



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

**DISEÑO Y EVALUACIÓN DE UN SISTEMA DE TESTEO DE IMPACTO
UNIPARTÍCULA (SPITS)**

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL MECÁNICO

JUAN CARLOS BERASAIN BERRIOS

PROFESOR GUÍA:
RUBÉN M. FERNÁNDEZ URRUTIA

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
ALI AKBARI- FAKHRABADI
RODRIGO HERNÁNDEZ

SANTIAGO DE CHILE
2021

RESUMEN DE LA MEMORIA PARA OPTAR
AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL
MECÁNICO
POR: **JUAN CARLOS BERASAIN BERRIOS**
FECHA: 2021
PROF. GUÍA: RUBÉN M. FERNÁNDEZ URRUTIA

DISEÑO Y EVALUACIÓN DE UN SISTEMA DE TESTEO DE IMPACTO UNIPARTÍCULA (SPITS)

El presente informe es un trabajo de diseño conceptual y detalle, el cual busca proponer un banco experimental para estudiar los procesos involucrados en una manufactura aditiva, donde se generen estructuras livianas y resistentes.

Bajo este contexto se plantea el Cold Spray como técnica utilizada, donde se abren las posibilidades para realizar coatings en materiales con distintas aleaciones, sin necesidad de fundir alguno de los materiales involucrados. En base a lo anterior, se establece modelar un banco de pruebas para impacto de partículas a altas velocidades (SPITS, por sus siglas en inglés), aumentando el tamaño de las partículas a utilizar. A pesar de que la máquina propuesta no puede realizar recubrimientos como una máquina de Cold Spray, si permite estudiar los fenómenos ocurridos durante el impacto, facilitando así el estudio de las condiciones asociadas a la adhesión de las partículas.

Para este trabajo de título se definen parámetros de funcionamiento, así como también la velocidad del proyectil del equipo. Además, los requerimientos como el espacio, seguridad del funcionamiento y los costos asociados a la manufactura, son considerados para las ubicaciones y cotizaciones del equipo.

Los recursos utilizados fueron computadores (personal, entre otros) para realizar el trabajo junto a diversos softwares como Microsoft Office Excel, Maple, Autodesk Inventor, Autodesk Fusion360.

Finalmente, los entregables propuestos para esta investigación son las ubicaciones, planos para construcción, cotizaciones y protocolo de pruebas, para poder dejar abierto el trabajo de título a un próximo estudiante que realice la construcción del equipo.

*Una frase de dedicatoria,
pueden ser dos líneas.*

Saludos totales

Agradecimientos

Primero se debe agradecer, como se debe, a mi familia, los cuales me han apoyado en todos mis descarriles, pasando por múltiples carreras y universidades. A mi papá por tener que aguatarse rabias conmigo y darme la oportunidad de estudiar sin tener ninguna deuda, que hoy en día no es común. A mi mamá, que, dentro de sus capacidades, me ayudaba en todo lo que pudiera, incluso regalándome un chocolate y un cariñito en noches largas de estudio, momento donde más se necesitaba. A mis hermanas que muchas veces me subían el animo con risas y en su momento se armaron de las armas que pudieron para apoyarme en el cambio de universidad. A mi polola, Jacki, que ella ha sido la que más en detalle ha visto mi paso por la carrera, aconsejándome a ratos y en otros llamándome la atención, siendo uno de los pilares fundamentales para pasar sin estrés la universidad.

Agradecer al profesor Guía, Don Rubén Fernández, el cual marcó una diligencia que no muchos profesores tienen, contagiándolo no solo a mí, si no que a todos sus alumnos tesistas. Por otra parte, el trabajo de título al que llegamos estuvo muy apegado a la realidad que se está viviendo (Pandemia), además de apegarse a muchos de los temas que me apasionan y encuentro interesantes. Profesores Co-Guía e integrante, Ali Akbari-Fakhrabadi y Rodrigo Hernández por su disposición y Alexis Barry, por todos los años que me aguantó como ayudante de Dibujo Mecánico, enseñándome mucho en el camino.

A los grandes amigos que hice durante la carrera, que fueron apareciendo de a poco Cristobal, Fernando A., Fernando M, Vicho, Lolon, David y muchos otros, gracias por aportar conversaciones, risas y en especial su compañía, que hizo muy llevadera la carrera.

Tabla de Contenido

1. Introducción	1
1.1. Motivación	1
1.2. Objetivo general	2
1.3. Objetivos específicos	2
1.4. Alcances	3
2. Antecedentes	4
2.1. Velocidad crítica	5
2.1.1. Adhesión	7
2.1.2. Ventajas y aplicaciones	9
2.1.3. Dificultades Cold Spray	10
2.2. Descripción de un sistema de testeo de impacto unipartícula.	11
2.3. Criterios de diseño par el sistema de lanzamiento	12
2.3.1. Cañón de lanzamiento	12
2.3.2. Estanque de gas	13
3. Metodología	14
3.1. General	14
3.2. Memoria diseño conceptual	14
3.2.1. Criterios de diseño para el sistema	16
3.2.1.1. Largo del tramo de aceleración	16
3.2.1.2. Presión de ensayo	16
3.2.1.3. Volumen ensayo	17
3.2.1.4. Soporte para el tramo de aceleración	18
3.3. Memoria de diseño de detalle	19
3.3.1. Requerimientos del sistema	20
3.3.2. Requerimientos electrónicos	20
4. Diseño del equipo	21
4.1. Componentes mecánicos	21
4.1.1. Subsistema velocidad de partículas.	21
4.1.2. Subsistema tramo de aceleración	24
4.1.2.1. Soporte de las barras	24
4.1.3. Subsistema estructura	25
4.1.4. Subsistema de vacío	26
4.1.5. Subsistema sustrato	30
4.2. Componentes electrónicos	30
4.2.1. Subsistema medición velocidad	30

4.2.2. Accionamiento válvula neumática	32
5. Selección de componentes comerciales	33
5.1. Componentes electrónicos	33
5.1.1. Accionamiento válvula de salida	33
Accionamiento mediante switch simple.	33
Accionamiento mediante Arduino.	34
Accionamiento mediante relé análogo.	34
5.2. Conexiones de gas	35
Vástago regulador de gas	35
Manómetro	36
Válvula de entrada	36
Válvula de salida	37
Uniones estanque-válvula	38
Estanque de gas a presión	38
6. Planificación de puesta en marcha	39
6.1. Alineación de barras	39
6.2. Procedimiento de utilización	40
7. Conclusiones	42
Objetivos	42
Proyecciones del Sistema	43
8. Mejoras y estudios aplicables al proyecto	44
Bibliografía	44
Anexo A. Memoria de cálculo	47
A.1. Caída de presión	47
A.2. Puntos de apoyo sobre las barras	48
Anexo B. Cotizaciones	49
Anexo C. Planos	61

Índice de Tablas

2.1.	Velocidades críticas para partículas de aluminio en distintos sustratos [5]. . . .	7
3.1.	Características partícula.	15
3.2.	Variables definidas para calcular largo óptimo. "Behind" muestra la variables de- tras de la partícula y "Front" delante de la partícula.	15
3.3.	Velocidad de partícula al final del tramo de aceleración, para distintos largos a 500 [psi] de presión inicial.	16
3.4.	Velocidades partícula para distintas presiones de ensayo.	17
3.5.	Velocidad de partícula para distintos volúmenes de ensayo.	18
4.1.	Deflexión de planchas de acrílico ante un esfuerzo de 1 [atm].	28
4.2.	Propiedades mecánicas del acrílico [14].	28
4.3.	Presión interna para distintos estados y sus respectivos esfuerzos máximos en algún punto de la caja.	28
5.1.	Propiedades físicas del helio.	35
A.1.	Volúmenes de los subsistemas y volumen total, opción comercial.	47
A.2.	Volúmenes de los subsistemas y volumen total, opción construida.	47

Índice de Ilustraciones

2.1.	Temperaturas y velocidades para distintos procesos de proyección térmica [1].	5
2.2.	Diagrama eficiencia de deposición en función de la velocidad de la partícula [2].	5
2.3.	Partículas fotografiadas con SEM de una partícula de aluminio depositada en distintos sustratos, a velocidades cercanas a las críticas: (a)296 [$m \cdot s^{-1}$], (b)310 [$m \cdot s^{-1}$], (c)369 [$m \cdot s^{-1}$], (d)459 [$m \cdot s^{-1}$] y (e)500 [$m \cdot s^{-1}$] en sustratos de Ni, Cu, Al, Acero y Titanio respectivamente [5].	8
2.4.	Ejemplo esquemático de entrelazamiento mecánico.	9
2.5.	Proceso de restauración de una pieza de transmisión de flap dañada mecánicamente.	10
2.6.	Ilustración esquemática de un sistema de testeo unipartícula [5].	11
2.7.	Diagrama de un tramo de aceleración de largo L, con sección transversal A, anexo a un estanque presurizado de volumen V_0	12
3.1.	Metodología general del trabajo de título.	14
3.2.	Gráfico de velocidad en función de la presión según el largo del cañón para una partícula de cobre, diámetro 2.77[mm].	15
3.3.	Velocidades a través del tramo de aceleración para distintas presiones de ensayo.	17
3.4.	Velocidades a través del tramo de aceleración para distintos volúmenes de ensayo.	17
3.5.	Posición de los soportes para la barra de aceleración.	18
3.6.	Presión al interior del sistema antes y después del lanzamiento [12].	19
4.1.	Diseño general del equipo.	21
4.2.	Estanque 5 litros con tapas elipsoidales.	22
4.3.	Estanque 5 litros con tapas planas.	23
4.4.	Análisis FEM de estanque tapas elipsoidales, esfuerzo mayor de 247 [MPa].	23
4.5.	Análisis FEM de estanque tapas planas, esfuerzo mayor de 245 [MPa].	24
4.6.	Soporte de la barra para el tramo de aceleración.	24
4.7.	Marco de soporte del equipo.	25
4.8.	Análisis FEM de viga, Esfuerzos de Von Mises.	25
4.9.	Análisis FEM de viga, deformación máxima en [mm].	26
4.10.	Caja acrílico para el sistema de vacío.	26
4.11.	Deflexión máxima para una plancha de acrílico espesor de 15 [mm].	27
4.12.	Deflexión máxima para una plancha de acrílico espesor de 20 [mm].	27
4.13.	Análisis FEM del sistema de vacío presión interna de 0,3 [atm], simulando vacío.	29
4.14.	Análisis FEM del sistema de vacío presión interna de 0,5 [atm].	29
4.15.	Análisis FEM del sistema de vacío presión interna de 5,9 [atm].	30
4.16.	Abrazadera ajustable para sustratos.	30
4.17.	Modelo 3D de cronógrafo.	31
4.18.	Diagrama esquemático de los componentes electrónicos [15].	32

5.1.	Diagrama electrónico de opción número uno para accionamiento de válvula de salida.	33
5.2.	Diagrama electrónico de opción número dos para accionamiento de válvula de salida.	34
5.3.	Diagrama electrónico de opción número tres para accionamiento de válvula de salida.	35
5.4.	Vástago regulador de gas.	36
5.5.	Manómetro utilizado, imagen representativa.	36
5.6.	Válvula de entrada de 1/4", en conjunto a la unión T.	37
5.7.	Válvula de bola de tres piezas con actuador neumático, marca Swagelok. . . .	37
5.8.	Unión plana metálica VCR, marca Swagelok.	38
5.9.	Estanque de gas comprimido.	38
6.1.	Alineación de barras mediante puntero laser.	39
6.2.	Puntero láser para calibración de soportes.	40

Capítulo 1

Introducción

El Cold Spray es un proceso donde partículas de tipo polvo (típicamente entre 5 a 100 μm) son aceleradas a velocidades muy altas (200 a 1.200 $m \cdot s^{-1}$) por un flujo de gas comprimido supersónico, a temperaturas menores a la de fusión de las partículas. Al impactar contra un sustrato, las partículas experimentan una deformación plástica extrema y rápida, la cual rompe la delgada capa de óxido que está presente en todos los metales y aleaciones. Esto permite formar un contacto íntimo entre las superficies expuestas de los metales bajo mucha presión local, permitiendo que ocurra la unión y que, consecuentemente, se puedan formar gruesas capas de material depositado rápidamente. La eficiencia de la deposición generalmente es muy alta, por sobre el 90 % en algunos casos, pero también se pueden presentar casos en los cuales la deposición es muy baja, al rededor de 0,5 %.

Actualmente, los mecanismos físicos, a través, de los cuales ocurre la adhesión de las partículas no son conocidos con certeza, por lo que es necesario estudiar el impacto de estas en distintos sustratos, además de que el hecho de estudiarlo de manera macroscópica es posible entender que ocurre desde un punto de vista microscópico, ya que el proceso en si depende de muchas variables, las cuales tienen una dependencia entre si de manera aleatoria o impredecible.

Dentro de la proyección térmica con las partículas frías está el Cold Spray, donde estas partículas impactan en estado sólido contra el sustrato. Hay grandes empresas desarrollando e investigando este como, como los son Dymet, Centerline, Impact Innovations, CSIRO, entre otras.

En el presente informe se detalle el trabajo de diseñar y proponer un sistema de testeo de impacto unipartícula de alta presión, con el cual se busca la construcción física y posteriores estudios y validaciones.

1.1. Motivación

Cold Spray es un proceso de proyección térmica, específicamente aspersion, donde se producen revestimientos sin un calentamiento relevante de las partículas proyectadas. A diferencia de otros procesos conocidos de proyección térmica, tales como plasma, arco eléctrico

o llama, no se requiere la fusión de las partículas para adherir estas al sustrato, si no que ocurre en estado sólido, por lo que se puede usar para depositar en materiales térmicamente sensibles.

En este proceso se utilizan gases comprimidos a alta temperatura, comúnmente nitrógeno, helio o incluso aire, como gas impulsor, que en algunos casos llega a ser supersónico, para acelerar el material particulado (típicamente metales con medidas entre 5 y 100 [μm]), esto para inducir la deposición al momento del impacto contra el sustrato. En los sistemas de Cold Spray estas altas velocidades se adquieren mediante toberas de Laval (convergente - divergente).

La unión partícula-sustrato o deposición se logra, a través, de la unión metalúrgica local y el enlazamiento mecánico que son causados por la deformación plástica localizada en las interfaces entre partículas y sustrato-partícula. Esto permite evitar los defectos que comúnmente se encuentran en los procesos de deposición de alta temperatura, tales como la oxidación, estrés térmico residual y transformación de base.

Uno de los principales desafíos de este proceso corresponde a la validación de los valores que se obtienen de la salida del tramo de aceleración de manera experimental, esto debido a que, dado las altas velocidades de salida, cualquier fluctuación en el flujo de gas, provocaría alteraciones en los resultados.

Es por esto que el presente trabajo de título tiene como objetivo el diseñar y modelar de un sistema de testeo de impacto unipartícula, o SPITS por sus siglas en ingles, el cual permite estudiar los impactos de manera macroscópica, esto para analizar que tan escalable son los procesos involucrados en el Cold Spray, además de poder controlar de manera más exacta todas las variables que influyen una deposición eficaz.

1.2. Objetivo general

Diseñar y construir un sistema que permita disparar partículas de aluminio y acero inoxidable a una velocidad específica contra un sustrato.

1.3. Objetivos específicos

- Definir parámetros a considerar en el diseño del sistema SPITS.
- Calcular necesidades de presión y volumen, en base a la ecuación matemática planteada, para acelerar la partícula sobre la velocidad crítica.
- Introducir modelo de banco de pruebas para impacto de partículas a altas velocidades.
- Generar planos para la construcción y protocolo de pruebas.
- Seleccionar materiales aptos para los requerimientos, junto a sus cubriciones y cotizaciones correspondientes.

1.4. Alcances

Este trabajo de título contempla el diseño y la realización de planos de construcción del banco de pruebas para impactos a altas velocidades, se contempla trabajar con partículas de material de aluminio y acero inoxidable, alcanzando velocidades mayores a las velocidades críticas discutidas en un apartado posterior. Esta investigación no contempla la construcción y ensamblaje del sistema, pero si las condiciones del semestre de otoño del año 2021 son óptimas, se podría realizar, por lo que se deja como alcance opcional.

Capítulo 2

Antecedentes

Los diferentes métodos de proyección térmica tienen en común el aporte de energía cinética y energía térmica al material de recubrimiento, normalmente en forma de polvo o varilla. El material de partida normalmente se funde total o parcialmente y se proyecta sobre una superficie limpia donde impacta e interacciona mecánicamente e incluso metalúrgicamente con el sustrato. Las características del recubrimiento dependen esencialmente del proceso de proyección térmica escogido, de los parámetros de proyección y del material que se proyecta.

En comparación con otros métodos de alteración superficial, la proyección térmica presenta una gran versatilidad, en cuanto a los materiales que pueden proyectarse y los sustratos o superficies que se pueden utilizar. Prácticamente todos los materiales que se funden sin descomponerse, dando una fase líquida estable, se pueden utilizar para formar recubrimientos por proyección térmica convencional. Aunque el material proyectado llegue al sustrato fundido o parcialmente fundido, el sustrato no se expone a altas temperaturas, por lo cual su forma y características estructurales y mecánicas no cambian a modo macro, a diferencia de lo que se sucede en soldadura y recargos por soldadura, técnicas en las cuales se genera una zona afectada por el calor.

Si se habla específicamente de la proyección térmica llamada Cold Spray, una de sus características principales es que se evitan las oxidaciones en el recubrimiento, se evitan los cambios de fases, los cuales dejan micro estructuras impredecibles y permite trabajar con materiales sensibles a las temperaturas.

En la figura 2.1 se observan las distintas tecnologías de proyección térmica en función del rango de temperatura y velocidad de las partículas. Es posible observar que el Cold Spray (Proyección fría CGS) es la que presenta menor temperatura.

necesariamente es válido para ensayos unipartícula.

- Si $V_p \ll V_{crit}$ la partícula rebota al momento del impacto.
- Si $V_p < V_{crit}$ puede ocasionar abrasión en el sustrato.
- Si $V_p \geq V_{crit}$ las partículas se deforman plásticamente y se adhieren al sustrato o entre sí.

Al aumentar la velocidad de las partículas, es posible observar que simultáneamente aumenta la eficiencia, por ende, una unión exitosa se logra cuando $V_p \geq V_{crit}$, en caso contrario solo se logra una erosión del sustrato. Esta velocidad crítica depende del material y dictamina la transición de erosión del sustrato a deposición de las partículas. La velocidad que se logra alcanzar viene dada de variados parámetros, entre los cuales es posible encontrar tipo de gas de trabajo, presión del sistema delante y atrás de la partícula, temperatura del ensayo, tamaño de las partículas y propiedades de los materiales usados. Las partículas de menor tamaño alcanzarán velocidades mayores a las de tamaño mayor, pero en caso de mantener las mismas condiciones de ensayo, tales como temperatura y velocidad, las partículas de mayor tamaño presentan mayor energía en su estado inicial, por lo que existe una probabilidad mayor de adhesión.

Es posible marcar una influencia de la presión y temperatura del gas utilizado, ya que al aumentar la presión del gas de trabajo, se incrementa la velocidad de las partículas, mientras que al incrementar la temperatura del gas, no solo afecta la velocidad de las partículas, si no que además afecta la temperatura de las partículas. El incrementar la temperatura de las partículas es posible mejorar el ablandamiento térmico, el cual es importante para las uniones. La deposición mejora en general al aumentar la presión y la temperatura [3].

Al analizar un modelo SPITS, se puede tomar supuestos como comportamiento adiabático y expansión isotérmica del gas. Si se quiere conocer la velocidad de salida v , de un proyectil de masa m , lanzado con una presión inicial P_0 . Se modela inicialmente un estanque a presión de volumen V_0 , conectado a un tramo de aceleración con una sección transversal A . Mientras el gas presurizado en el estanque se expande, el gas provee una fuerza que empuja el proyectil a lo largo del largo L del tramo de aceleración, antes de que salga del mismo. La fuerza total del proyectil se asume como la suma de las fuerzas del gas en el estanque $AP(x)$, la fuerza del aire del tramo de aceleración a presión ambiental AP_{atm} y una pequeña fuerza de fricción lineal f entre el proyectil y el tramo de aceleración. Todo esto resulta en la siguiente ecuación: [4]

$$F = m \frac{d^2x}{dt^2} = mv \frac{dv}{dx} = AP(x) - AP_{atm} - f \quad (2.1)$$

El volumen detrás del proyectil incrementa durante su movimiento dentro del tramo de aceleración: $V(x) = V_0 + Ax$. En caso de asumir expansión adiabática, como se nombró anteriormente, la ecuación resulta en:

$$P(x)(V_0 + Ax)^\gamma = P_0V_0^\gamma \quad (2.2)$$

Para gases diatómicos, tales como el aire $\gamma = 7/5$ y $V_0 = Ax_0$, por lo que el caso adiabático resulta en:

$$mv_{ad} \frac{dv_{ad}}{dx} = A \left(\frac{P_0 V_0^\gamma}{(V_0 + Ax)^\gamma} - P_{atm} \right) - f \quad (2.3)$$

Esto conlleva que la velocidad de salida cuando $x = L$ es:

$$v_{ad} = \sqrt{\frac{2}{m} \left(\frac{P_0 V_0}{\gamma - 1} \left(1 - \left(\frac{V_0}{AL + V_0} \right)^{\gamma-1} \right) - ALP_{atm} - Lf \right)} \quad (2.4)$$

Si las velocidades de coldspray se comparan con las velocidades de SPITS, es posible medir variaciones de velocidad crítica al cambiar la presión y la temperatura de ensayo, en algunos casos llegando a bajar en 50 [m/s] al aumentar en 100 [°C] la temperatura del gas [3]. En la tabla 2.1 es posible observar algunas velocidad críticas de partículas de aluminio contra sustratos de variados materiales.

Tabla 2.1: Velocidades críticas para partículas de aluminio en distintos sustratos [5].

Material	Velocidad crítica [m/s]
Ni	296
Cu	301
Al	353
Acero	432
Ti	500

Estas velocidades críticas fueron calculadas y luego probadas con experimentación en un ambiente controlado en un sistema SPITS, donde el impacto se realizó en una cámara de vacío, de partículas de aluminio de 1 [mm] de diámetro contra sustratos de distintos materiales.

2.1.1. Adhesión

La deposición de las partículas en el sustrato se logra a través de la unión metalúrgica local y el entrelazamiento metálico, los cuales son causados por la deformación plástica localizada en las interfaces entre partículas y sustrato-partícula. Durante el impacto, las partículas sólidas sufren una deformación plástica, rompiendo las películas de óxido delgadas de la superficie, logrando un contacto íntimo, el cual combinado con una alta presión de contacto promueve la unión metalúrgica con la superficie. Esto permite evitar los defectos que comúnmente se encuentran en los procesos de deposición de alta temperatura, como la oxidación, estrés térmico residual y la transformación de fase.

El primer fenómeno, conocido como *Adiabatic Shear Instability*, junto con el ablandamiento térmico tienen roles importantes ante los múltiples procesos microscópicos que ocurren para

realizar una unión eficaz sustrato-partícula [6]. Sin embargo, este mecanismo no es necesario para que exista la adhesión de partículas [7].

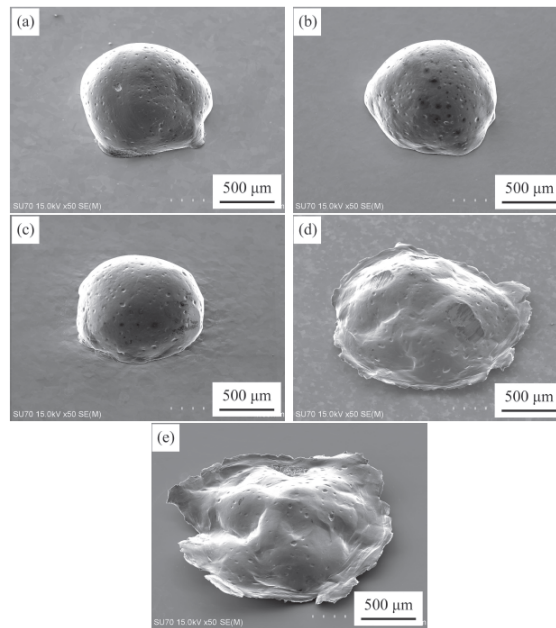


Figura 2.3: Partículas fotografiadas con SEM de una partícula de aluminio depositada en distintos sustratos, a velocidades cercanas a las críticas: (a) $296 [m \cdot s^{-1}]$, (b) $310 [m \cdot s^{-1}]$, (c) $369 [m \cdot s^{-1}]$, (d) $459 [m \cdot s^{-1}]$ y (e) $500 [m \cdot s^{-1}]$ en sustratos de Ni, Cu, Al, Acero y Titanio respectivamente [5].

Otro mecanismo propuesto es el de *entrelazamiento mecánico*, en el cual el impacto de las partículas sobre el sustrato provoca una deformación plástica que permita la formación de aletas en el sustrato, las que luego envuelven la partícula, conllevando un entrelazamiento mecánico entre la partícula y el sustrato [8]

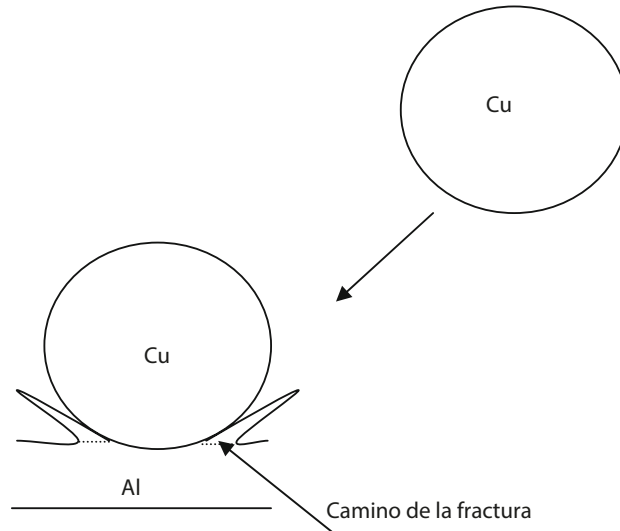


Figura 2.4: Ejemplo esquemático de entrelazamiento mecánico.

2.1.2. Ventajas y aplicaciones

Una ventaja de este tipo de manufactura frente a otros procesos de proyección térmica, donde normalmente se funde el material, es el evitar un proceso de solidificación, el cual es difícil de prever. En materiales sensibles a la oxidación, es necesario que no exista fusión y luego solidificación del material, o cuando se busca una baja contaminación en el recubrimiento, ya que en el Cold Spray las partículas se mantienen en estado sólido en todo el proceso.

Otra característica importante es que al impactar las partículas se encuentran en estado sólido y se deforman plásticamente, manteniendo su micro estructura inicial, por lo que se obtiene un material más resistente y con mejores propiedades mecánicas.

El equipo permite también el uso de materiales sensibles a la oxidación, tal como es el caso del Aluminio, Titanio, Cobre e incluso Carburo de Tungsteno. Además, permite depositar materiales con un alto punto de fusión tal es el Niobio y otras superaleaciones metálicas.

En cuanto a usos y aplicaciones de Cold Spray, además de generar revestimientos, es posible realizar reparaciones de piezas mecánicas deterioradas, en la figura 2.5 es posible ver una pieza dañada y su consecuente reparación mediante Cold Spray y postprocesado de maquinado [9].

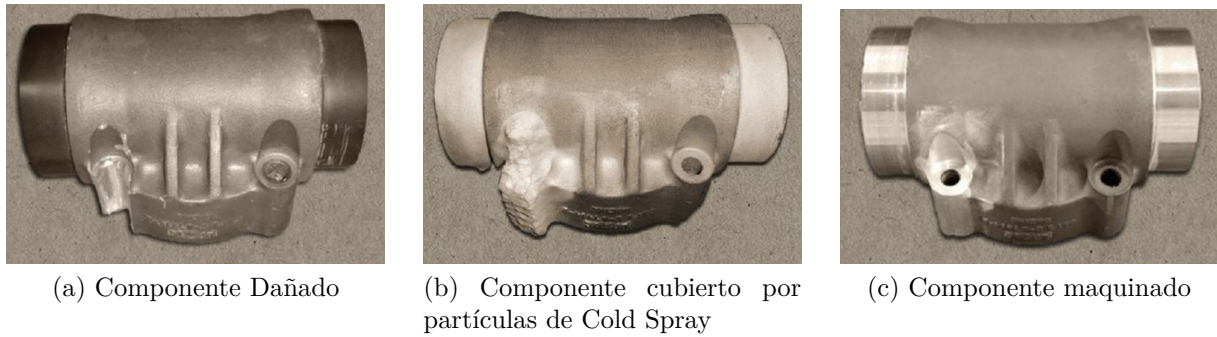


Figura 2.5: Proceso de restauración de una pieza de transmisión de flap dañada mecánicamente.

2.1.3. Dificultades Cold Spray

El Cold Spray se puede clasificar como un proceso estocástico, ya que depende de una sucesión de variables aleatorias que evolucionan en función de otra variable, en general con el tiempo. Todas estas variables presentan su propia función de distribución de probabilidad, estando o no correlacionadas entre si. Esto atribuye que no necesariamente todas las partículas se quedarán adheridas al sustrato al momento de realizar el ensayo.

Si se encasillan algunas dificultades que presenta el realizar deposición mediante Cold Spray se puede nombrar que el tamaño de las partículas, que bordean los 1 a 50 μm , con velocidades entre 300 a 1.000 [m/s], dificultan la toma de fotometría de alta velocidad, ya que en general el método con el cual se generan los fotogramas de un video es con escaneo vertical, resultando en una imagen en la cual se "corta" la partícula.

Otra dificultad es el escalamiento del ensayo, ya que si se aumenta el radio de la partícula al doble, esto se traduce en que su volumen aumenta ocho veces, provocando que el cuerpo tenga más inercia y cuesta más llevarlo a la velocidad necesaria para que se provoque deposición del material en el sustrato. A priori no se sabe si el proceso de Cold Spray es escalable, sus velocidades de deposición y los mecanismos de adhesión.

Una manera de facilitar la unión sustrato-partícula es remover la fina capa de óxido que existe en el sustrato, teniendo una muestra con un pulido de espejo. Esto muchas veces no es viable ya que, dependiendo del material y condiciones ambientales, el tiempo entre que se termina el pulido y se realiza el ensayo, puede ser suficiente para volver a crear una capa de óxido sobre el sustrato.

Para este trabajo de investigación se propone utilizar los principios del Cold-Spray en partículas de mayor tamaño a las utilizadas usualmente, en este caso de 3 [mm] de diámetro aproximadamente, esto para estudiar de manera macroscópica, facilitando el análisis visual con fotometría y cámaras de alta velocidad. Por otra parte, al tener una cámara de vacío al final de trayecto de aceleración, en donde se realiza el impacto, es posible estudiar muestras que se encuentran pulidas, donde se elimina las finas capas de oxido, otorgando una mayor oportunidad para la adhesión.

2.2. Descripción de un sistema de testeo de impacto unipartícula.

Para asegurar una deposición de la partícula sobre el sustrato, hay ciertas variables que se deben controlar de la mejor manera posible, tales son como, la velocidad de la partícula al momento del impacto, la temperatura del ensayo, los materiales involucrados, entre otros. Estas variables se pueden manejar controlando la presión detrás y delante de la partícula acelerada, controlando la temperatura en la cual está inmerso el sustrato y cuan repetible son los resultados. Todo esto desencadena una posible compresión del proceso de Cold Spray.

Una ilustración esquemática del SPITS se muestra en figura 2.6. En este tipo de sistemas es necesario conocer la masa y geometría de la partícula, al igual que su velocidad previa al impacto, de esta manera esta última es medida usualmente por 2 portales láser continuos, espaciados por un valor conocido y constante. La diferencia de tiempo con el cual la partícula atraviesa cada láser es detectada por un osciloscopio. Ya que se conoce la distancia entre los portales y además se conoce la diferencia de tiempo de la interacción de cada láser, es posible calcular la velocidad. Usualmente se utiliza gases inertes, tales como nitrógeno (N_2) y helio (He), para acelerar el sistema a distintas velocidades finales.

Si se habla de Cold Gas Spray (CGS) es posible encontrar dos diseños comerciales típicos, LPCS (Low-Pressure Cold Spray), el cual utiliza nitrógeno o aire comprimido y HPCS (High-Pressure Cold Spray), donde se utiliza normalmente Helio, pero en algunos casos se puede usar nitrógeno de igual manera. El tipo de gas, presión y temperatura que se utilice durante el ensayo puede aumentar o disminuir la velocidad y la oxidación de la partícula.

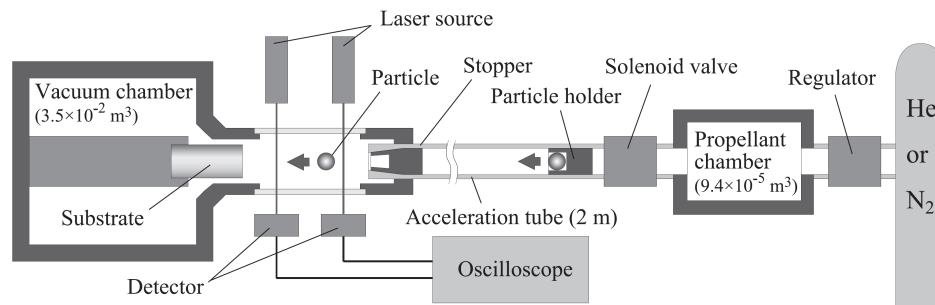


Figura 2.6: Ilustración esquemática de un sistema de testeo unipartícula [5].

El sistema SPITS se puede separar en subsistemas para controlar de mejor manera las variables importantes. Los subsistemas son Subsistema de velocidad de partícula, donde se describe el estanque a presión, su volumen, presión de trabajo, gas de trabajo y descarga del mismo. Luego se encuentra el subsistema del tramo de aceleración, donde se selecciona un largo para el tramo de aceleración para minimizar la pérdida de presión y la pérdida de energía por roce entre la partícula y el cañón. Al final del tramo de aceleración se posiciona el subsistema de vacío, donde se ve la viabilidad de tener un vacío controlado, para minimizar efectos adversos como presión ambiental, que disminuye la aceleración de la partícula, oxidación de la partícula y permite realizar verificaciones visuales inmediatas con fotometría

de alta velocidad. Para soportar todos estos subsistemas, se debe idear y seleccionar materiales aptos en el subsistema de estructura, donde se selecciona elementos que anclen los subsistemas, asegurando mínimas desviaciones, además de brindar más seguridad para los operadores.

2.3. Criterios de diseño par el sistema de lanzamiento

2.3.1. Cañón de lanzamiento

La función principal del cañón es actuar como tramo de aceleración, por lo que es necesario seleccionar un largo adecuado. En tramos de aceleración largos se disipa más energía como fricción, mientras que en tramos cortos se desperdicia más presión del gas.

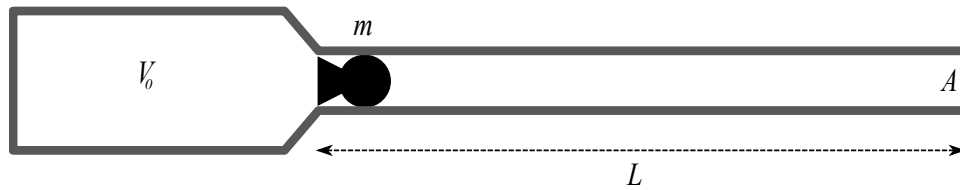


Figura 2.7: Diagrama de un tramo de aceleración de largo L , con sección transversal A , anexado a un estanque presurizado de volumen V_0 .

Si se analiza los modelos de expansión de gas isotérmico y adiabático, se desea conocer la velocidad v de la partícula de masa m al final del tramo de aceleración, acelerado por un gas a presión con volumen inicial V_0 . Al momento de abrir el paso de gas, proveniente del estanque presurizado, este se comienza a expandir, proveyendo una fuerza necesaria para mover el proyectil a través del tramo de aceleración de largo L antes de que salga del cañón. La fuerza total que experimenta el proyectil dentro del tramo del cañón se asume ser la suma ejercida por el gas, la fuerza en contra ejercida por la atmósfera y la pequeña fuerza de fricción lineal partícula-cañón.

La selección del largo del cañón se hace en consideración a la velocidad del proyectil V_p , según la ecuación 2.5, en donde A_p es el área transversal de la partícula, m_p es la masa de la partícula, P_B y P_F son las presiones atrás (*behind*) y delante (*front*) de la partícula respectivamente, γ_B y γ_F son los coeficientes de dilatación adiabática o *heat capacity ratio* atrás y delante de la partícula respectivamente y a_B y a_D las velocidades del sonido atrás y frente a la partícula respectivamente.

$$\frac{dV_p}{dt} = \frac{A_p}{m_p} \left[P_B \left(1 - \frac{\gamma_B - 1}{2a_B} V_p \right)^{\frac{2\gamma_B}{\gamma_B - 1}} - P_F \left(1 + \frac{\gamma_F - 1}{2a_F} V_p \right)^{\frac{2\gamma_F}{\gamma_F - 1}} \right] \quad (2.5)$$

Otro factor a considerar para la construcción del cañón es la rugosidad interna, la cual debe garantizar el libre deslizamiento del proyectil. Esta consideración permite descartar todo

tipo de cañerías con costura.

2.3.2. Estanque de gas

Este elemento es el estanque presurizado que se encuentra al inicio del tramo de aceleración, teniendo como función principal el soportar las altas presiones a las cuales se quiere elevar el gas para poder alcanzar o superar las velocidades críticas descritas en la tabla 2.1.

Se debe calcular el volumen del estanque de manera de reducir en lo posible la pérdida de presión ($\Delta P\%$), además es necesario calcular la presión final del ensayo, esto para la caja de vacío al final del sistema. Para esto se utiliza la Ley de Boyle-Mariotte [10], ecuación 3.2

Capítulo 3

Metodología

3.1. General

En la figura 3.1 se muestra la metodología general a seguir en el trabajo de título. El procedimiento consiste en seleccionar los parámetros de funcionamiento del equipo, para luego pasar a las etapas de diseño. La fase de diseño culmina con las cubicaciones y selección de materiales, para continuar con cotizaciones y planos de construcción.

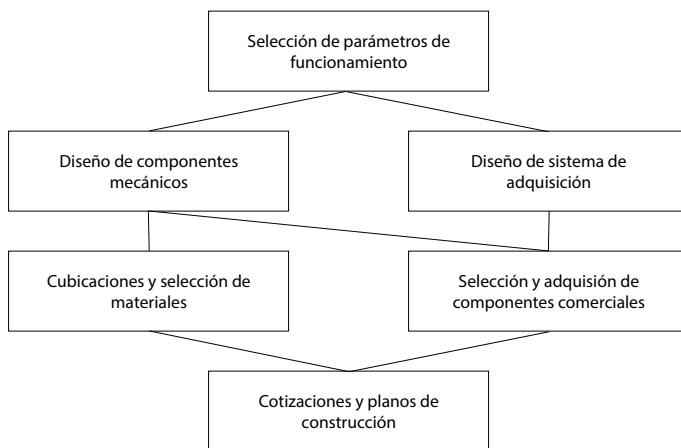


Figura 3.1: Metodología general del trabajo de título.

3.2. Memoria diseño conceptual

Para el diseño y la selección de los componentes mecánicos, se debe tener en cuenta las características físicas del ensayo, en donde la presión dentro del sistema del lanzamiento establece el criterio para la selección de los componentes comerciales. Por otra parte, los efectos de deflexión y pandeo deben ser verificados, de manera de asegurar que no existe influencia en el ensayo.

Tal como se describió en un apartado anterior, el tramo de aceleración es un elemento importante en el sistema y se debe calcular cual es el largo óptimo para la aceleración de la partícula en el sistema SPITS. Para esto se utiliza la ecuación 2.5, asumiendo de base algunos datos, tales como volumen inicial del estanque de presión, presión inicial y gas de trabajo.

En la figura 3.2 se muestra el gráfico comparativo entre velocidad y presión para distintos largos de cañón. Algunas variables definidas se muestran en la tabla 3.1 y 3.2. Se seleccionó inicialmente cobre como el material de la partícula, ya que presenta la mayor densidad dentro de los materiales que se propone utilizar como partícula.

Tabla 3.1: Características partícula.

Variable	[-]
Material partícula	Cobre
Diámetro partícula	2,77 [mm]

Tabla 3.2: Variables definidas para calcular largo óptimo. "Behind" muestra la variables detras de la partícula y "Front" delante de la partícula.

	Variable	[-]
Behind	Volúmen	1.000 [cc]
	Presión	500 [psi]
	a	1007 [m/s]
	γ	1,67
Front	Volúmen	78.014 [cc]
	Presión	0,3 [atm]
	a	343 [m/s]
	γ	1,401

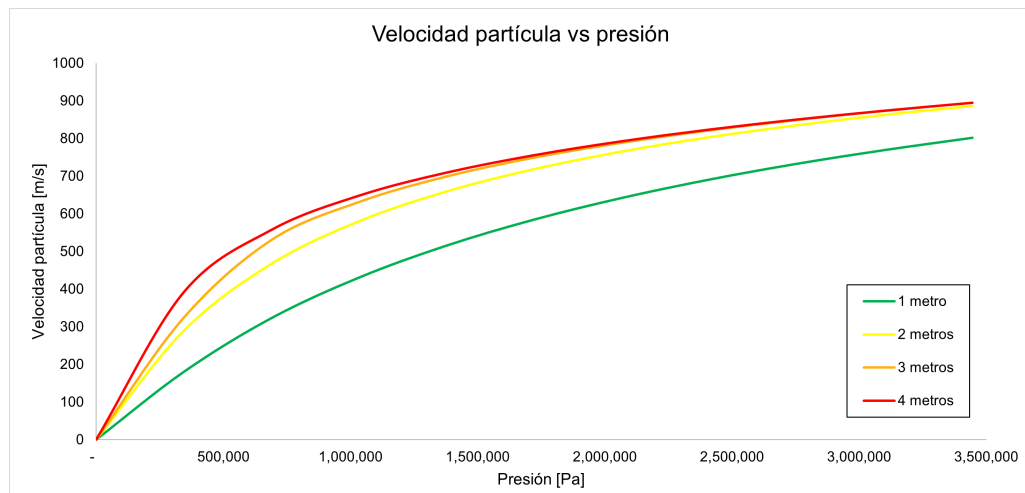


Figura 3.2: Gráfico de velocidad en función de la presión según el largo del cañón para una partícula de cobre, diámetro 2.77[mm].

3.2.1. Criterios de diseño para el sistema

3.2.1.1. Largo del tramo de aceleración

Con el gráfico de la figura 3.2 es posible ver que la diferencia de perfil de velocidad de un tramo de aceleración de 1 [m] con respecto a uno de 2 [m] es un incremento de aproximadamente 90 [m/s], si esta comparación se hace entre los tramos de 2 y 3 [m], existe un aumento de igual manera, pero en este caso es 9 [m/s], es importante destacar que al comparar los tramos de 3 y 4 [m], el tramo de 4 [m] disminuye su velocidad, lo más probable debido a las limitaciones dado por el volumen, velocidad del sonido del gas y el roce partícula-cañón, en 0,3[m/s]. Por lo anterior se elige un tramo de aceleración de 2 [m].

Tabla 3.3: Velocidad de partícula al final del tramo de aceleración, para distintos largos a 500 [psi] de presión inicial.

Largo [m]	Velocidad Partícula [m/s]
1	802,1
2	886,7
3	895,5
4	895,2

3.2.1.2. Presión de ensayo

Inicialmente se ideó el sistema para que trabajara al rededor de los 500 [psi], tomando en cuenta que un parámetro importante para determinar la velocidad de la partícula al final de trayecto de aceleración es la presión, y que velocidad requerida en el ensayo depende de que materiales se están usando, ya que como se observa en la tabla 2.1, varían bastante las velocidades necesarias para asegurar la deposición.

Para el caso más denso, el cual sería partículas de cobre, se simularon las velocidades a distintas presiones en el gráfico de la figura 3.3, estas curvas son las velocidades en el tramo de aceleración de 2 [m]. Los valores alcanzados al final del trayecto están presentes en la tabla 3.4

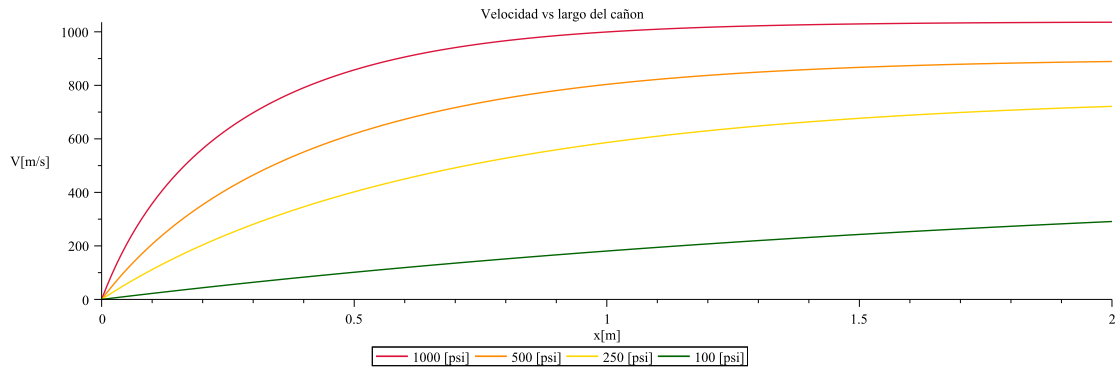


Figura 3.3: Velocidades a través del tramo de aceleración para distintas presiones de ensayo.

Tabla 3.4: Velocidades partícula para distintas presiones de ensayo.

Presión [psi]	Velocidad partícula [m/s]
1000	1035.89
500	889.11
250	721.36
100	291.09

3.2.1.3. Volumen ensayo

En la sub-sección Subsistema velocidad de partículas, se detallaron los valores iniciales del estanque a presión, tomando un volumen de 5.000 [cc]. En la figura 3.4 se encuentra un gráfico que compara las velocidades del proyectil al final del tramo de aceleración, para una presión de 100 [psi], para distintos volúmenes.

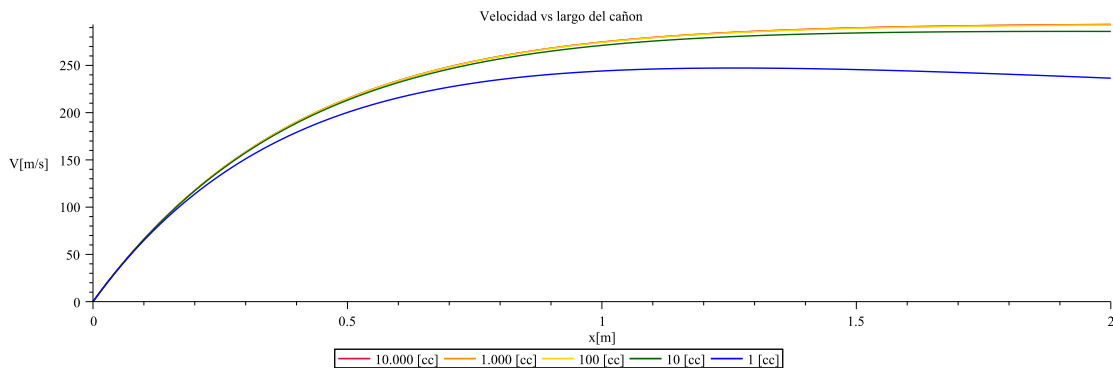


Figura 3.4: Velocidades a través del tramo de aceleración para distintos volúmenes de ensayo.

En la figura 3.4 es posible ver que el perfil de velocidades para distintos volúmenes, prác-

ticamente no cambia, se pueden ver las velocidades en más detalle en la tabla 3.5.

Tabla 3.5: Velocidad de partícula para distintos volúmenes de ensayo.

Volumen [cc]	Velocidad partícula [m/s]
10.000	291,09
1.000	291,03
100	289,07
10	283,05
1	251,11

A pesar de que se observa un comportamiento decreciente a medida que el volumen disminuye, no sigue el comportamiento normal que debería mostrar los perfiles de velocidad, dado los volúmenes trabajados, por lo que se piensa que la ecuación usada no diverge lo suficiente con volúmenes pequeños.

A pesar de lo anterior, es posible ver el comportamiento y tomar la decisión que no existe una diferencia importante entre elegir estanques a presión entre 10.000 y 1.000 [cc].

3.2.1.4. Soporte para el tramo de aceleración

El sistema de soporte debe ser tal que permite sostener el tramo de aceleración sin que sufra pandeos importantes, además de reducir las desviaciones provocadas por un tramo no recto. En la figura 3.5 se muestra una configuración de dos soportes para una barra.

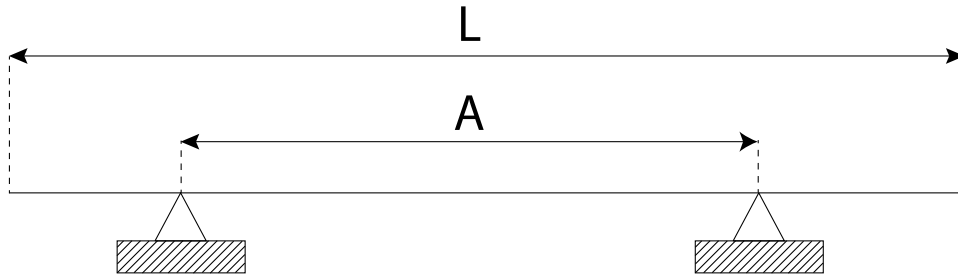


Figura 3.5: Posición de los soportes para la barra de aceleración.

La distancia A entre los soportes se determina utilizando la fórmula de Airy (ecuación 3.1), en donde L es el largo de la barra y n corresponde a la cantidad de soportes a considerar [11].

$$A = \frac{L}{\sqrt{n^2 - 1}} \quad (3.1)$$

Ley de Boyle-Mariotte

$$P_f = P_i \frac{V_i}{V_f} \quad (3.2)$$

Debido a que la estimación de la velocidad alcanzada por el proyectil se realiza en función de la presión en el estanque, es necesario analizar la pérdida de presión, y con esto, la presión final en la salida del proyectil. La pérdida de presión, dada por la ecuación 3.3, se calcula utilizando el valor de presión inicial o de diseño P_i , junto con la presión final P_f , obtenida de la ley de Boyle-Mariotte. Una representación de la pérdida de presión debido a la expansión del gas al abrir la válvula de la salida de muestra en la figura 3.6.

Pérdida de presión

$$\Delta P \% = 100 - \frac{P_f \cdot 100}{P_i} \quad (3.3)$$

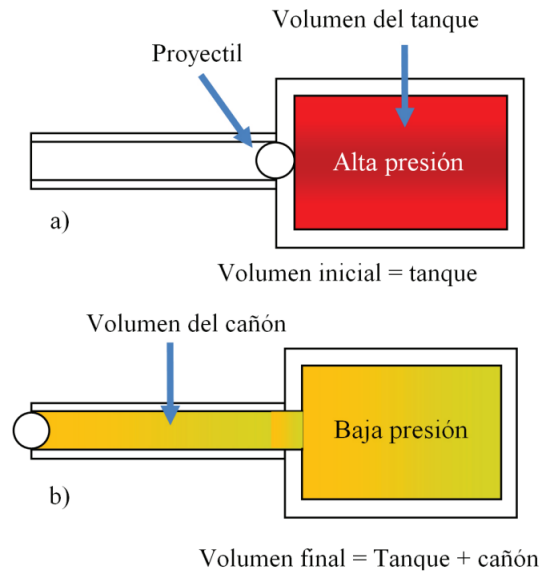


Figura 3.6: Presión al interior del sistema antes y después del lanzamiento [12].

3.3. Memoria de diseño de detalle

Inicialmente se realizaron las memorias de cálculo en Microsoft Excel, para realizar un proceso iterativo de ecuaciones simples. Esto sirvió hasta converger a la ecuación final 2.5, que por el hecho de ser una ecuación diferencial ordinaria, resultaba más fácil resolverla por métodos numéricos en el software Maple.

Para las primeras iteraciones y consecuentes estudios de elementos finitos, se utilizó el soft-

ware Autodesk Inventor, junto a su ambiente Nastran. Una vez decidido el diseño final, este mismo software se utilizó para realizar los planos de despiece y conjunto, para la construcción del sistema.

3.3.1. Requerimientos del sistema

En primer lugar un requerimiento es el tamaño de la partícula, ya que como se dijo anteriormente, hay una dificultad inherente para la medición de parámetros cuando la partícula de proyectada es muy pequeña, por lo que se utiliza en este caso una partícula de aproximadamente 3 [mm]. Para lograr realizar una comprobación externa con fometría de alta velocidad, se propone el realizar una cámara de vacío al final del trayecto con caras planas para minimizar la distorsión de la luz por curvatura del acrílico. Este acrílico no puede exceder el 20 % de su espesor cuando se somete al esfuerzo de prueba, que como máximo sería una diferencia de presión de 1 [atm] para los ensayos propuestos.

Tal como se mostró en la tabla 2.1, se debe igualar o superar las velocidades críticas para poder asegurar la deposición del material, estas velocidades están propuestas por Kiyohiro Ito, Yuji Ichikawa y Kazuhiro Ogawa en su experimentación con SPITS. En este informe se utilizó cobre como material de la partícula para los estudios, ya que este es el material más denso que se piensa proyectar, por lo que es el caso más pesimista.

3.3.2. Requerimientos electrónicos

Dentro del proceso de diseño para el sistema de adquisición del equipo, es necesario considerar los tiempos de respuesta de los componentes a seleccionar. El procedimiento para determinar los circuitos para el equipo se realizará de manera empírica, ajustando las conexiones y componentes para minimizar el error de la señal.

Además del sistema de adquisición o cronógrafo, se puede encontrar el accionamiento electrónico de la válvula de salida del estanque a presión, esta necesita componentes que aseguren un accionamiento rápido y constante de la válvula, eliminando factores de tiempo provocados por errores humanos.

Capítulo 4

Diseño del equipo

La etapa de diseño resuelve en general, la manera en que se montará cada componente. En la figura 4.1 se muestra la disposición general, junto a algunas zonas de interés para ensayos.



Figura 4.1: Diseño general del equipo.

4.1. Componentes mecánicos

4.1.1. Subsistema velocidad de partículas.

El primer diseño del estanque presentaba 5.000 [cc] de capacidad, por lo que se diseñó un estanque con una cañería sin costura de 8" SCH 40 en conjunto a tapas elipsoidales. El espesor necesario para resistir las presiones de ensayo, para el cilindro principal y las tapas, se calcula con las siguientes fórmulas [21]:

$$t_e = \frac{PR}{SE - 0.6P} \quad (4.1)$$

$$t_t = \frac{PR}{2SE - 0.2P} \quad (4.2)$$

La ecuación 4.1 corresponde al grosor que debe tener el casco cilíndrico y la ecuación 4.2 al espesor de las tapas, que en este caso tienen una forma elipsoidal, siendo P la presión de diseño, S el esfuerzo máximo del material a 6,89 [MPa], E la eficiencia de la soldadura y R el radio interno del estanque, en el caso de la ecuación 4.1 y D diámetro interno de la tapa elipsoidal.

Tomando en cuenta que se seleccionó una cañería 8" SCH 40, esta cuenta con un espesor de 8,1 [mm] y un diámetro externo de 219,07 [mm], por lo que el diámetro interno es 202,71 [mm]. El material seleccionado del estanque es acero 304L o 316L, este cuenta con un Yield Strength de 170 [MPa], además se asume que $E = 1$, que sería una soldadura perfecta. Con todos estos supuestos el espesor del casco queda en 4,213 [mm] y el espesor de la tapa elipsoidal en 4,127 [mm], por lo que se verifica que la cañería elegida tiene un espesor mayor al necesario, otorgándole un factor de seguridad adicional y para la tapa, se selecciona tapas con 5 [mm] de espesor.

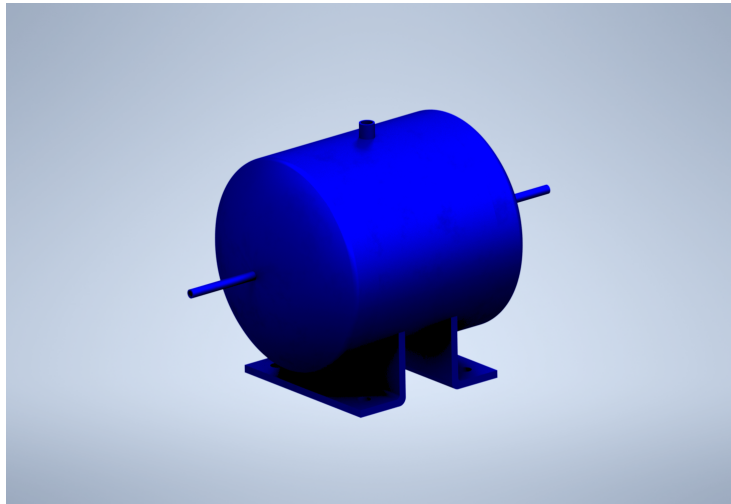


Figura 4.2: Estanque 5 litros con tapas elipsoidales.

Adicionalmente, como segunda opción, se exploró reemplazar las tapas elipsoidales con tapas planas, cortando una plancha de 20 [mm] de espesor, aunque tapas de este estilo no se encuentran dentro de la norma (ASME BPVC.VIII.1-2017), por lo que la única manera de comprobar que el estanque puede resistir las presiones de ensayo es con un análisis FEM de esfuerzos.

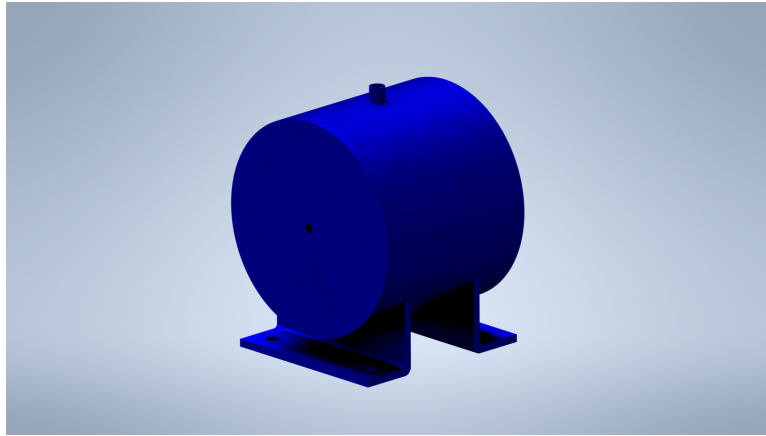


Figura 4.3: Estanque 5 litros con tapas planas.

Del análisis, realizado en el ambiente Nastran de Inventor, se obtuvieron esfuerzos mayores al esfuerzo de fluencia del material, tal como se ve en las figuras 4.4 y 4.5. Por lo que se optó por buscar una opción comercial que resistiera los esfuerzos necesarios.

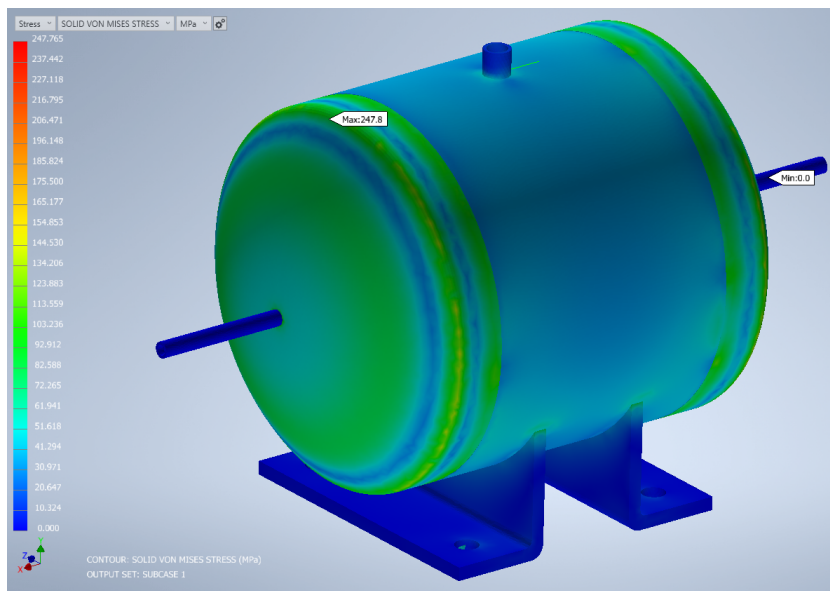


Figura 4.4: Análisis FEM de estanque tapas elipsoidales, esfuerzo mayor de 247 [MPa].

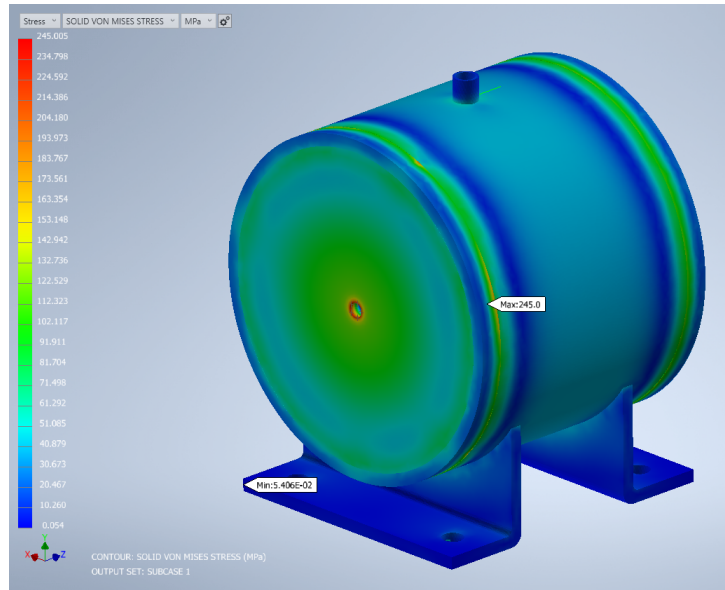


Figura 4.5: Análisis FEM de estanque tapas planas, esfuerzo mayor de 245 [MPa].

4.1.2. Subsistema tramo de aceleración

4.1.2.1. Soporte de las barras

En este sistema se pueden encontrar soportes de las barras, las cuales cumplen la función de soportar y alinear el sistema. Cada soporte posee ajustes en las tres dimensiones, además de contar con un buje de teflón, encargado de disminuir el roce. El diseño de los soportes se inspira en un modelo propuesto por los autores Zanettin, Young y Hussain en el año 2012 [13].



Figura 4.6: Soporte de la barra para el tramo de aceleración.

4.1.3. Subsistema estructura

La estructura del equipo debe asegurar una superficie libre de deflexiones en la operación. Es por esto que se decide montar una viga IPE de alma 140 [mm], con un largo de 6.000 [mm] y soportado por seis apoyos, los cuales se encargan de elevar el sistema, haciéndolo más cómodo para la realización de ensayos. La altura desde el piso hasta la cara superior de la viga es de 1.090 [mm]. En la figura 4.7 se muestra el ensamblaje de la viga, donde se aprecian los seis soportes, los cuales son ubicados a una distancia de 1.082 [mm] entre sí.



Figura 4.7: Marco de soporte del equipo.

El esfuerzo equivalente y la deflexión son calculados mediante simulación de elementos finitos en el software Inventor, específicamente en el ambiente de Nastran. El esfuerzo equivalente resultante se determina en 1,5 [MPa] (figura 4.8), mientras que la deflexión máxima alcanza un valor de $1,145 \cdot 10^{-3}$ [mm], tal como se observa en la figura 4.9, la cual se considera despreciable para el estudio.

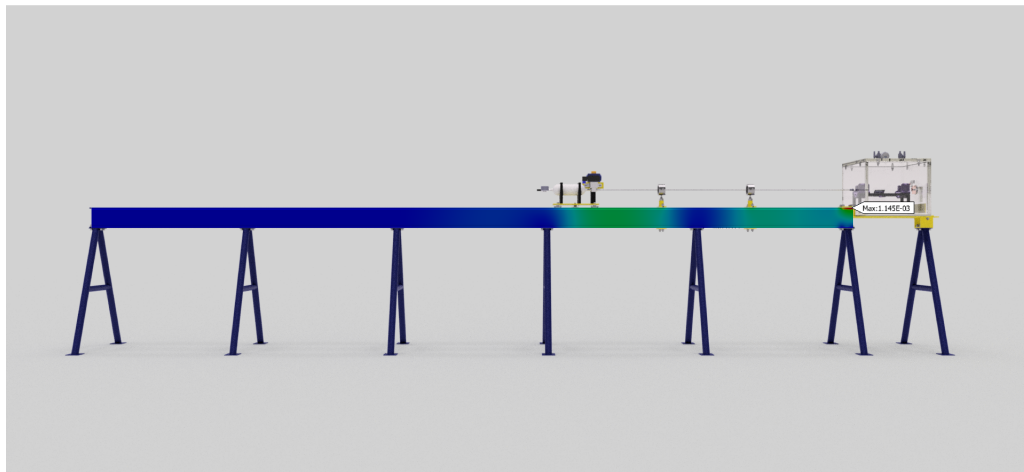


Figura 4.8: Análisis FEM de viga, Esfuerzos de Von Mises.

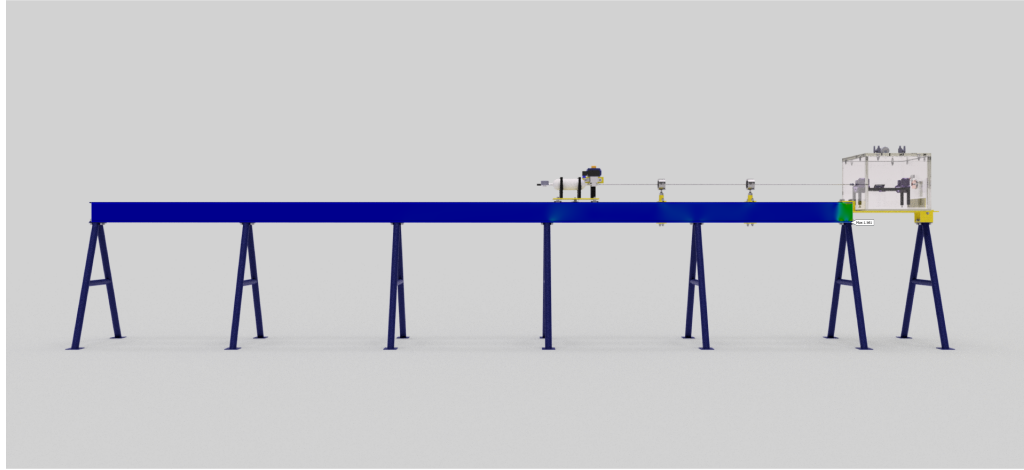


Figura 4.9: Análisis FEM de viga, deformación máxima en [mm].

4.1.4. Subsistema de vacío

Los requerimientos generales del subsistema de vacío comienzan con tener un gran volumen de trabajo, ser de acrílico transparente para poder realizar verificaciones visuales y fotometría fácilmente y que resista diferencias de presión entre vacío y 1 atmósfera. Bajo estas premisas se ideó realizar una cámara de vacío de forma paralelepípeda, dimensiones exteriores de 50 x 50 x 40 [cm], hecho con planchas de acrílico transparente. Cinco de las caras están pegadas con epoxi transparente, y la última cara está sellada con respecto al sistema con O-ring y cerrojos.

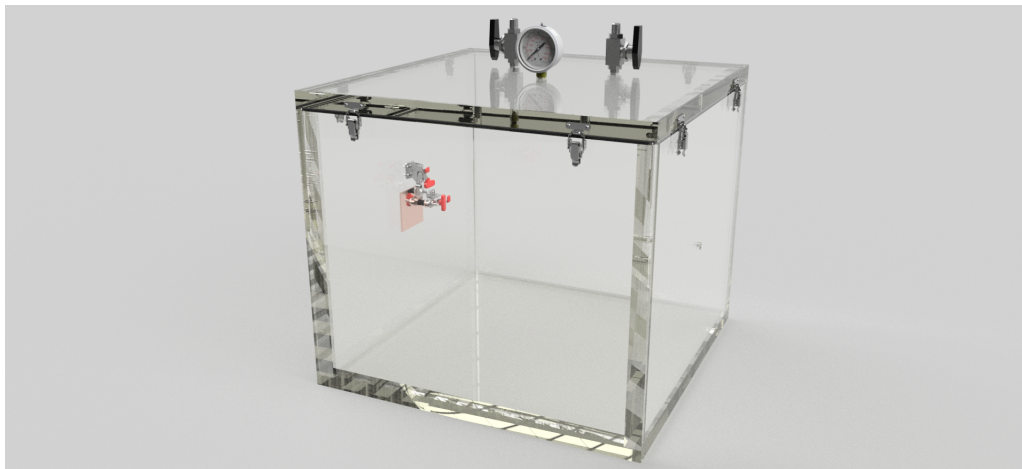


Figura 4.10: Caja acrílica para el sistema de vacío.

Ya que se tienen las medidas exteriores de la caja de acrílico, es necesario definir el espesor de cada cara. Para seleccionar el espesor, un buen indicador es la deflexión que presenta la plancha ante los esfuerzos que debe resistir, que en este caso es una diferencia de presión de 1 [atm]. La deflexión máxima no puede superar el 20 % del espesor de la pieza.

En el anexo B - Cotizaciones, es posible encontrar los espesores comerciales. Para comenzar el análisis se selecciona un espesor de 15 [mm], el cual al realizarle análisis FEM, se encontró que presentó una deflexión de 7,5 [mm], lo cual corresponde aproximadamente al 50 % del espesor de la pieza, tal como se ve en la figura 4.11

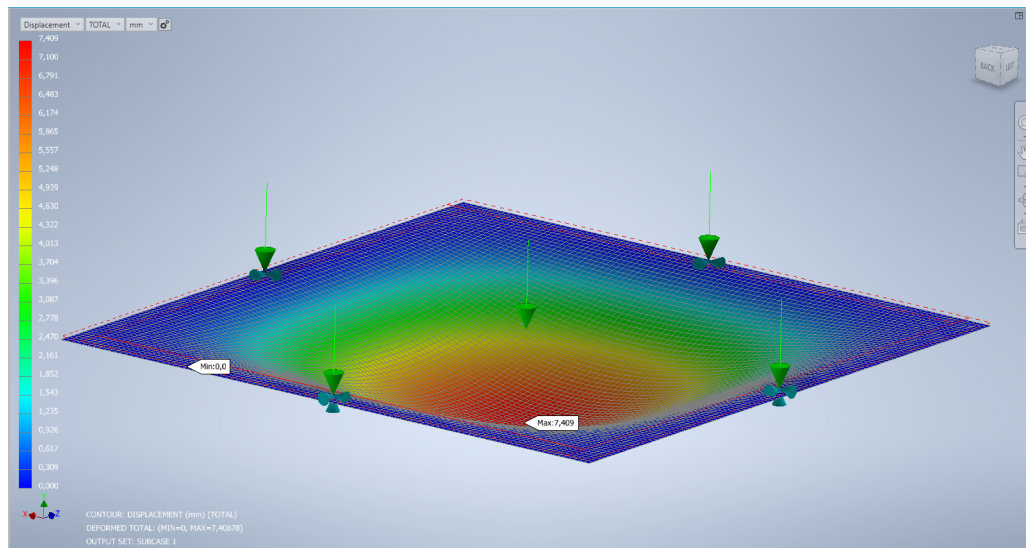


Figura 4.11: Deflexión máxima para una plancha de acrílico espesor de 15 [mm].

Si se hace el mismo análisis con una plancha de 20 [mm], que es resistir un esfuerzo de 1 [atm] por una de las caras, mientras se presenta vacío en el lado contrario, esto muestra una deflexión de aproximadamente de 3 [mm], lo cual se traduce en un 15 % de deflexión, tal como se ve en la figura 4.12, por lo que este espesor se encuentra dentro del rango utilizable según el criterio definido.

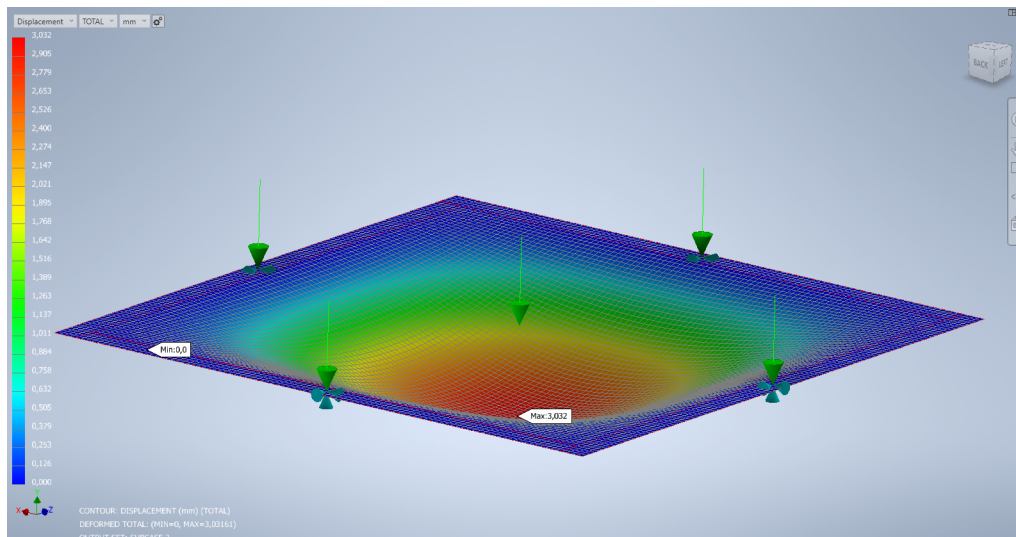


Figura 4.12: Deflexión máxima para una plancha de acrílico espesor de 20 [mm].

Tabla 4.1: Deflexión de planchas de acrílico ante un esfuerzo de 1 [atm].

Espesor [mm]	Deflexión [mm]	Diferencia % [-]
15	7,5	50 %
20	3	15 %

En la tabla 4.1 se encuentran los resultados del análisis FEM. De estos resultados se puede extraer que una deflexión del 50 %, como la que presenta la plancha de 15 [mm], es mayor a lo que es admisible para un material que debe mantener una presión cercana al vacío, en cambio el espesor de 20 [mm] presenta una deflexión de 15 %, lo cual entra en el rango admisible, 20 % hacia abajo, por lo que este espesor es elegido para la caja de acrílico para el vacío.

Para comprobar si el sistema es capaz de resistir los esfuerzos, se realizaron análisis FEM de la caja de acrílico para presión interna de 0,3 [atm], en el caso de simulación vacío, y presión interna de 0,05 [MPa], presión ecualizada luego del ensayo, calculada por la ecuación 3.2. Adicionalmente se calculó y comprobó por FEM cual sería la presión interna máxima que puede resistir el acrílico antes de presentar una falla catastrófica.

Tabla 4.2: Propiedades mecánicas del acrílico [14].

Propiedad	Cantidad [MPa]
Resistencia a la tracción	69
Resistencia a la flexión	114
Resistencia a la compresión	124
Resistencia al cizalle	62

Primero se realizó el análisis de esfuerzos para el sistema en vacío, dando como resultado un esfuerzo máximo de 8,8 [MPa] (figura 4.13), este esfuerzo concentrado en el perímetro correspondiente al O-ring. Luego del disparo, con la presión ecualizada en el sistema, se realizó un segundo análisis FEM, dando como resultado un esfuerzo máximo de 6,39 [MPa] (figura 4.14), ambos casos se encuentran bastante más bajo que la resistencia a la tracción del acrílico. Para presentar una falla catastrófica, el sistema debe presentar una presión interna de aproximadamente 6 [atm] (figura 4.15), esta presión interna es virtualmente imposible de conseguir con el sistema, ya que el volumen de la caja de acrílico es bastante grande, por lo que es necesaria una presión inicial de 7.000 [psi] en el estanque a presión, para lo cual no está regulado.

Tabla 4.3: Presión interna para distintos estados y sus respectivos esfuerzos máximos en algún punto de la caja.

Estado	Presión interna [atm]	Esfuerzo máximo [MPa]
Vacío	0,3	8,8
Post ensayo	0,5	6,39
Presión máxima soportada	5,9	63,96

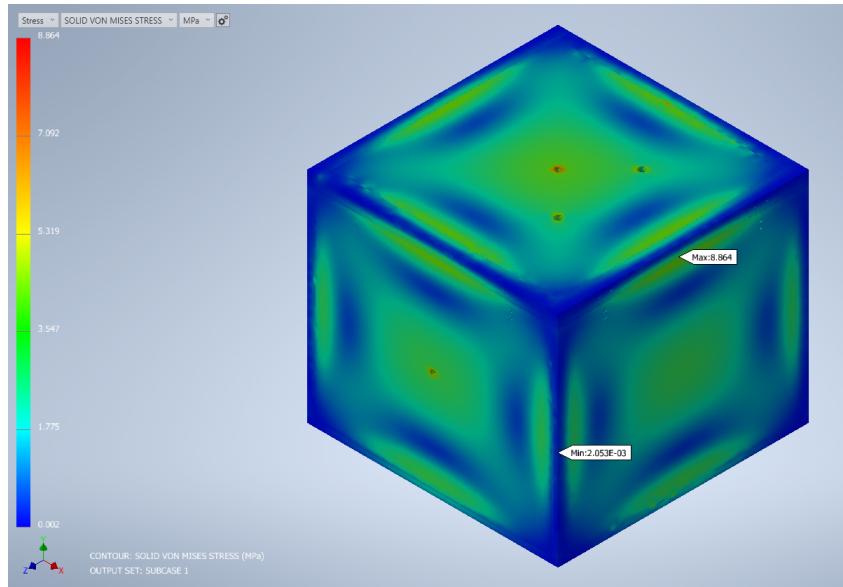


Figura 4.13: Análisis FEM del sistema de vacío presión interna de 0,3 [atm], simulando vacío.

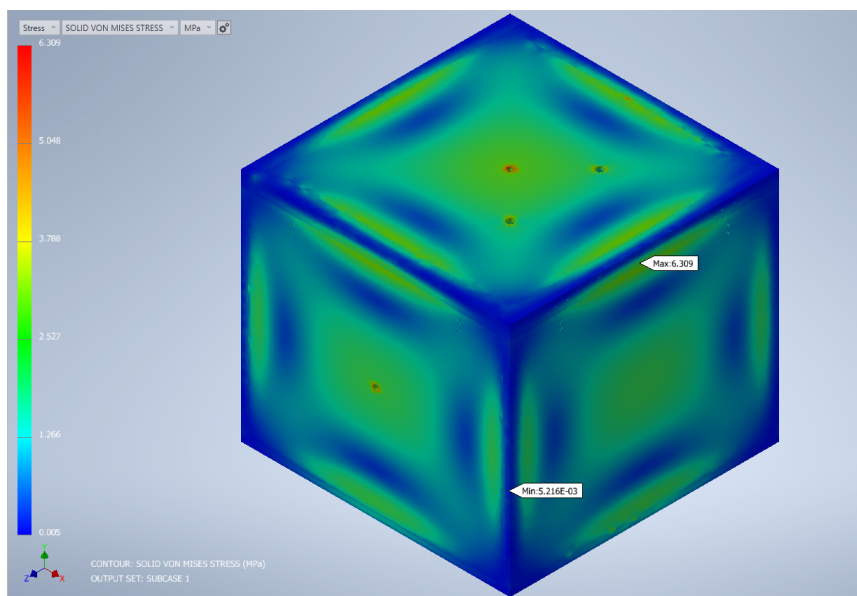


Figura 4.14: Análisis FEM del sistema de vacío presión interna de 0,5 [atm].

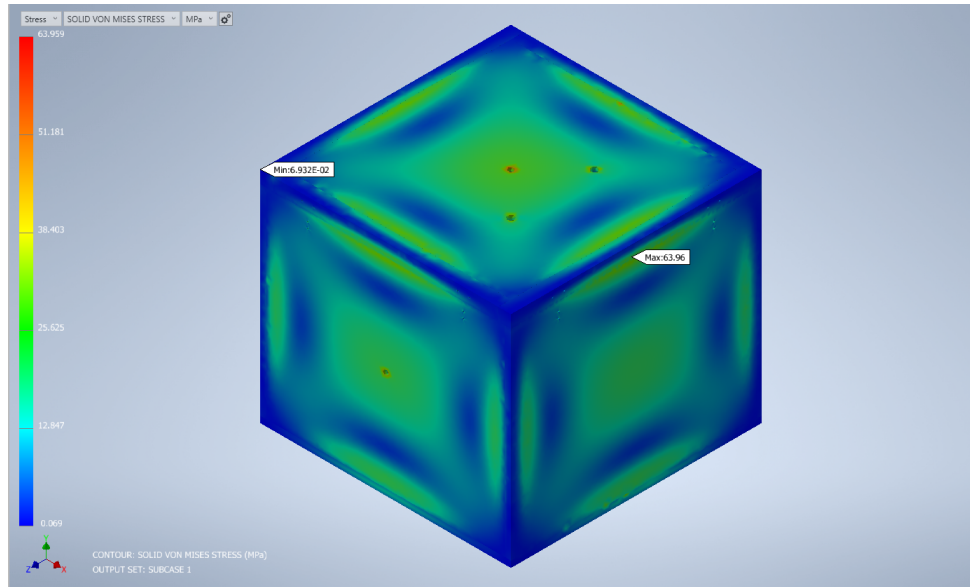


Figura 4.15: Análisis FEM del sistema de vacío presión interna de 5,9 [atm].

4.1.5. Subsistema sustrato

Es necesario tener abrazaderas ajustables para poder realizar ensayos con sustratos de distintos grosores y materiales, por lo que se optó por unas abrazaderas que soportan sustratos de espesores desde 0 hasta 21 [mm] (figura 4.16).

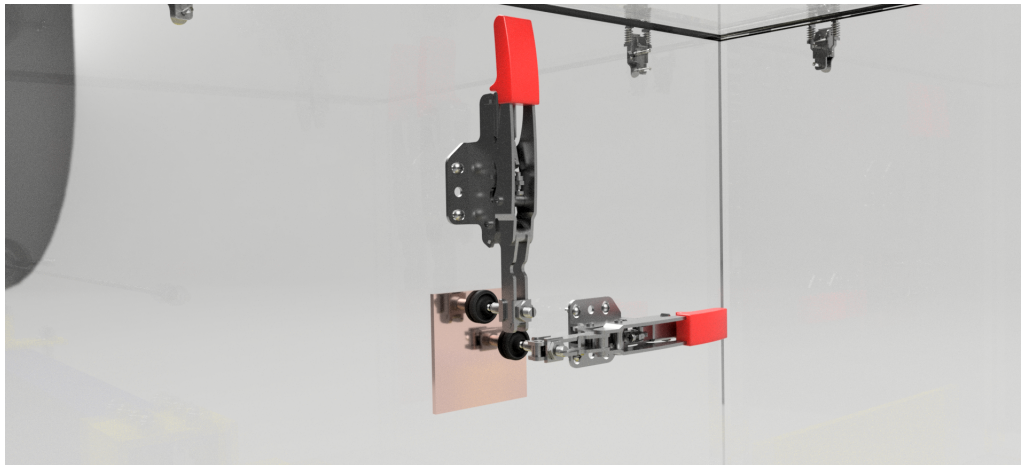


Figura 4.16: Abrazadera ajustable para sustratos.

4.2. Componentes electrónicos

4.2.1. Subsistema medición velocidad

Para la medición de la velocidad se determina la utilización de un cronógrafo balístico de código abierto. Este instrumento es utilizado para la medición de velocidad de proyectiles, el

cual funciona mediante dos interruptores ópticos separados por una distancia conocida. El cálculo de velocidad se realiza con la diferencia de tiempo entre que el proyectil interrumpe el primer sensor, hasta el segundo sensor, dividiendo este parámetros por la distancia entre los sensores.

Este cronógrafo, el cual tiene como nombre *ballistic chronograph mk2* [15], tiene la particularidad de ser *open source*, por lo que se puede modificar para cualquier tipo de sistema. Los materiales de construcción son perfiles de aluminio extruido 2020 y piezas impresas en plástico PLA, todo sujeto con pernos métricos. Para la parte electrónica se cuenta con PCBs hechos a mano y un microcontrolador en base a Arduino con pantalla (figura 4.17).



Figura 4.17: Modelo 3D de cronógrafo.

Este cronógrafo ha sido probado con proyectiles a distintas velocidades, desde 100 [m/s] hasta 875 [m/s] en presión ambiental. Inicialmente este aparato está pensado para funcionar de manera *Standalone* o por sí solo, ya que se energiza mediante una batería de 9 [V] y los datos son desplegados mediante la pantalla de arduino, pero esto es fácilmente modificable para grabar datos en una memoria SD insertada o mediante un cable a un computador externo.

Se eligió una configuración de 2 portales, con 2 sensores receptores *Light Gate board* dentro de cada uno. Cada sensor cuenta con 4 diodos receptores. Para el lado emisor de cada portal, se cuenta con 8 diodos modelo TSHF5410. En la figura 4.18 se puede ver el diagrama esquemático de cada *Light Gate board*.

Capítulo 5

Selección de componentes comerciales

5.1. Componentes electrónicos

5.1.1. Accionamiento válvula de salida

La válvula seleccionada, tal como se describió anteriormente, cuenta con un accionamiento mediante un actuador neumático, el cual se activa con una válvula solenoide. Esto se debe a que por un lado se buscaba priorizar la seguridad del operador, además de conseguir consistencia con los resultados, ya que al usar un circuito para abrir la válvula de salida y no hacerlo de manera manual, se evita introducir errores humanos, tales como abrir a distintas velocidades la válvula, estrangulando inicialmente el paso del gas a presión.

A continuación se exploran 3 opciones para activar la válvula electrónicamente.

Accionamiento mediante switch simple.

En la figura 5.1 es posible observar el circuito más simple con el cual se puede accionar la válvula, el cual consta de una fuente de poder de 12 [V] DC, conectada en serie a un switch tipo on/off, el cual finalmente se conecta a la válvula solenoide.

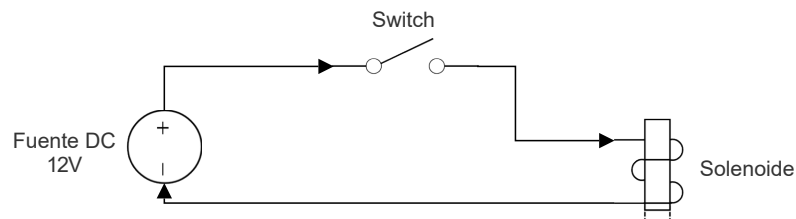


Figura 5.1: Diagrama electrónico de opción número uno para accionamiento de válvula de salida.

Este tipo de circuito destaca por su simplicidad y facilidad de realizar, pero cuenta con desventajas, tales como falta de control automático y falta de seguridad mediante fusibles.

Accionamiento mediante Arduino.

En la figura 5.2 es posible observar un diagrama esquemático del circuito accionador de la válvula de salida mediante un microcontrolador y un módulo relé. Este circuito consta de un microcontrolador arduino, el cual está conectado en serie con un módulo de relé optoacoplado, este se acciona mediante una señal dada por el microcontrolador de 5 [V], la cual viene dada por un botón anexo al Arduino. Por los terminales superiores se conecta una fuente de poder DC de 12[V], la cual le brinda la potencia necesaria al solenoide para poder accionarse.

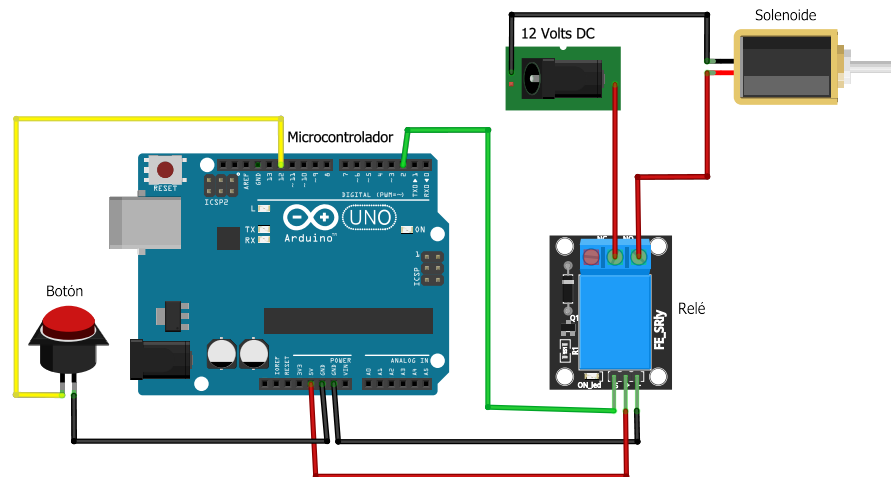


Figura 5.2: Diagrama electrónico de opción número dos para accionamiento de válvula de salida.

Este tipo de circuito se aventaja a la opción anterior en que es posible aplicar control automático, acortar el largo de cable que presenta la tensión de 12 [v], alargando solo el botón que da la señal, o incluso, hacer un circuito retro alimentado con la presión del sistema para que se auto dispare. La desventaja de este tipo de circuito es que es levemente más caro y el microcontrolador debe estar siempre energizado con 5 [v] para poder funcionar.

Accionamiento mediante relé análogo.

En la figura 5.3 es posible observar una combinación del circuito 1 y 2. Este contiene primero una fuente de poder, la cual brinda una tensión DC de 12 [V], esta tensión se conecta a la válvula solenoide, además de a un regulador de voltaje, el cual brinda un segundo voltaje de 5 [V], esto para brindarle la tensión necesaria al relé, el cual contiene además un módulo ESP8266, brindándole conectividad inalámbrica para su accionamiento.

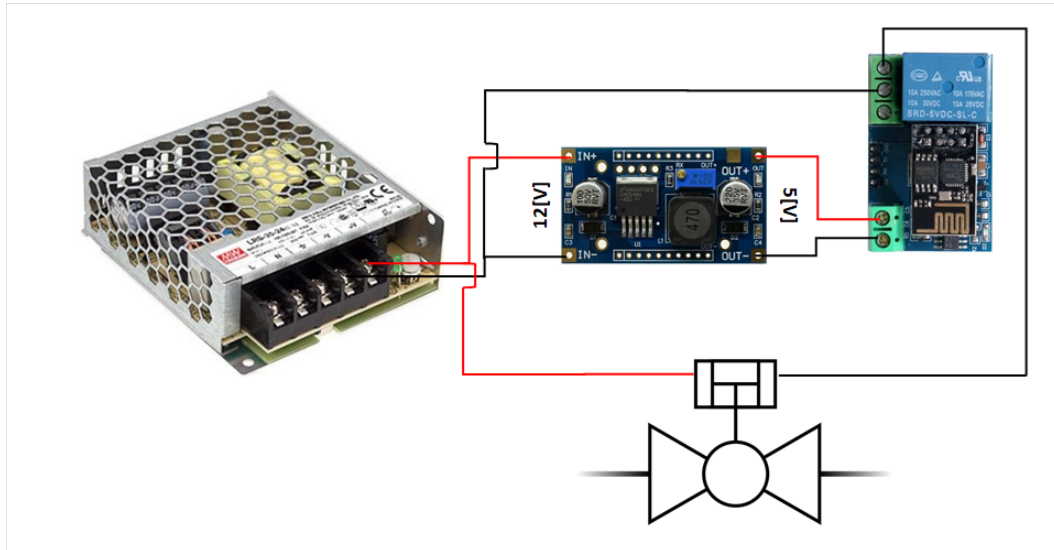


Figura 5.3: Diagrama electrónico de opción número tres para accionamiento de válvula de salida.

5.2. Conexiones de gas

Para la realización de los ensayos se ha determinado la utilización de gas de helio, debido a sus propiedades y disponibilidad. El helio es un gas mono atómico, incoloro, inodoro y sin sabor, no tóxico, además de no inflamable, cuyas propiedades se muestran en la tabla 5.1 [16].

Tabla 5.1: Propiedades físicas del helio.

Propiedad	Condicion	Valor	Unidad
Gravedad específica	(0°C, 1 atm)	0,138	[kg/m^3]
Densidad del líquido	(1 atm)	0,125	[kg/l]
Densidad del gas	(15°C, 1 atm)	0,169	[kg/m^3]
Densidad del gas	(0°C, 1 atm)	0,179	[kg/m^3]
Punto de ebullición	(1 atm)	-268,926	[°C]
Presión crítica		2,275	[bar]
Temperatura crítica		-267,95	[°C]
Peso molecular		4,00026	[g/mol]

Vástago regulador de gas

La conexión entre la columna de gas y la manguera se realiza mediante un vástago regulador de gas (figura 5.4), específico para las columnas de gas del proveedor.

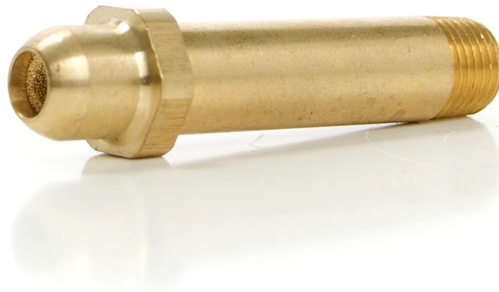


Figura 5.4: Vástago regulador de gas.

Manómetro

En el sistema se utilizan 2 manómetros, el primero para el sistema de carga de gas a presión, con un rango de 0 a 13,78 [MPa] (0 a 2.000 [psi]) y el segundo para el sistema de sellado al vacío, con un rango de 0 a 9 [bar] (-15 a 130 [psi]), ambos con un relleno de glicerina, destinado para evitar deterioros a causa de las rápidas caídas de presión al accionar el equipo.



Figura 5.5: Manómetro utilizado, imagen representativa.

Válvula de entrada

Para la entrada de gas al estanque, se seleccionó un conjunto de válvula de bola tipo on/off con accionamiento lineal, en conjunto a una unión tipo T para agregar un manómetro para vigilar la presión dentro del estanque. La presión máxima de trabajo para los componentes es de 2.000 [psi], para una temperatura de trabajo entre los 10 y 65 [°C].

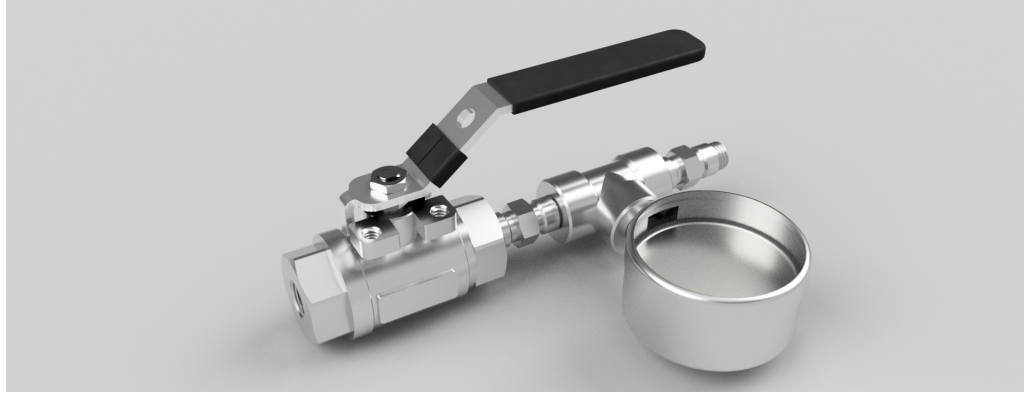


Figura 5.6: Válvula de entrada de 1/4", en conjunto a la unión T. .

Válvula de salida

Para la selección de la válvula de salida de gas, se considera dos parámetros fundamentales, pérdida de carga y velocidad de accionamiento. Para disminuir las pérdidas de carga, se selecciona una válvula con un diámetro inicial de 0,54" y final de 0,19", actuando como una tobera, aumentando levemente la velocidad del fluido que entra a presión. Esta válvula posee una presión máxima de trabajo de 2.200 [psi], para una temperatura de trabajo entre los -28 y 37 [°C].

Respecto a la velocidad de accionamiento, se determina la utilización de un actuador neumático, accionado por una bobina solenoide, la cual permite al operador mantener una distancia segura, gracias al accionamiento remoto. Se selecciona la válvula de tres piezas con un actuador neumático de doble acción (figura 5.7). El actuador requiere una presión de trabajo de 36 [psi], mientras que la bobina se acciona con un voltaje de 12 [V] [18].

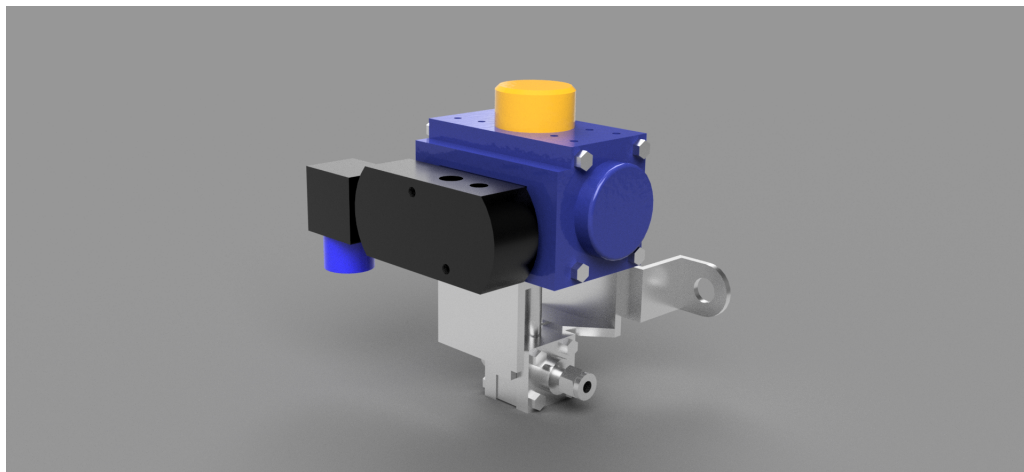


Figura 5.7: Válvula de bola de tres piezas con actuador neumático, marca Swagelok.

Uniones estanque-válvula

Para facilidad de unión entre el estanque y las válvulas de entrada y salida, se seleccionaron en cada una de ellos una medida estandar, la cual corresponde a NPT 1/4" hembra, por lo que es necesario dos uniones de 1/4" macho-macho. Estas son de acero inoxidable 316, con una presión máxima de trabajo de 10.000 [psi], las cuales fueron probadas contra fugas con helio a un valor máximo de $4 \cdot 10^{-9} \text{cm}^3/\text{s}$ [19].

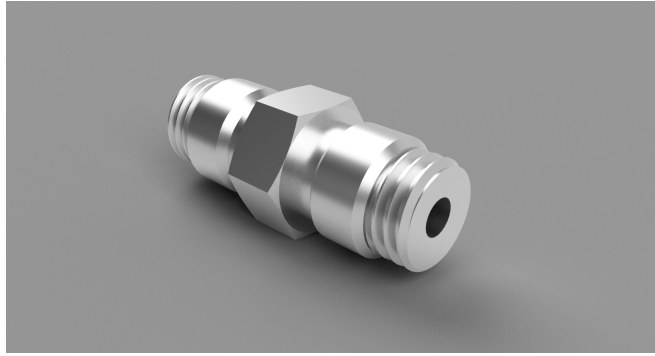


Figura 5.8: Unión plana metálica VCR, marca Swagelok.

Estanque de gas a presión

El estanque encargado de almacenar el gas a presión para la realización de los ensayos (figura 5.9), tiene un volumen de 1.000 [cc], material de acero inoxidable 304L y presión máxima de trabajo de 1.450 [psi].

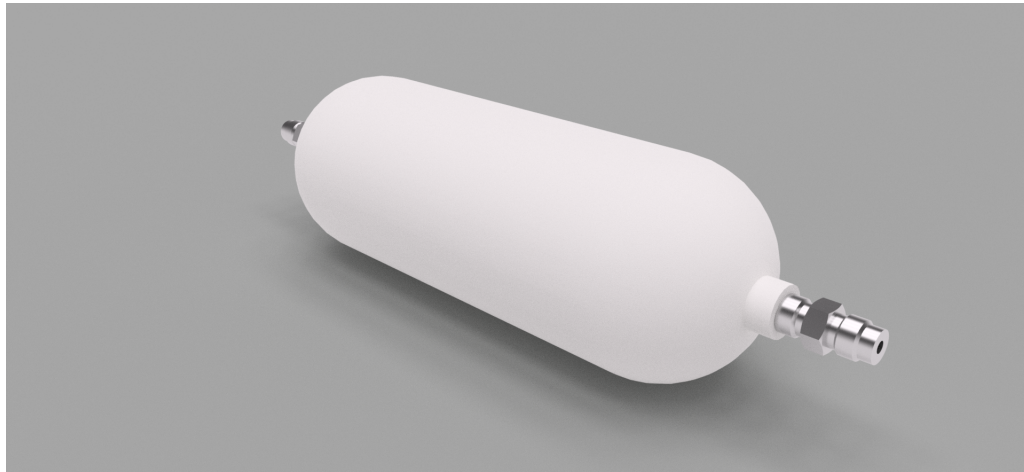


Figura 5.9: Estanque de gas comprimido.

El estanque tiene uniones en la entrada y salida del gas de 1/2" hembra NPT, estas uniones se conectan a los elementos del sistema mediante uniones doble macho de marca Hikelok, destinadas para la instalación de válvulas de entrada y salida del gas.

Capítulo 6

Planificación de puesta en marcha

6.1. Alineación de barras

La alineación de las barras se realiza utilizando un puntero láser, no es necesario agregar tapas a los soportes ya que el orificio pasante interior es lo bastante pequeño como para asegurar una apropiada calibración.

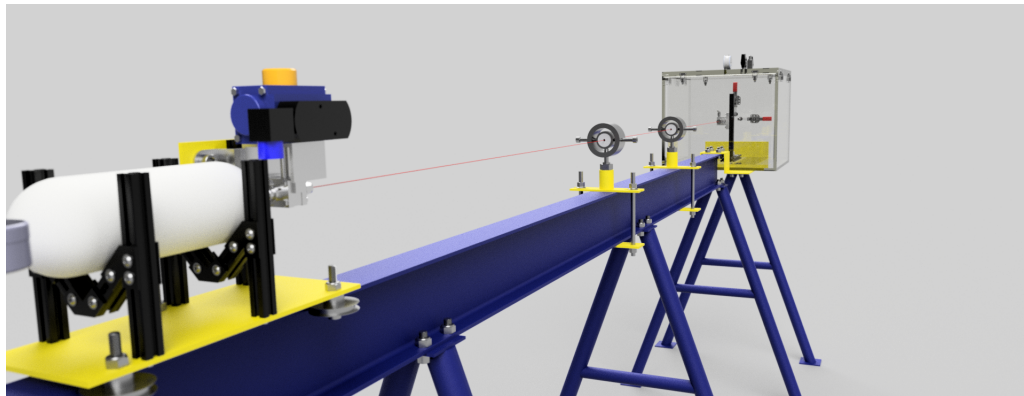


Figura 6.1: Alineación de barras mediante puntero láser.

El procedimiento para alinear se inicia ajustando la base de los soportes. Este proceso también se puede complementar con el uso del puntero láser como guía. Luego se ajusta la altura girando el hilo y fijando la tuerca interior. Para realizar ajustes más finos de altura, se utiliza el perno horizontal (prisionero) puesto en el anillo exterior, esto además asegura la rotación. Una vez alcanzada la altura, se debe regular el desplazamiento lateral con los pernos laterales, se realiza hasta lograr visualizar el punto láser a través de todos los soportes que vienen antes. Para fijar la posición se aprietan los pernos laterales. Una vez revisado y apretado todos los pernos, se suelta el perno prisionero para poder montar las barras. Posteriormente, se vuelve a fijar el perno.

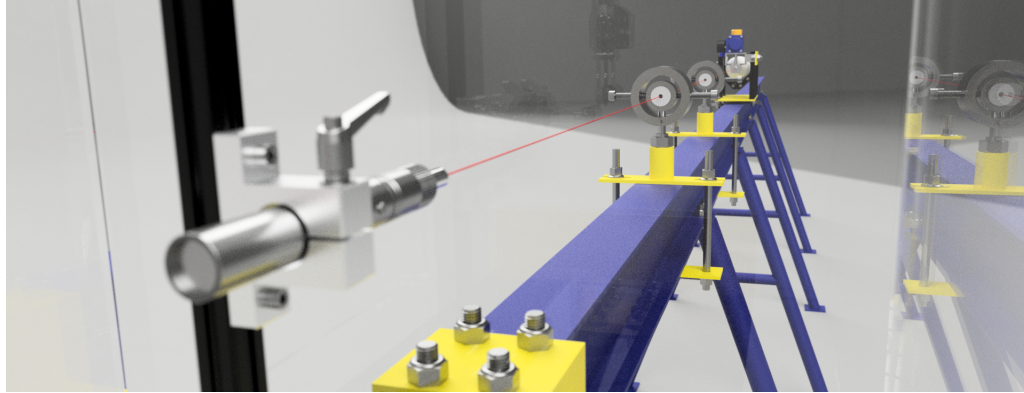


Figura 6.2: Puntero láser para calibración de soportes.

6.2. Procedimiento de utilización

Este equipo presenta riesgo con respecto a la proyección de fragmentos y ruidos que superan el límite máximo permisible (LMP) establecidos por el Ministerio de Salud (MINSAL) [20], por lo que es de extrema necesidad el uso de elementos de protección personal (EPPs), tales como lentes, casco y protectores auditivos.

A continuación se detalla el procedimiento para la utilización del equipo, con el propósito de no comprometer la seguridad del operador.

1. Revisar que las válvulas de la columna de gas, de entrada al estanque y la válvula neumática de salida, se encuentran completamente cerradas y la válvula de alivio de la caja de acrílico se encuentre abierta.
2. Comprobar que la presión interna de la caja de acrílico es 1 atmósfera.
3. Soltar la tuerca de seguridad Swagelok de la válvula de salida y la tuerca excéntrica del carro del soporte del estanque.
4. Deslizar hacia atrás carro de soporte del estanque lo suficiente para cargar una partícula.
5. Cargar la partícula dentro del tramo de aceleración.
6. Devolver el carro de soporte del estanque a su lugar original, asegurando primero la tuerca Swagelok de la válvula de salida y luego la tuerca excéntrica.
7. Abrir la caja de acrílico con la tapa superior.
8. Revisar que el osciloscopio esté funcionando correctamente.
9. Remover sustrato de ensayo anterior, en caso de ensayo anterior.
10. Colocar y asegurar el sustrato en las abrazaderas.
11. Cerrar la caja de acrílico, asegurando que se encuentra en buen estado el o-ring.

12. Cerrar la válvula de alivio de la caja de acrílico y comenzar a generar el vacío con la bomba de vacío.
13. Abrir la válvula del estanque seguida de la válvula de la columna de gas, hasta alcanzar la presión deseada, mostrada en el manómetro.
14. Cerrar la válvula de la columna de gas, seguida de la válvula de entrada al estanque.
15. Abrir la válvula de salida para iniciar el ensayo.
16. Cerrar la válvula neumática de salida.

Capítulo 7

Conclusiones

En este trabajo de título se ha logrado diseñar, planear la construcción y evaluar un sistema de testeo de impacto unipartícula, destinado al estudio macroscópico de ColdSpray, entre distintos materiales y distintas velocidades.

El proyecto significó más de 5 meses de trabajo de planeación para lograr el completo desarrollo, desde la revisión inicial de la bibliografía hasta la última cotización, de la cual se observó que se requiere una inversión de aproximadamente \$1.600.000 CLP. Por lo que lograr este tipo de proyecto es factible hoy en día.

La factibilidad del proyecto engloba solo la parte teórica, ya que en un semestre normal, con la realidad actual de pandemia y bajo nivel de materia prima presente para comprar, no es posible completarlo con la construcción del equipo. Aún así, se planificó la construcción aplicando conocimientos de procesos de manufactura y herramientas adquiridos a lo largo de la carrera.

Se profundiza el conocimiento sobre distintos tipos de manufactura, tales como aditiva, que existen hoy en día, los que permiten desarrollar la creatividad y nuevas soluciones en el día a día.

A pesar de presentar dificultades, tales como poca familiarización con el gran campo de catálogos y soluciones disponibles en el mercado, además de la pandemia anteriormente nombrada, se logra llevar a cabo en gran medida los objetivos, entregando nuevos dominios para enfrentar el campo laboral.

Objetivos

Se cumple el objetivo principal y todos los objetivos específicos:

- Se definieron los parámetros a considerar de manera temprana en el trabajo de título, lo cual permitió generar distintas y variadas ideas, convergiendo en el modelo realizado.
- Al analizar variadas investigaciones sobre proyección de partículas, fue posible converger a un modelo matemático que se ajustaba de manera satisfactoria a las necesidades del

proyecto, por lo que se logró calcular las necesidades de presión y volumen para lograr lanzamientos satisfactorios.

- Ya con las ideas anteriores fijadas y discutidas con el profesor guía, se aterrizó en un modelo de banco de pruebas, que tenía como foco principal reutilizar el material disponible en el taller de Molina para minimizar costos, además de ajustarse al espacio disponible predispuesto para el sistema.
- En los anexos es posible encontrar los planos de conjunto y despiece del sistema para su posterior construcción.
- Al momento de las cubicaciones fue posible discutir con asesores técnicos de cada empresa, los cuales fueron una guía para la selección de materiales y elementos comerciales más aptos para los requerimientos del proyecto.

Proyecciones del Sistema

Debido al amplio campo que es posible abarcar con la tecnología de Cold Spray, además de estar en pleno desarrollo, el equipo planificado servirá para realizar pruebas con distintos materiales particulados y distintos tipos de sustratos, para poder estudiar de manera macroscópica los mecanismos de adhesión del Cold Spray. Adicionalmente como se cuenta con una cámara de vacío, esta permite estudiar muestras pulidas, que no cuenten con una capa de óxido.

El sistema se planeó inicialmente que se accionara con gas Helio, ya que es posible alcanzar velocidades por sobre los 800 m/s con este gas, pero en caso de no necesitarlo se puede intercambiar con otro gas no inerte, como lo es el nitrógeno, ajustando las presiones con el modelo matemático presentado anteriormente, con este gas es posible alcanzar velocidades cercanas a 300 m/s.

Capítulo 8

Mejoras y estudios aplicables al proyecto

Uno de los errores que se comete durante este trabajo de título, es que a pesar de que dentro de los alcances no se encuentran análisis de elemento finito para los componentes seleccionados, este hubiera sido una importante guía para seleccionar o descartar componentes, por lo que una posible iteración con elementos agregados, tales como una tobera y otra elección de válvula de salida es propuesta.

Se debe agregar al subsistema de vacío elementos tipo flange para que se haga posible una interacción dentro y fuera de la caja de acrílico, a través de la muralla, sin perder el vacío. Se propone que se incluyan flanges para poder ingresar cables a la caja de acrílico, además de un sistema para aumentar la temperatura dentro de la caja.

Bibliografía

- [1] J. Bedoya, N. Cinca, and J. M. Guilemany. Recubrimientos micro/nanoestructurados de aleaciones ligeras mediante proyección fría para la protección y reparación de componentes de elevado valor añadido: Estado del arte. *Revista de Metalurgia*, 49(3):223–236, 2013.
- [2] Frank Gärtner, Thorsten Stoltenhoff, Tobias Schmidt, and Heinrich Kreye. The cold spray process and its potential for industrial applications. *Journal of Thermal Spray Technology*, 15(2):223–232, 2006.
- [3] J. Lee, S. Shin, H.J. Kim and C. Lee. (2007) *Effect of gas temperature on critical velocity and deposition characteristics in kinetic spraying.*, Applied Surface Science, 253 (2007), pp.3512-3520.
- [4] Z.J Rochrbach, T.R. Buresh and M.J. Madsen. *Modeling the exit velocity of a compressed air cannon*, 81, 20 (2011).
- [5] Kiyohiro Ito*, Yuji Ichikawa and Kazuhiro Ogawa. *Experimental and Numerical Analyses on the Deposition Behavior of Spherical Aluminum Particles in the Cold-Spray-Emulated High-Velocity Impact Process. Materials Transactions*, Vol. 57, No. 4 (2016) pp. 525 to 532.
- [6] Assadi, H., Gärtner, F., Stoltenhoff, T. and Kreye, H. (2003) *Bonding mechanism in cold gasspraying. Acta Materialia*, 1(15), pp.4379-4394.
- [7] Cavaliere, P. (2018) *Cold-spray Coatings: Recent Trends and Future Perspectives*.
- [8] Hussain, T., McCartney, D., Shipway, P. and Zhang, D. (2009) *Bonding mechanism in cold spra-ying: The contributions of Metallurgical and Mechanical Components.*, Journal of Thermal SprayTechnology, 18(3), pp.364-379.
- [9] Shuo Yin, Pasquale Cavaliere, Barry Aldwell, Richard Jenkins, Hanlin Liao, Wenya Li, and Rocco Lupoi. Cold spray additive manufacturing and repair: Fundamentals and applications. *Additive Manufacturing*, 21(April):628–650, 2018.
- [10] Departamento De Tecnología Electrónica. Universidad Carlos III de Madrid
Vg f. pages 126–128, 2009.
- [11] S A Gebremeskel, N Asija, A Priyanshu, H Chouhan, and N Bhatnagar. Design Customization and Development of Split Hopkinson Pressure Bar for Light and Soft Armour Materials. *Global Jr. of Researchers in engineering*, MATERIALS TRANSACTIONS, XIV(VII):62–75, 2014.
- [12] Diseño y construcción de un cañón de gas de una etapa para pruebas de impacto de alta velocidad *Ingeniería Investigación y Tecnología*, volumen XVI (número 2), abril-junio 2015: 185-195.
- [13] Kevin Young. Development of a Tensile Split Hopkinson Pressure Bar Testing Facility.

Electronic Theses and Dissertations, Paper 5513:163, 2015.

- [14] KAYSONS *Physical Propities of Acrylic Sheets*, akrylic furniture & accesories.
- [15] Gerritsen, T. 2020. Cavaliere, P. (2018). ballistic chronograph mk2. Canada (CA): GitHub; [accedido 2021 15 Abril]. https://github.com/td0g/ballistic_chronograph_mk2
- [16] Helio gaseoso M. Solo cotización 2020.
- [17] Válvulas de bola de una pieza para instrumentación. *Serie 40G y 40*
<https://alte.swagelok.com/>
- [18] Válvulas de bola. *Servicio general y aplicaciones especiales, Serie 60*
<https://alte.swagelok.com/>
- [19] Accesorios de cierre frontal con junta plana metálica VCR.
<https://alte.swagelok.com/>
- [20] Instituto de salud pública. Protocolo para la medición del ruido impulsivo en los lugares de trabajo. pp. 17 (2012).
- [21] EF Megyesy. Manual de recipientes a presión. Diseño y cálculo, 1992.

Anexo A

Memoria de cálculo

A.1. Caída de presión

El cálculo de la caída de presión se realiza utilizando la ecuación 3.3. Donde el volumen inicial corresponde al estanque, mientras que el volumen final corresponde a la suma del volumen del estanque, tramo aceleración y la caja de acrílico al final del subsistema.

El volumen del estanque (V_e) tiene la opción comercial (1) y construida (2), luego está el volumen del tramo de aceleración (V_c), donde se considera un diámetro externo de 1/4" y un espesor de 1.65 mm, con un largo de 2.000 [mm].

Tabla A.1: Volúmenes de los subsistemas y volumen total, opción comercial.

Item	Volumen [cc]
V_e	1.000
V_c	14,6
Total	1.014,6

Tabla A.2: Volúmenes de los subsistemas y volumen total, opción construida.

Item	Volumen [cc]
V_e	5.000
V_c	14,6
Total	6.014,6

Con los valores anteriores es posible determinar la presión final, asumiendo una presión inicial de 500 [psi]:

$$\begin{aligned} P_{f1} &= 492,81[\text{psi}] \\ P_{f2} &= 498,54[\text{psi}] \end{aligned} \tag{A.1}$$

Finalmente la caída de presión resulta:

$$\begin{aligned}\Delta P_1 \% &= 1,44 \% \\ \Delta P_2 \% &= 0,29 \%\end{aligned}\tag{A.2}$$

A.2. Puntos de apoyo sobre las barras

Las posiciones de los apoyos se determinan mediante el uso de la ecuación 3.1, con lo que, considerando un largo de tramo de aceleración de 2000 [mm] y tres apoyos, se obtiene:

$$A_{\text{tramo ac.}} = 707.1[mm]\tag{A.3}$$

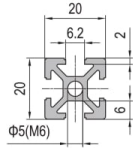
Anexo B

Cotizaciones

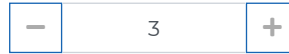
[Inicio](#) / [Carro](#)

Carro de compras (3)

20x20 4 slots



Perfil de Aluminio PG20 20...

SKU: 1.11.20.020020.04
\$ 4.998

\$ 14.994

**Subtotal: \$ 14.994** Acepto términos y condiciones[Agregar mas productos](#)[Ir a pagar →](#)



MENU



Busca aquí tu producto



PRODUCTO	PRECIO	CANTIDAD	SUBTOTAL
 Placa Uno Compatible con Arduino + Cable USB	\$7.000	- 1 +	\$7.000
 Shield LCD Keypad 16x02 - 5 Botones	\$4.500	- 1 +	\$4.500

← Seguir comprando

TOTAL DEL CARRITO

Subtotal	\$11.500
Total	\$11.500

Finalizar compra

Cupón

Código de cupón




Aplicar cupón





CARRITO DE COMPRAS


Esta no es una factura.

Clasificar	Detalle de los productos	Descripción	Cantidad	Disponibilidad	Precio unitario (CLP)	Precio ext. (CLP)
1	 <p> Mouser N.º: 782-TSHF5410 Fabricante N.º: TSHF5410 Fabricante:: Vishay Ref. Cliente: <input type="text" value="Ref. Cliente"/> </p>	Emisores Infrarrojos - Alta Potencia 890nm,T-1.75 70mW/sr,+/-22deg. En conformidad con la RoHS	<input type="text" value="30"/>	0 30 Pedido pendiente	\$428	\$12.840
<i>Se establece un tiempo de entrega prolongado para este producto.</i>						
2	 <p> Mouser N.º: 859-LTR-323DB Fabricante N.º: LTR-323DB Fabricante:: Lite-On Ref. Cliente: <input type="text" value="Ref. Cliente"/> </p>	Fotodiodos Photo Diode Dark En conformidad con la RoHS	<input type="text" value="30"/>	30	\$178	\$5.340
3	 <p> Mouser N.º: 926-LM339AMX/NOPB Fabricante N.º: LM339AMX/NOPB Fabricante:: Texas Instruments Ref. Cliente: <input type="text" value="Ref. Cliente"/> </p>	Comparadores analógicos LOW PWR LOW OFFSET VLTG QUAD COMPARATOR En conformidad con la RoHS	<input type="text" value="2"/>	Embalaje: 2 **Cinta cortada	\$823	\$1.646

Al enviar su pedido, usted acepta estos términos y condiciones. Para obtener más información acerca de la disponibilidad, haga clic en el N.º de artículo de Mouser.

**Ningún artículo de MouseReel™ se puede cancelar ni devolver.

Términos internacionales de comercio (Incoterms):FCA (punto de envío)
 Los costos de aranceles, aduana e impuestos se cobrarán en el momento de la entrega.

Mercadería:	\$19.826
Envío:	\$26.000
+ Más opciones de envío	
 Hay artículos pendientes en su carrito. Podrá hacer otras selecciones en el proceso de compra.	
Subtotal:	\$45.826



CARRITO DE
COMPRA



DETALLES DE PAGO Y
ENVIO



ORDEN
COMPLETADA

¿Ya eres cliente? [Haz clic aquí para acceder](#)

¿Tienes un cupón? [Haz clic aquí para introducir tu código](#)

DETALLES DE FACTURACIÓN

REVISAR TU ORDEN

CONFIRMAR Y PAGAR



Perno Allen M5, negro (cabeza delgada)(pack 10 uni.) - largo 8mm

Price : **\$2,150**

Cantidad : - +

Total : **\$8,600**

X



Perno Allen M5, negro (cabeza delgada)(pack 10 uni.) - largo 10mm

Price : **\$2,300**

Cantidad : - +

Total : **\$2,300**

X



Perno Allen M5, negro (cabeza delgada)(pack 10 uni.) - largo 15mm

Price : **\$2,600**

Cantidad : - +

Total : **\$2,600**

X



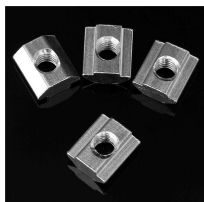
Perno M4 zincado (pack 25 unidades) - largo 20mm

Price : **\$2,690**

Cantidad : - +

Total : **\$2,690**

X



Tuerca-T M5 corrediza, para usar con riel lineal (V-slot)(pack 5 uni.)

Price : **\$1,500**

Cantidad : - +

Total : **\$15,000**

X

Sub total

\$31,190

Total

\$31,190 (incluye **\$4,980** IVA)

Anterior

Siguiente

Envíanos un mensaje

GetButton



JUAN CARLOS BERASAIN <juan.berasain@ug.uchile.cl>


GOMAS TECNICAS CHILE

1 mensaje

Ventas <ventas@gomaschile.cl>
 Para: juan.berasain@ug.uchile.cl
 Cc: Ventas <ventas@gomaschile.cl>

25 de mayo de 2021, 16:22

ESTIMADO,

ITEM	CLIENTE	CANTIDAD (mtsl)	CODIGO O MEDIDA	DESCRIPCION	PRECIO	TOTAL	
1	JUAN CARLOS	10	008-1-007	RODON 5mm NBR70SH	\$ 1.500	\$ 15.000	
2	JUAN CARLOS	10	037-1-007	RODON 5mm NEOPRENO	\$ 15.900	\$ 159.000	
							
					332 (2) buna	NETO	\$ 174.000
						IVA	\$ 33.060
						TOTAL	\$ 207.060

PAGO: CONTADO**ENTREGA: ITEM 1==>INMEDIATA // ITEM 2==> 3 DIAS POST PAGO**



Sailuoke Fluid Equipment Inc.

No.156 Tongxin Road,
Chongzhou Economic Zone, Chengdu, 611230, China
Tel: (+86 28 82761499) Fax: (+86 28 82761499)
Web: www.hikelok.com Email: sales4@hikelok.com

QUOTATION SHEET

TO: Juan Carlos Berasain
Add: Chile

Ref. No.: A20210624001
Date: June 24th, 2021

No.	Product	Specs	Hikelok PN	QTY (pcs)	Unit Price	Total Price
1	Sample Cylinders	1.000 cc Sample cylinder with 1/4" NPT-F on both ends working pressure of 1.000 psi Working pressure: 1800 psig Material: 316L SS	SC118-DFNPT4-1000-316L (welding sample cylinders)	1	US\$177.00	US\$177.00
2	Ball Valves	On/off valve inlet connection: NPT outlet connection: FNPT size: 1/4 inch Seat material: PEEK Orifice size: 6.4 mm Material: 316 SS	BV1-NPT4-FNPT4-P06-316	1	US\$58.90	US\$58.90
3	Ball Valves with pneumatic actuators and solenoid valve	two connection: FNPT size: 1/4 inch Pneumatic actuators: spring return, normally closed solenoid valve: 12V Seat material: PEEK Orifice size: 6.4 mm Material: 316 SS	BV1-FNPT4-P06-PCS-316-S1	1	US\$340.00	US\$340.00
4	Nipple fittings	1/4" NPT-M according to picture need 2 nipple fittings	NPT4-THN-NPT4-316	1	US\$3.00	US\$3.00
5	Female Tee	end connection: FNPT Size: 1/4 inch Material: 316 S.S.	FNPT4-TFT-FNPT4-FNPT4-316	1	US\$11.25	US\$11.25
6	Male Connector	Tube O.D.: 1/4 inch thread connection: FNPT size: 1/4 inch Material: 316 S.S.	F4-MC-NPT4-316	1	US\$4.10	US\$4.10
Estimate air freight fee from China to Chile (UPS Express) tax exclusive price						US\$220.00
Remarks: Total weight of goods and package is 6.5KG						
Total price						US\$814.25

Remarks:

Price Term: In USD CFR.



ACRILICO PÚBLICO Santiago

ENANAS		Dimensión l. 60 x l. 05			
ESPESOR	PESO	TRANSPARENTE	COLOR	BLANCO	FLUOR
(mm)	(kg)	LISO	LISO	LISO	LISO
2	4,5	\$17.880	\$21.460	\$17.880	\$33.260
3	6	\$22.810	\$27.370	\$22.810	\$42.420
4	8,5	\$32.310	\$38.770	\$32.310	\$60.080
5	10	\$38.010	\$45.610	\$45.610	\$70.700
6	12	\$45.610	\$54.740	\$54.740	\$84.830
8	16	\$63.040	\$75.640	\$75.640	\$117.230
10	20	\$78.790	\$94.560	\$94.560	\$146.520
12	24	\$144.320	\$173.190	\$173.190	\$268.380
15	31	\$186.420	\$223.700	\$223.700	\$346.640
20	41	\$246.560	\$295.860	\$295.860	\$458.470
25	51	\$306.690	\$368.030	\$368.030	\$570.290

VALORES NETO



Bal-tec

Micro Surface Engr. Inc.

1550 E. Slauson Ave., Los Angeles, CA 90011

(800)322-5832 / (323)582-7348 / Fax: (323)582-0934
www.precisionballs.com email: info@precisionballs.com

Attention: JUAN CARLOS BERASAIN
 BERASAIN3500@GMAIL.COM
 UNIVERSIDAD DE CHILE

Date: 12/03/20

Telephone:

All first orders are C.O.D. or Credit Card. To establish an open line of credit on future orders, please send your bank information and three trade references with an authorized signature.

Description	Quantity	Price	Delivery
.114457" COPPER GR200	30	\$ 38.00 (EACH)	6 wks
.114457" TITANIUM GR200	30	\$ 42.00 (EACH)	6 wks
.109112" ALUM 1100 GR200	30	\$ 2.75 (EACH)	STOCK
.114457" 302 GR100	30	\$ 2.6714 (EACH)	STOCK

The copper and titanium balls must be produced from stock

Thank you for your inquiry. Prices quoted are subject to acceptance within 30 days. Prices may be based on available inventory, FOB Los Angeles. Custom manufactured items are not returnable.

Carro de Compra



**Plancha de Acero
Laminada en Caliente de
5mm x 1000mm x
3000mm**
SKU: 32120-UN
~~\$174.790~~ **\$169.790**

Cantidad
- 1 +

\$169.790 ×



**Plancha de Acero
Laminada en Caliente de
2mm x 1000mm x
3000mm**
SKU: 32088-UN
~~\$69.990~~ **\$67.990**

Cantidad
- 1 +

\$67.990 ×



**Tubo Redondo 1.1/2" x
2mm espesor de 6m largo**
SKU: 9429-UN
~~\$19.790~~ **\$19.290**

Cantidad
- 1 +

\$19.290 ×



**Tubo Redondo 2" x 3mm
espesor de 6m largo**
SKU: 9433-UN
~~\$38.990~~ **\$37.990**

Cantidad
- 3 +

\$113.970 ×

Total:

\$371.040

Comprar



Sitio Seguro

CERTIFICADO SSL

Opciones de Entrega

Retiro en Tienda

San Ignacio

Carlos Valdovinos 1553, San Miguel.
Metropolitana de Santiago.
Tel: 22 562 2220 / (2) 2685 1000

Despacho a Domicilio

Recíbelo entre el 31 de mayo y el 2 de junio.

El costo de envío se calculará en el siguiente paso.

Resumen de tu Compra

Subtotal **\$381.540**

Retiro en Tienda **Gratis**

Descuento **\$10.500**

Total a Pagar **\$371.040**

Total Sin IVA **\$311.798**

IVA **\$59.242**

Comprar



Sitio Seguro

CERTIFICADO SSL

Medios de Pago Disponibles



hipu





JUAN CARLOS BERASAIN <juan.berasain@ug.uchile.cl>

Cotización

Perfilam SpA - Ventas <ventas@perfilam.cl>
 Para: JUAN CARLOS BERASAIN <juan.berasain@ug.uchile.cl>

24 de mayo de 2021, 13:29

Estimado, te cotizo IPN140 y IPE160(alas rectas)
 Fecha de reposición aprox, el 30 de junio

Item	kg/mt	Largo	#Tiras	Valor/kg	\$Tira neto	Tot Kgs	Tot c/IVA
IPN140	14,30	6	1	\$ 1.019	\$87.430	85,8	\$ 104.042
IPE160	15,80	6	1	\$ 1.019	\$ 96.601	94,8	\$ 114.955

Atentamente,

Esteban Tapia.

PERFILAM SPA. www.perfilam.cl

Importadores de Aceros.

Rut: 77.605.000-8

Santa Alejandra 03510, San Bernardo - Santiago.

Fono: 224439919 - 224659337 - 224479360

Cotizaciones validas por 3 días hábiles y no aseguran stock disponible.



De: JUAN CARLOS BERASAIN <juan.berasain@ug.uchile.cl>

Enviado: lunes, 24 de mayo de 2021 12:47

Para: Perfilam SpA - Ventas <ventas@perfilam.cl>

Asunto: Re: Cotización

[El texto citado está oculto]

Atención: Universidad de Chile.
Rut: 60910000-1
Dirección: AV. BLANCO ENCALADA 2008
Ciudad: Santiago
Comuna: Santiago
Teléfono: 978 4290

Cotización

Número: 57.382

27 de mayo de 2021

Documento Ref.:

Atención: *Alicia Cabello Castillo*

Estimado(s) Señor(es): De acuerdo a lo solicitado tenemos el agrado de cotizar lo siguiente:

#	Código	Cod.Cliente	Descripción	Cantidad	Valor Uni. (\$)	%dcto	Total (\$)
1	SS-4-VCR-6-DM		Unión macho doble VCR de Acero inox. 316, 1/4 pulg.	2,00	14.040		28.080
2	304L-HDF4-1000		Cilindro toma muestras confor DOT INOX 304L dos conex 1/4 plg NPT hembra 1000cm3 1800psig (124 bar)	1,00	306.990		306.990
3	SS-4SKPM4		Válvula de bola para servicio general de inox, 1/4 pulg. NPT macho	2,00	125.664		251.328
4	SS-400-1-OR		Conector macho c/junta tórica Swagelok INOX 1/4plg OD x 7/16-20 Rosca SAE/MS paralela c/junta tórica	1,00	13.144		13.144
5	SS-44XHLF4		Válvula bola serie 40 de 3 vías, empaq. PTFE, paso de caudal HL, 1/4 NPTH, 1500 psi (10 °C a 65 °C)	1,00	185.507		185.507
6	SS-T4-S-065-6M T		TUBO S/C SS 316 1/4plg OD x 0.065plg PARED, tira de 6mts	6,00	8.200		49.200
7	PGI-63B-PC30-L AO1		Manovacuometro Serie B, dial 63mm rango: -30 pulg Hg a 30 psi, 1/4 NPT posterior c/glicerina, SS316	1,00	124.720		124.720
8	PGI-63B-PG200 0-LAO1		Manómetro diam. 63mm Rang: 0-2000 PSI (138 Bar) 1/4 plg NPT Macho Inferior C/Glic. full SS 316	1,00	147.224		147.224

Condiciones de venta:

Forma de Pago: Cuenta Corriente 30 Días

Validéz de la Oferta: 30 Días

Comentarios Adicionales:

PLAZO DE ENTREGA:

Items 1,2: 2 semanas

Item 4: 3 semanas // Item 3: 5 semanas // Item 5: 20 semanas

Item 7,8: 17 semanas

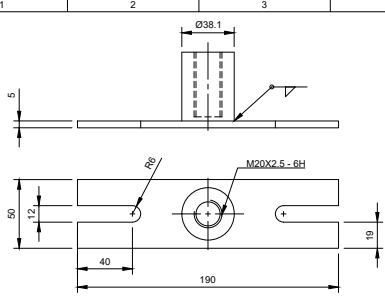
Item 6: Entrega inmediata, salvo venta previa.

Valor Neto \$	1.106.193
IVA \$	210.177
Valor Total \$	1.316.370

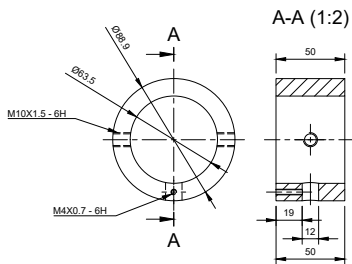
Atento ante cualquier duda o consulta, les saluda muy cordialmente a uds.

Anexo C

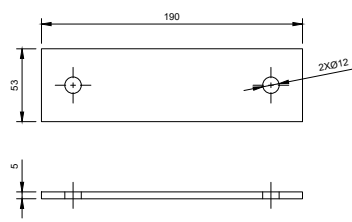
Planos



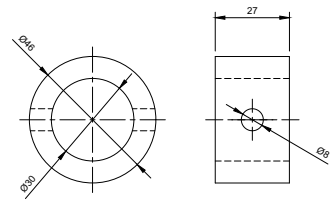
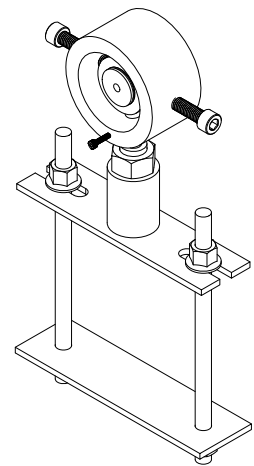
BASE SUPERIOR



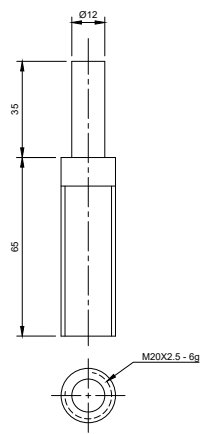
ANILLO EXTERNO



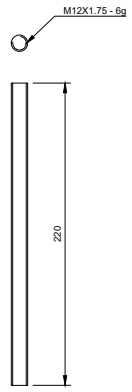
BASE INFERIOR



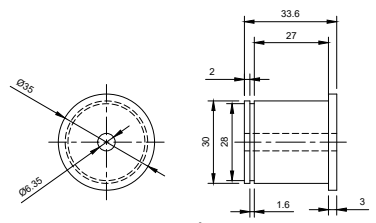
ANILLO INTERNO
ESCALA 1:1



BARRA ROSCADA



ESPARRAGO M12



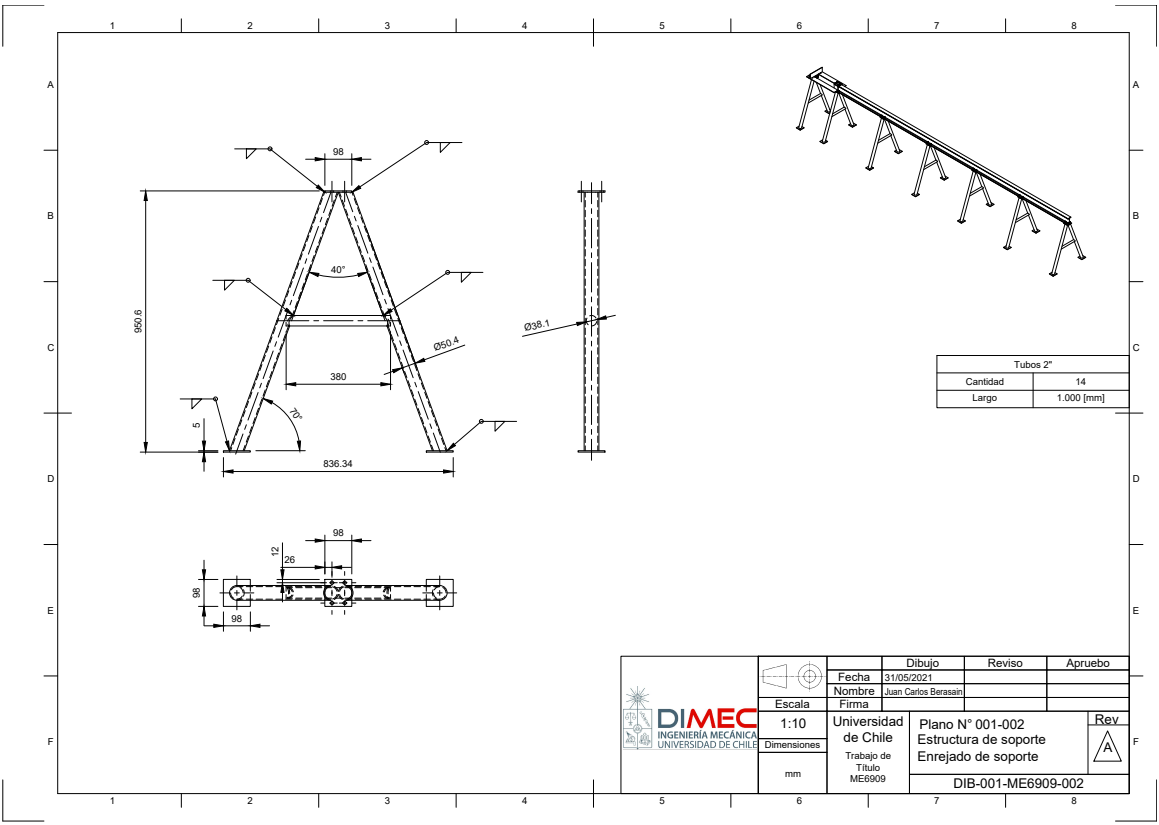
BUJE TEFLÓN
ESCALA 1:1

*Todas las escalas están en 1:2 a no ser que se indique lo contrario

Elemento	Cantidad
Esparrago M12	2
Tuerca M12	4
Barra roscada	1
Buje	1
Anillo Interno	1
Anillo Externo	1
Base Superior	1
Base Inferior	1

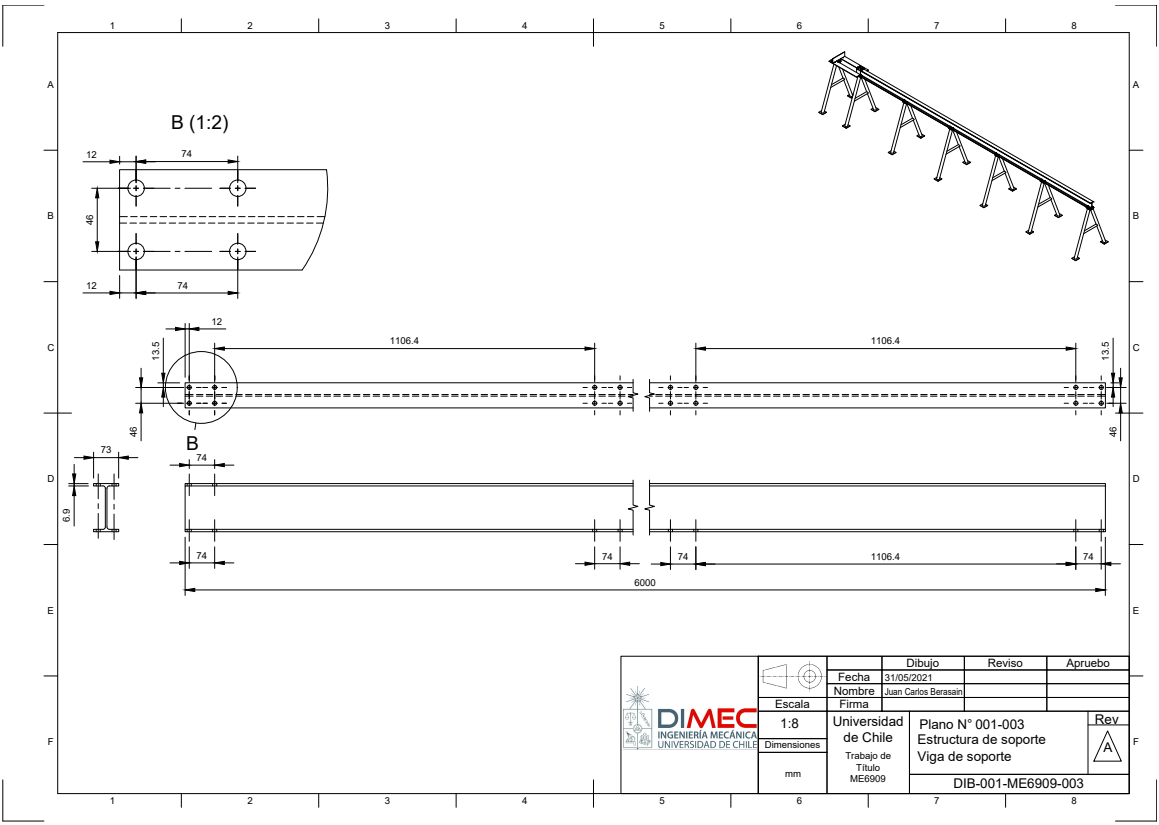
Lista de materiales

<p>DIMEC INGENIERÍA MECÁNICA UNIVERSIDAD DE CHILE</p>	<p>Fecha: 31/05/2021</p> <p>Nombre: Juan Carlos Berasain</p> <p>Firma:</p>	<p>Dibujo</p> <p>Reviso</p> <p>Apruebo</p>	<p>Plano N° 001-001</p> <p>Soporte barras</p> <p>Rev. A</p>
	<p>Escala: 1:2</p> <p>Dimensiones:</p> <p>mm</p>	<p>Universidad de Chile</p> <p>Trabajo de Titulo ME6909</p>	
	<p>DIB-001-ME6909-001</p>		

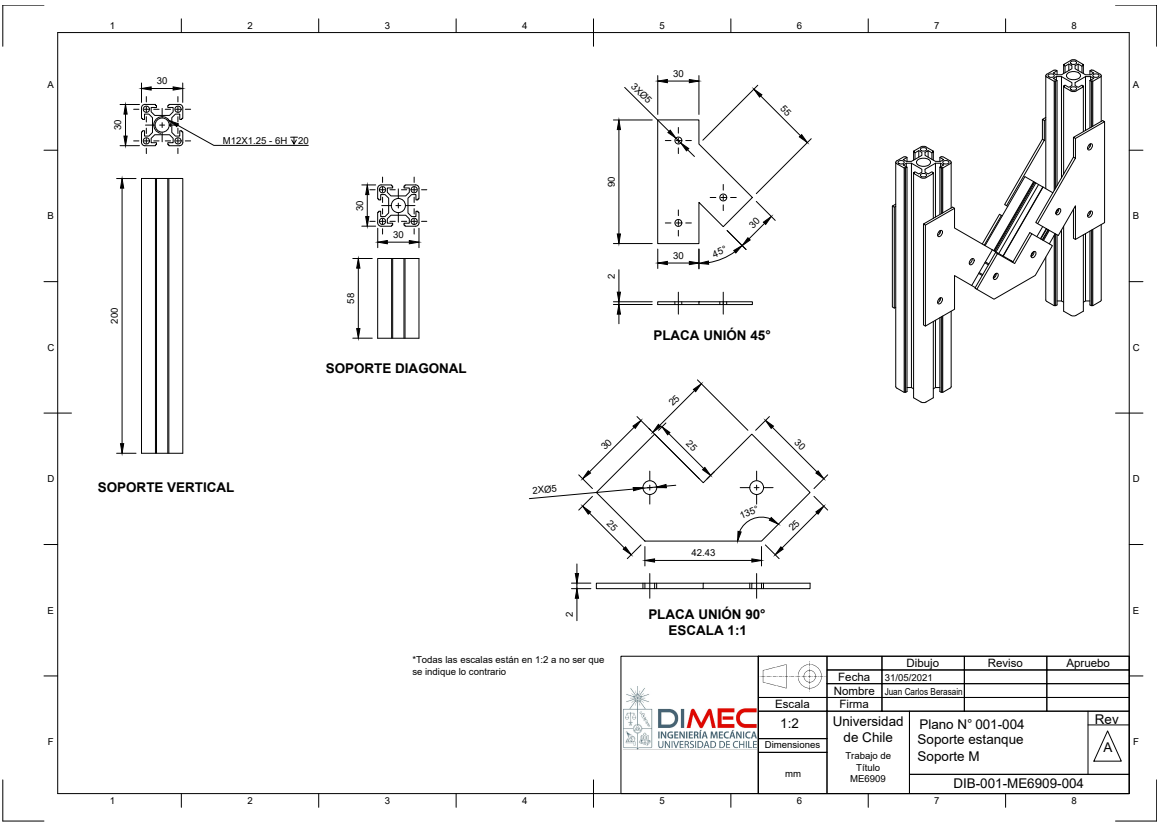


Tubos 2"	
Cantidad	14
Largo	1.000 [mm]

 DIMEC INGENIERÍA MECÁNICA UNIVERSIDAD DE CHILE	 Escala 1:10	Dibujo Fecha: 31/05/2021 Nombre: Juan Carlos Berasain	Reviso	Apruebo
	Dimensiones mm	Firma	Universidad de Chile Trabajo de Título ME6909	Plano N° 001-002 Estructura de soporte Enrejado de soporte
	DIB-001-ME6909-002			Rev A

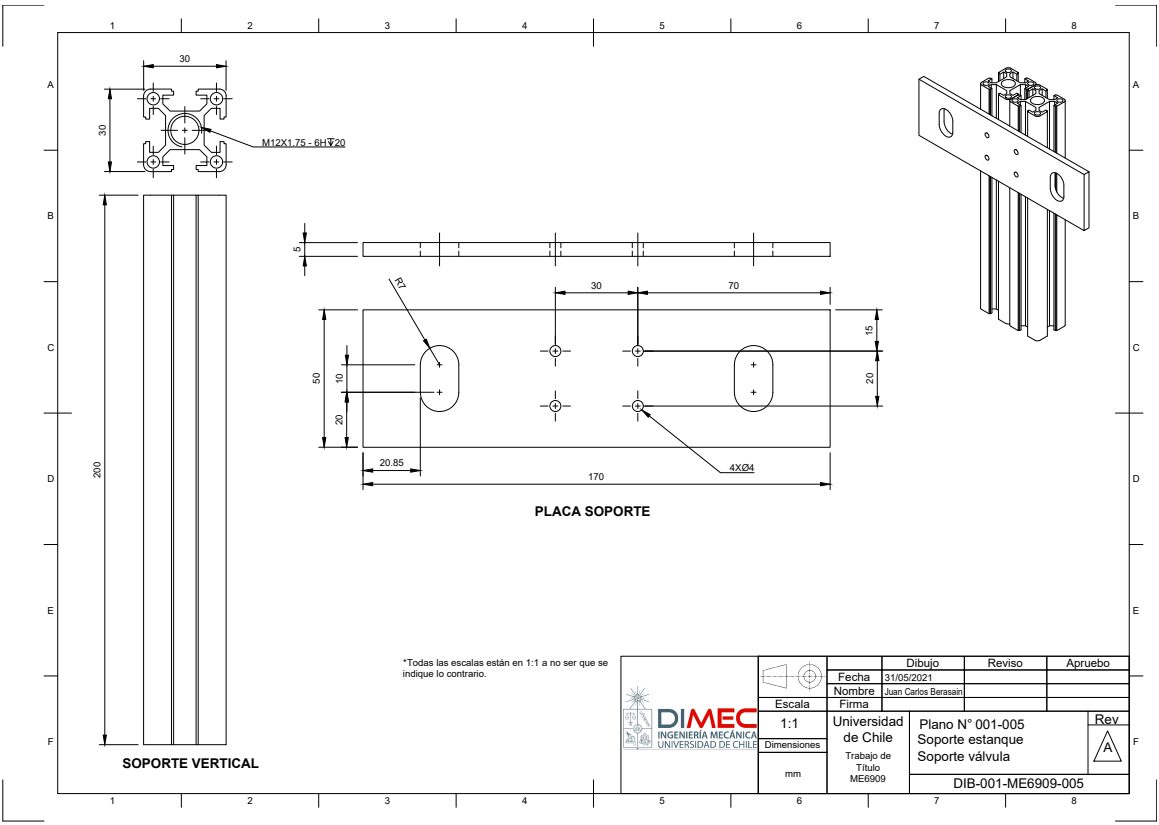


 DIMEC INGENIERÍA MECÁNICA UNIVERSIDAD DE CHILE		Dibujo	Reviso	Apruebo
	Fecha	31/05/2021		
	Nombre	Juan Carlos Berasain		
	Escala	Firma		
1:8	Universidad de Chile	Plano N° 001-003		Rev
Dimensiones	Trabajo de Título ME6909	Estructura de soporte		A
mm		Viga de soporte		
DIB-001-ME6909-003				



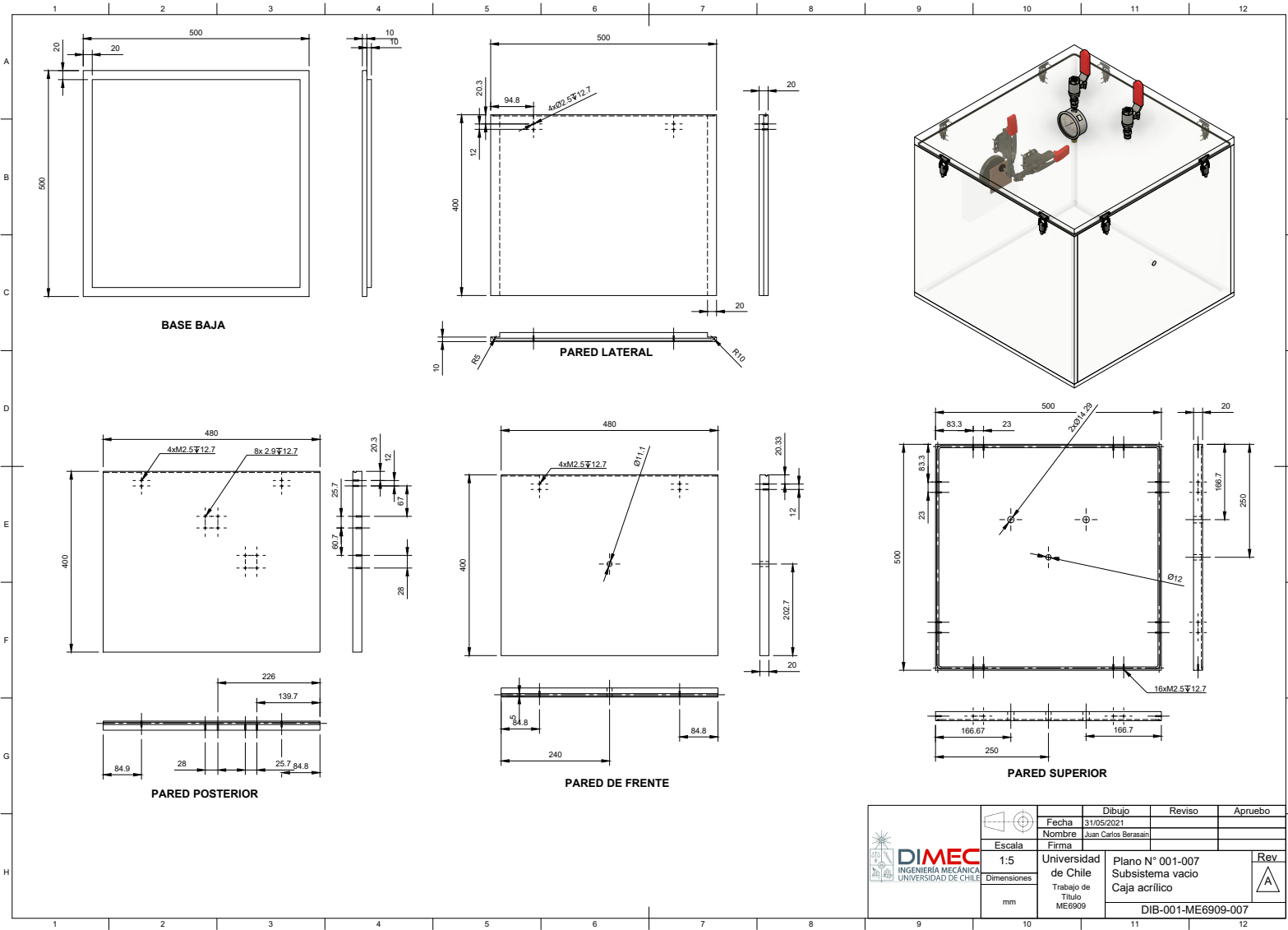
*Todas las escalas están en 1:2 a no ser que se indique lo contrario

 DIMEC INGENIERÍA MECÁNICA UNIVERSIDAD DE CHILE		Dibujo	Reviso	Apruebo
	Escala 1:2	Fecha 31/05/2021	Nombre Juan Carlos Berasain	
Dimensiones mm	Firma	Universidad de Chile Trabajo de Título ME6909	Plano N° 001-004 Soporte estanque Soporte M	Rev A
DIB-001-ME6909-004				

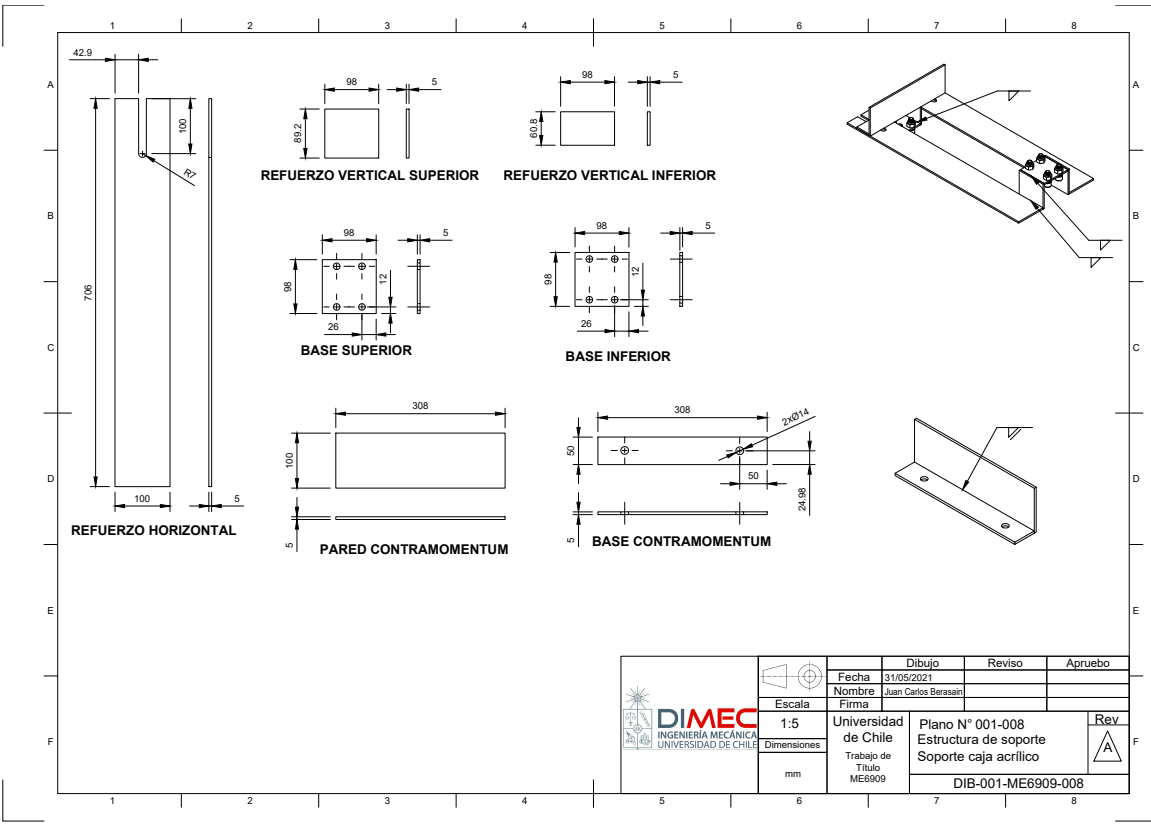


*Todas las escalas están en 1:1 a no ser que se indique lo contrario.

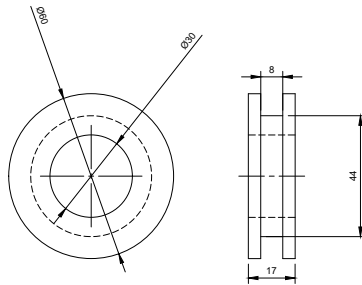
 DIMEC INGENIERÍA MECÁNICA UNIVERSIDAD DE CHILE		Dibujo	Reviso	Apruebo
	Escala 1:1	Fecha 31/05/2021	Nombre Juan Carlos Berasain	
Dimensiones mm	Firma	Universidad de Chile Trabajo de Título ME6909	Plano N° 001-005 Soporte estanque Soporte válvula	Rev A
DIB-001-ME6909-005				



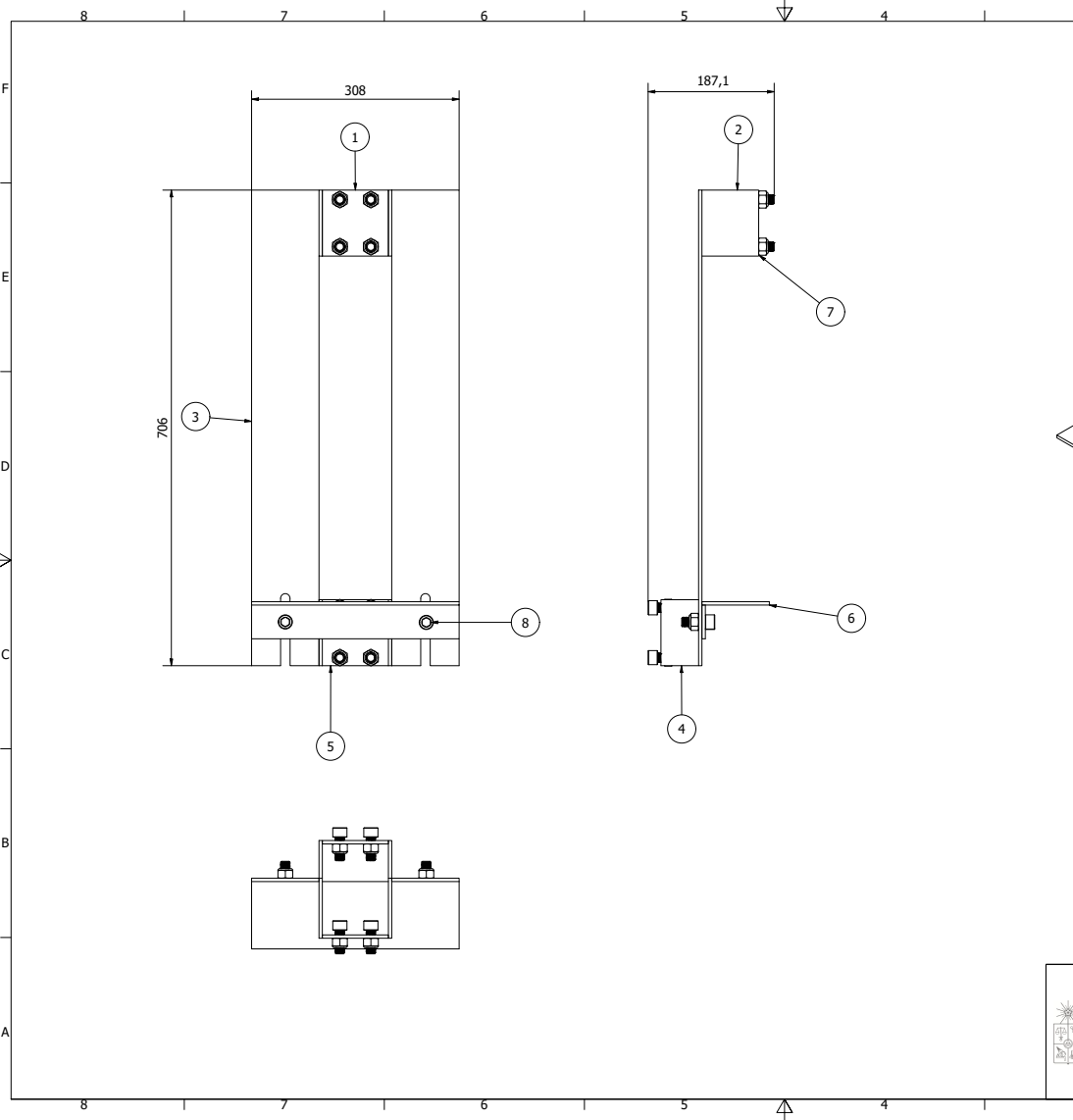
 DIMEC INGENIERÍA MECÁNICA UNIVERSIDAD DE CHILE	 Escala 1:5	Dibujo Fecha Nombre Firma	Reviso Nombre Firma	Apruebo Nombre Firma
	Dimensiones mm	Universidad de Chile Trabajo de Título ME6909	Plano N° 001-007 Subsistema vacío Caja acrílico	Rev A
	DIB-001-ME6909-007			



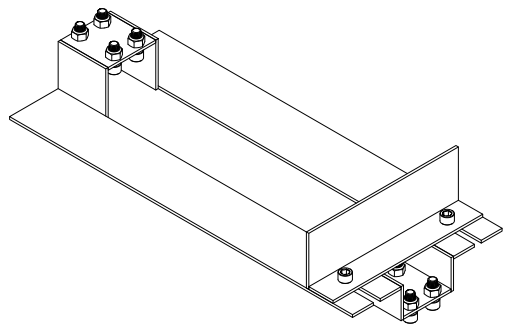
		Dibujo	Reviso	Apruebo
	Fecha	31/05/2021		
	Nombre	Juan Carlos Berasain		
	Escala	Firma		
1:5	Universidad de Chile	Plano N° 001-008		Rev
Dimensiones	Trabajo de Titulo ME6909	Estructura de soporte Soporte caja acrilico		A
mm		DIB-001-ME6909-008		



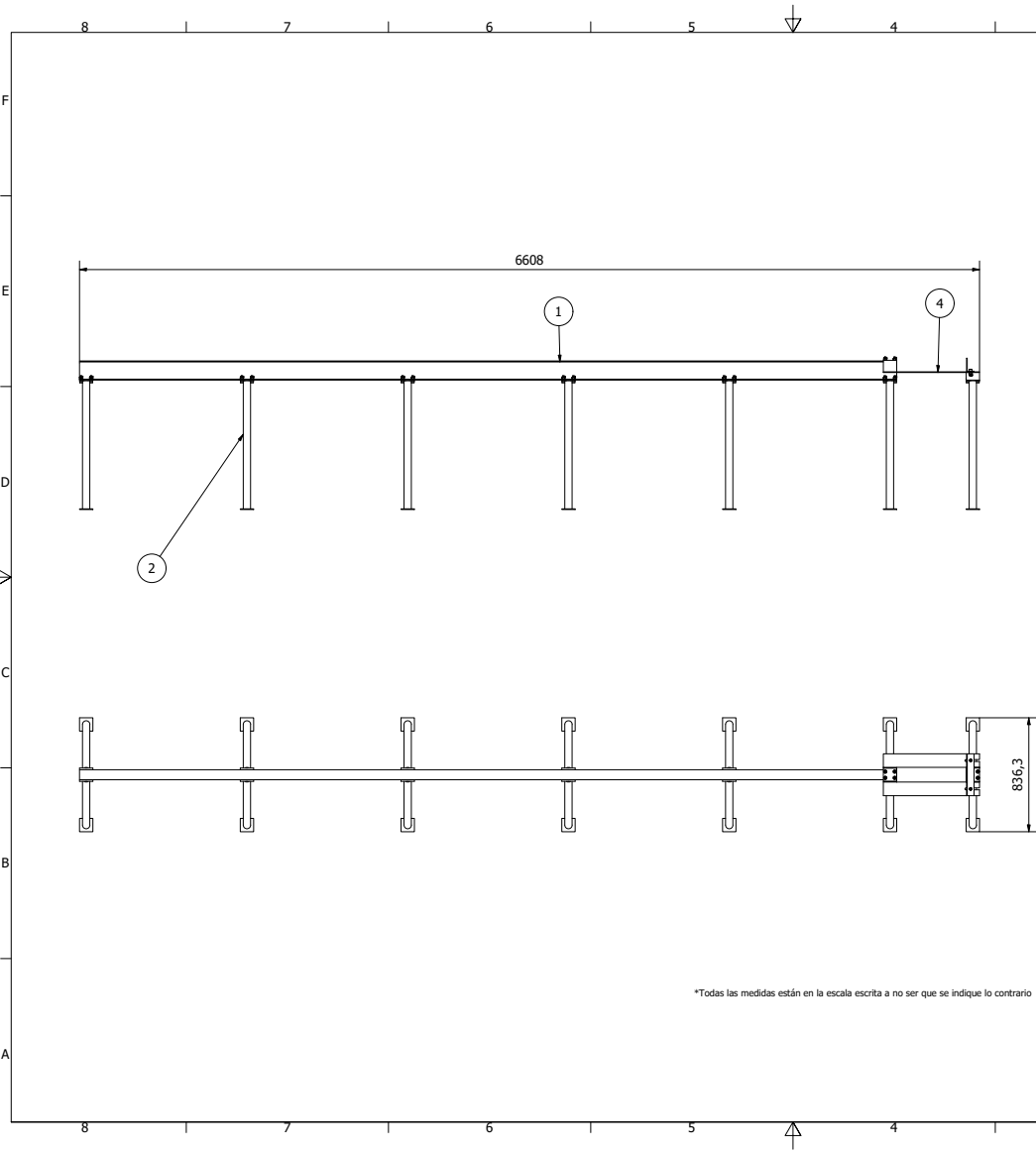
 DIMEC INGENIERIA MECÁNICA UNIVERSIDAD DE CHILE	 Escala	Dibujo Fecha 31/05/2021 Nombre Juan Carlos Berasain Firma	Reviso	Apruebo
	1:1 Dimensiones	Universidad de Chile Trabajo de Título ME6909	Plano N° 001-009 Soporte estanque Rueda desplazamiento	Rev 
	mm	DIB-001-ME6909-009		



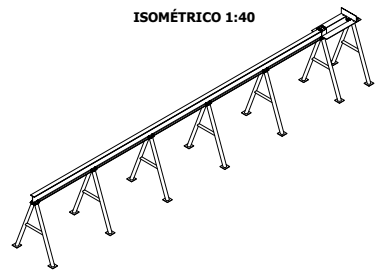
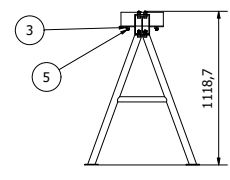
PARTS LIST			
ITEM	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	REFERENCIA
1	1	Base superior	DIB-001-ME6909-008
2	2	Refuerzo vertical superior	DIB-001-ME6909-008
3	2	Refuerzo Horizontal	DIB-001-ME6909-008
4	2	Refuerzo vertical inferior	DIB-001-ME6909-008
5	1	Base inferior	DIB-001-ME6909-008
6	1	ContraMomentum	
7	10	90576A147	
8	10	91290A720	



 DIMEC INGENIERIA MECÁNICA UNIVERSIDAD DE CHILE	 ESCALA	DIBUJO FECHA: 31/05/2021 NOMBRE: Juan Carlos Norasain FIRMA:	REVISO	APROBO
	1:4 DIMENSIONES	Universidad de Chile Trabajo de título ME6909	PLANO Nº 002-001 PLANO DE CONJUNTO ESTRUCTURA ACRÍLICO	REV
	mm		DIB-002-ME6909-1	

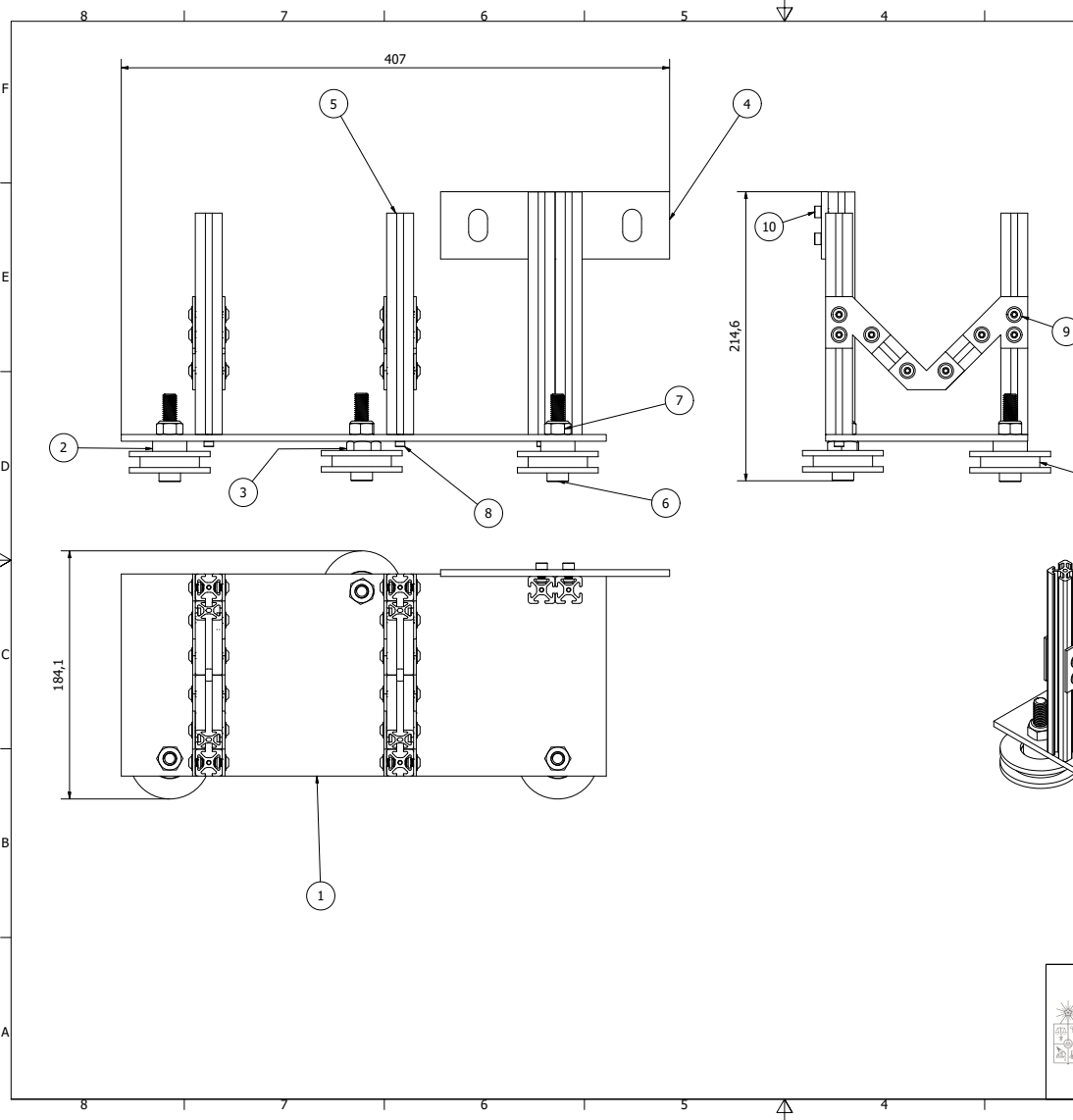


PARTS LIST			
ITEM	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	REFERENCIA
1	1	Barra IPE 140	DIB-001-ME6909-003
2	7	Enrejado de Soporte	DIB-001-ME6909-002
3	28	90576A147	
4	1	Soporte caja acrílico	DIB-001-ME6909-008
5	28	91290A720	

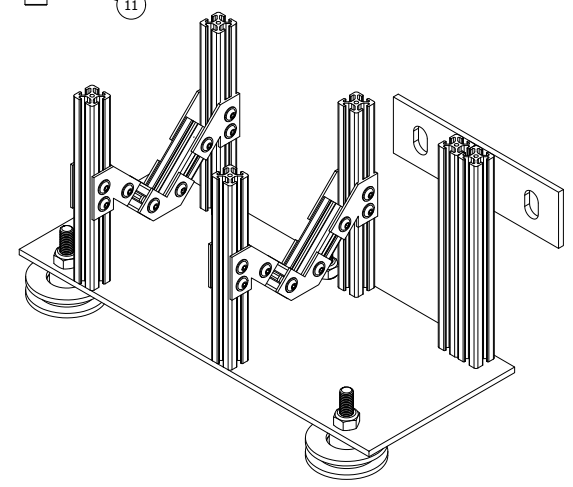


*Todas las medidas están en la escala escrita a no ser que se indique lo contrario

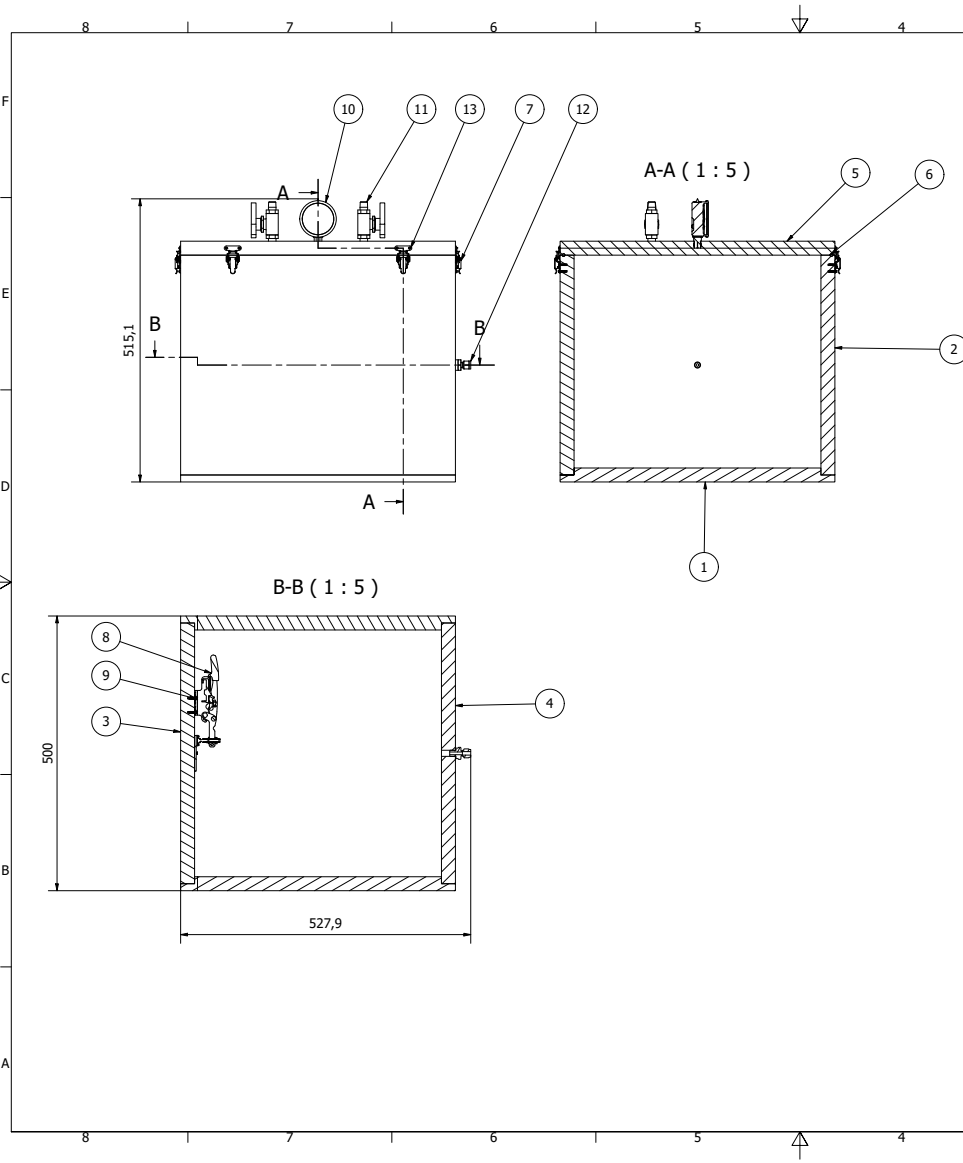
 DIMEC INGENIERÍA MECÁNICA UNIVERSIDAD DE CHILE	ESCALA 1:20	UNIVERSIDAD de Chile Trabajo de título ME6909	PLANO N° 002-002 PLANO DE CONJUNTO ESTRUCTURA SOPORTE	REV A
	mm	DIBUJO FECHA: 31/05/2021 NOMBRE: Juan Carlos Norasain FIRMA:	REVISO	APROBO
	DIB-002-ME6909-2			



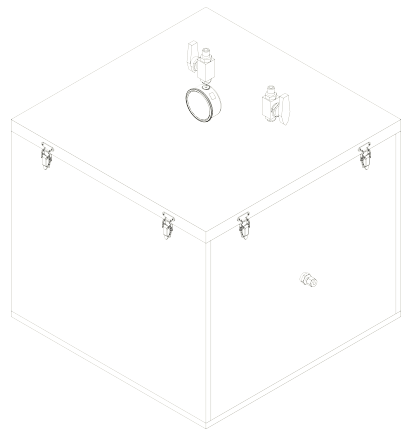
PARTS LIST			
ITEM	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	REFERENCIA
1	1	Placa principal	DIB-001-ME6909-006
2	2	92510A820	
3	1	7744N108	
4	1	Soporte válvula	DIB-001-ME6909-005
5	2	Soporte M	DIB-001-ME6909-004
6	3	91290A534	
7	3	94645A220	
8	6	91290A168	
9	36	5537T454	
10	4	91290A224	
11	3	Rueda desplazamiento	DIB-001-ME6909-009



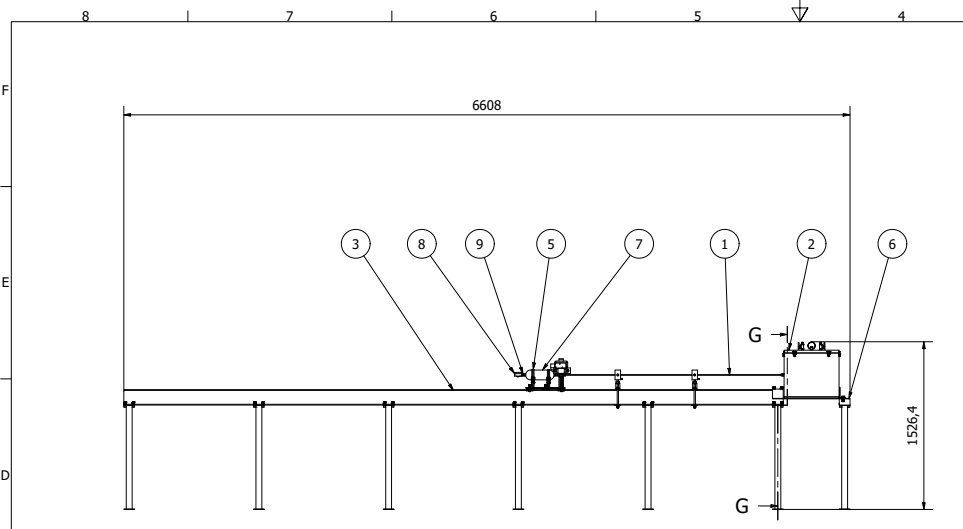
 DIMEC INGENIERÍA MECÁNICA UNIVERSIDAD DE CHILE	 FECHA NOMBRE FIRMA	DIBUJO REVISO APROBO	REV 	
	ESCALA 1:2 DIMENSIONES mm	Universidad de Chile Trabajo de título ME6909	PLANO Nº 002-003 PLANO DE CONJUNTO SOPORTE ESTANQUE	A
	DIB-002-ME6909-3			



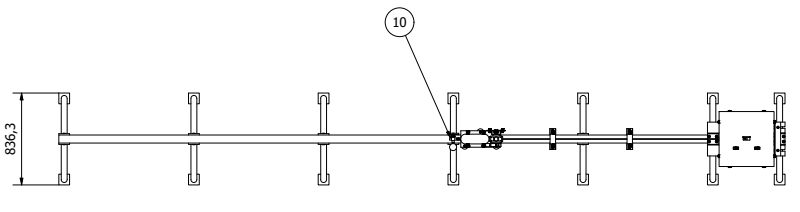
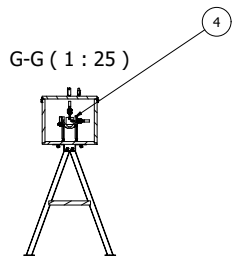
PARTS LIST			
ITEM	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	REFERENCIA
1	1	BASE BAJA	DIB-001-ME6909-007
2	2	PARED LATERAL	DIB-001-ME6909-007
3	1	PARED POSTERIOR	DIB-001-ME6909-007
4	1	PARED DE FRENTE	DIB-001-ME6909-007
5	1	PARED SUPERIOR	DIB-001-ME6909-007
6	1	O-ring	
7	8	1734A46	
8	2	5127A21	
9	8	97349A210	
10	1	PGI-63B-PC30-LAO1	
11	2	SS-4SKPM4	
12	1	SS-400-1-OR	
13	32	90385A318	



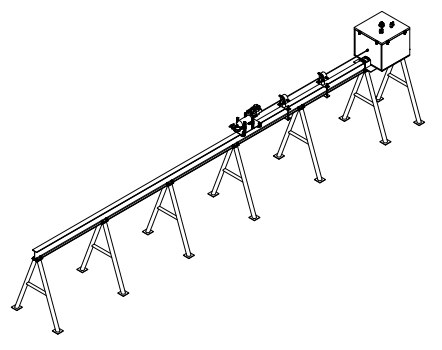
	FECHA	DIBUJO	REVISO	APROBO
	NOMBRE	Juan Carlos Norasain		
	FIRMA			
ESCALA	1:5	Universidad de Chile	PLANO Nº 002-004	REV
DIMENSIONES	mm	Trabajo de título ME6909	PLANO DE CONJUNTO CAJA ACRÍLICO	A
		DIB-002-ME6909-4		



PARTS LIST			
ITEM	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	REFERENCIA
1	1	SS-T4-S-065-6ME	
2	1	CAJA ACRÍLICO	DIB-002-ME6909-4
3	1	ESTRUCTURA DE SOPORTE	DIB-002-ME6909-2
4	1	Cronógrafo	
5	1	SOPORTE ESTANQUE	DIB-002-ME6909-3
6	1	SOPORTE ACRÍLICO	DIB-002-ME6909-1
7	1	304L-HDF4-1000	
8	1	PGI-63B-PG2000-LAO1	
9	2	SS-4-VCR-6-DM	
10	1	SS-44XHLF4	

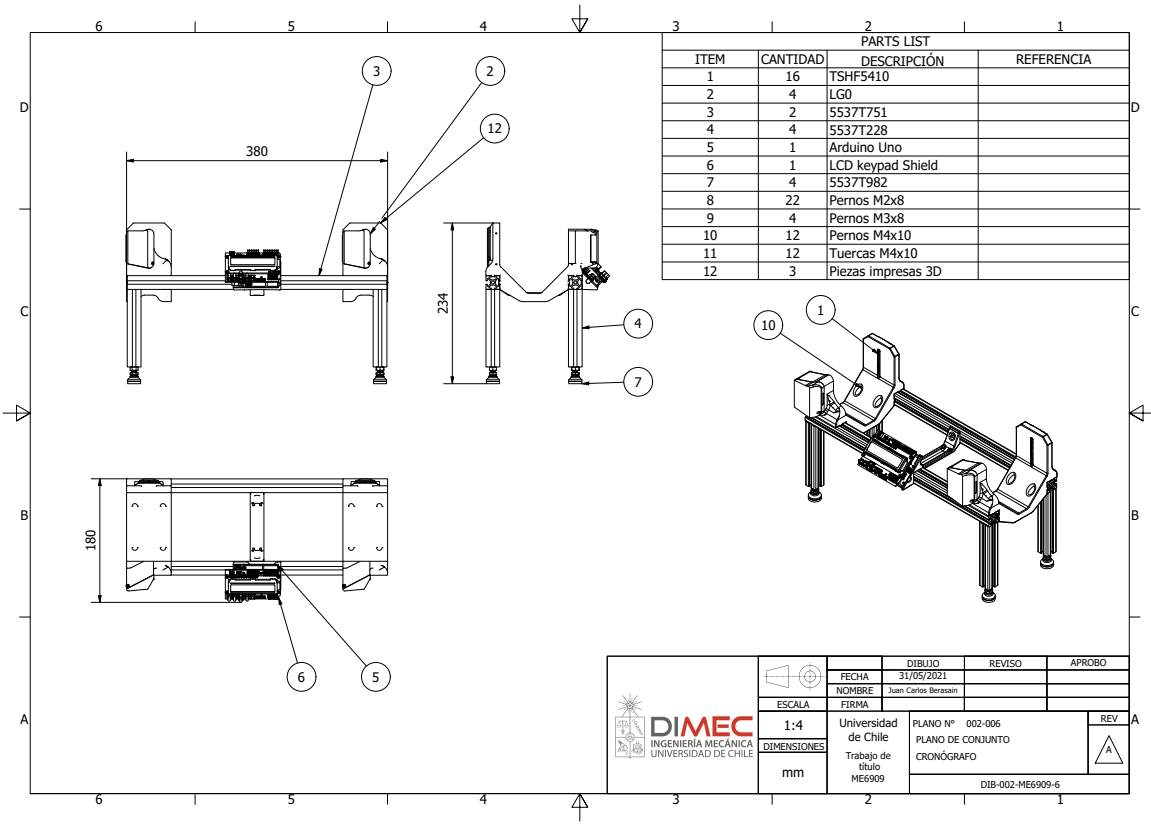


ISOMÉTRICO 1:35



*Todas las medidas están en la escala escrita a no ser que se indique lo contrario

	FECHA	DIBUJO	REVISO	APROBO
	NOMBRE	31/05/2021	Juan Carlos Norasain	
	FIRMA			
ESCALA	1:25	Universidad de Chile	PLANO Nº 002-005	REV
DIMENSIONES	mm	Trabajo de título ME6909	PLANO DE CONJUNTO ENSAMBLE GENERAL	A
			DIB-002-ME6909-5	



PARTS LIST			
ITEM	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	REFERENCIA
1	16	TSHF5410	
2	4	LG0	
3	2	5537T751	
4	4	5537T228	
5	1	Arduino Uno	
6	1	LCD keypad Shield	
7	4	5537T982	
8	22	Pernos M2x8	
9	4	Pernos M3x8	
10	12	Pernos M4x10	
11	12	Tuercas M4x10	
12	3	Piezas impresas 3D	

DIMEC INGENIERIA MECÁNICA UNIVERSIDAD DE CHILE	ESCALA 1:4	DIBUJO FECHA NOMBRE Juan Carlos Berasain	REVISO	APROBO
	DIMENSIONES mm	FIRMA Universidad de Chile Trabajo de título ME6909	PLANO N° 002-006 PLANO DE CONJUNTO CRONÓGRAFO	REV
	DIB-002-ME6909-6			