHEET 2 OF 3

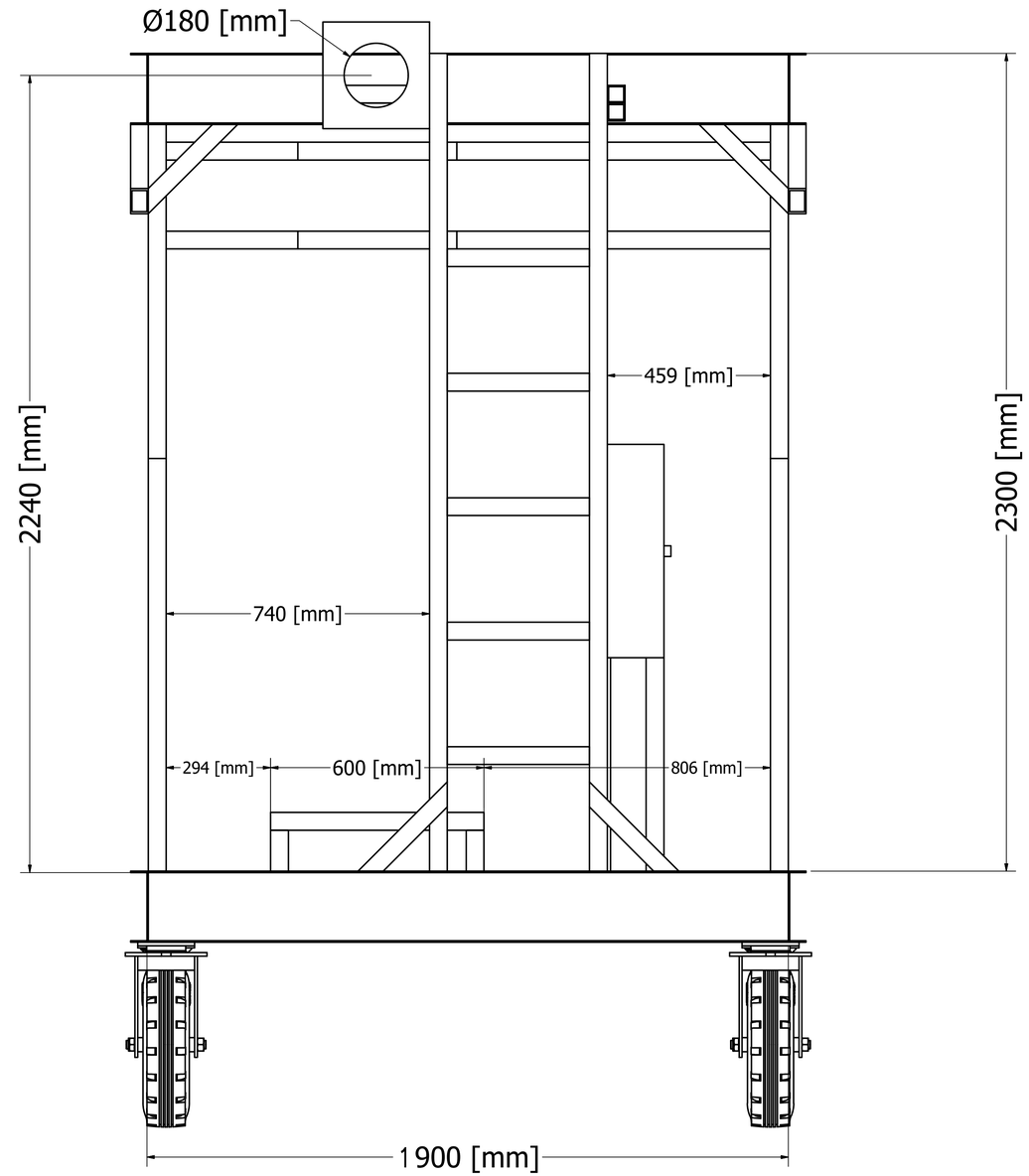


DRAWN Diego Alvarado Tapia	01-03-2018	Universidad Técnica Federico Santa María
CHECKED		TITLE Sistema neumático para llenado de contenedores
QA		
MFG		
APPROVED		SIZE D / DWG NO / REV
		SCALE 0,1 : 1 / SHEET 3 OF 3



DRAWN Diego Alvarado Tapia	03-02-2018	Universidad Técnica Federico Santa María
CHECKED		TITLE
QA		Estructura
MFG		
APPROVED		SIZE D / DWG NO / REV
		SCALE 0,15 / SHEET 2 OF 3





DRAWN Diego Alvarado Tapia	03-02-2018	Universidad Técnica Federico Santa María
CHECKED		TITLE
QA		Estructura
MFG		
APPROVED		
		SIZE D / DWG NO / REV
		SCALE 0,12 : 1 / SHEET 3 OF 3