

**UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO  
SANTAMARÍA**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**SANTIAGO –CHILE**



**DISEÑO DE EQUIPO PARA EL DEPÓSITO DE  
PELÍCULAS DELGADAS MEDIANTE EL  
MÉTODO DE ROTACIÓN O SPIN COATING**

**JORGE SEBASTIAN ROJAS AGUILERA**

**MEMORIA DE TITULACIÓN PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO  
CIVIL MECÁNICO**

**PROFESOR GUÍA: DR. ING. SHEILA LASCANO FARAK**

**PROFESOR CORREFERENTE: DR. PAULINA DREYSE**

**Diciembre 2016**

## Resumen

El siguiente trabajo de título representa un procedimiento para el diseño y posterior fabricación de un equipo capaz de permitir la deposición y recubrimiento uniforme de monocapas de compuestos de naturaleza orgánica e inorgánica, desde soluciones con solventes volátiles. El desarrollo de este trabajo comienza con la definición del diseño en ingeniería, describiendo las metodologías y procedimientos utilizados actualmente, hasta el diseño del equipo propiamente tal. Los pasos que se llevaron a cabo se describen a continuación:

- Descripción y definición de forma detallada del problema a resolver, determinando a través de una recopilación de datos las necesidades más importantes del cliente.
- Generación del listado de atributos que debe tener el equipo agrupándolos en tres grandes categorías: Objetivos de Diseño, Restricciones y Funciones.
- Clasificación de los atributos de la categoría Objetivos de Diseño de acuerdo a su similitud: Costos, Desempeño, Seguridad y Apariencia.
- Jerarquización y asignación de pesos a los atributos basado en el grado de importancia, integrándose en cada sub-grupo las funciones y restricciones, según corresponda.
- Mediante un análisis funcional determinación de las sub-funciones que permitirán cumplir con las funciones principales del futuro diseño, utilizando el método de la Caja Negra y Transparente.
- Realización de búsqueda externa de información utilizando métodos como el Benchmarking y búsqueda de patentes.
- Realización del listado de especificaciones a ser requeridos por el equipo y desarrollo de la Matriz (QFD).
- Búsqueda interna de información a través de un Brainstorming y Carta Morfológica.
- Definición de los conceptos preliminares a ser diseñados y posterior análisis y elección de uno de ellos utilizando métodos de ponderación.
- Desarrollo de la arquitectura del equipo, selección de todos los elementos que componen lo componen, materiales a utilizar y dimensionamiento, siendo estas últimas representadas en planos de fabricación para la posterior construcción.

## **Abstract**

The following work represents a procedure for the design and following building of an equipment capable of allowing the deposit and uniform covering of a single layer of an organic or inorganic compound from volatile solvent solutions. For the development of this work, first the “engineering design” was defined in a general way, describing the steps and procedure currently used from the problem’s definition up to the detailed design. The development and design of the equipment was performed in the following steps.

- Description and definition of the problems to be solved, finding the customer’s priority needs through a data gathering.
- Definitions of the need of the customer as a design tribute list. Sorting, grouping and prioritization of the previous list using weighing tools.
- Function analysis of the objectives through the black box method and the transparent box method.
- External and internal search using methods such as benchmarking, quality matrix (QFD) and patent research.
- Definition of the preliminary concepts to be designed, followed by analysis and selection of one of them using a weighing criteria.
- Selection of each element that will compose the equipment, materials to be used, and load analysis (whenever required) and propose dimensions, with fabrication drawings for a future construction phase.

# Índice

Resumen.....	ii
Abstract .....	iii
Lista de Figuras.....	vi
Lista de Tablas .....	viii
Introducción .....	ix
Objetivo General y Específicos.....	x
1    Metodología del diseño .....	1
1.1    ¿Qué es el diseño?.....	1
1.2    Tipos de diseño .....	3
1.3    El proceso de diseño visto como una metodología de resolución de problemas.....	4
1.4    Descripción del proceso de diseño .....	5
1.5    Diseño Conceptual .....	7
1.5.1    Definición del problema.....	7
1.5.2    Búsqueda de información y generación de alternativas de diseño .....	9
1.5.3    Evaluación de soluciones y toma de decisiones .....	12
1.6    Diseño preliminar .....	13
1.7    Diseño de detalle .....	15
2    Diseño Conceptual .....	16
2.1    Problema Inicial .....	16
2.2    Definición del problema.....	17
2.3    Lista atributos.....	17
2.3.1    Clasificación de la lista de atributos.....	19
2.3.2    Agrupación y jerarquización de objetivos.....	21
2.3.3    Árbol de objetivos .....	24
2.3.4    Peso jerárquico objetivos .....	26
2.4    Análisis Funcional.....	28
2.4.1    Caja negra.....	28
2.4.2    Caja Transparente.....	30
2.5    Listado de especificaciones .....	33
2.6    Búsqueda Externa.....	35

2.6.1	Benchmarking .....	37
2.6.2	Quality Function Development (QFD).....	39
2.6.3	Búsqueda de Patentes .....	40
2.7	Búsqueda Interna.....	44
2.7.1	Brainstorming.....	44
2.7.2	Carta morfológica.....	45
2.8	Generación del concepto .....	47
2.8.1	Concepto 1.....	47
2.8.2	Concepto 2.....	48
2.8.3	Concepto 3.....	49
2.9	Selección del concepto .....	50
3	Diseño de configuración.....	52
3.1	Arquitectura del producto.....	52
3.1.1	Tipo de arquitectura .....	52
3.1.2	Establecimiento de la arquitectura .....	52
3.2	Diseño de configuración y detalle .....	55
3.2.1	Definición, descripción y selección de componentes estándares .....	55
3.2.2	Material a utilizar .....	68
3.2.3	Piezas especiales a fabricar .....	69
3.2.4	Costos.....	75
	Conclusiones .....	76

## Lista de Figuras

Figura 1: Proceso iterativo en la metodología de resolución de problemas aplicado al diseño. Adaptado de Seyyed Khandani, Phd. Agosto 2005 [6].	5
Figura 2: Primeras tres fases de la morfología de diseño. Adaptación del libro "Engineering Design". George E. Dieter [3].	6
Figura 3: Búsqueda de información y generación de alternativas [6].	11
Figura 4: Caja negra del sistema.	29
Figura 5: Caja transparente, entradas y salidas materiales.	30
Figura 6: Caja transparente, entradas y salidas energía, señales, materiales.	31
Figura 7: Caja transparente, entradas y salidas energía.	31
Figura 8: Caja transparente, entradas y salidas energía.	32
Figura 9: Caja transparente, entradas y salidas materiales.	32
Figura 10: Caja transparente final.	33
Figura 11: Brainstorming Spin Coater.	44
Figura 12: Boceto concepto número 1.	47
Figura 13: Boceto concepto número 2	48
Figura 14: Boceto concepto número 3.	49
Figura 15: Esquema representativo arquitectura de tipo modular-ranura.	52
Figura 16: Esquema del producto con los elementos funcionales y agrupación de estos en módulos.	53
Figura 17: Descripción detallada de los componentes físicos que describen los elementos funcionales.	54
Figura 18: Disposición geométrica 3D módulos.	54
Figura 19: Esquema representativo motor-eje-disco.	55
Figura 20: Representación disco girando en torno al eje z.	57
Figura 21: Ejemplo de emisión de pulsos.	59
Figura 22: Esquema de conexión típico de Arduino a motor DC.	60
Figura 23: Esquema de conexión.	61
Figura 24: Esquema de conexión para pantalla.	62
Figura 25: Representación funcionamiento diodos.	63
Figura 26: Circuito estándar para medición de velocidad.	63
Figura 27: Disco con ranuras para ajuste de sustrato.	69
Figura 28: Acople Motor Disco.	70
Figura 29: Soporte del motor a fabricar.	71
Figura 30: Carcasa lateral Spin Coater con pestañas soldadas en sus aristas,	71

Figura 31: Parte superior Spin Coater con cubierta cilíndrica. ....	72
Figura 32: Tornillo autoperforante con punta de broca y agujero pasante.....	73
Figura 33: Explosionado equipo Spin Coater.....	74

## Lista de Tablas

Tabla 1: Distintos tipos de métodos para la selección de ideas.....	13
Tabla 2: Jerarquización de objetivos de acuerdo al atributo desempeño .....	22
Tabla 3: Jerarquización de objetivos de acuerdo al atributo seguridad.....	23
Tabla 4: Jerarquización de objetivos de acuerdo al atributo costos. ....	24
Tabla 5: Jerarquización de objetivos de acuerdo al atributo apariencia.....	24
Tabla 6: Adaptación de escala numérica para asignación de pesos a objetivos.....	26
Tabla 7: Asignación de pesos por categoría y por objetivos.....	27
Tabla 8: Lista especificaciones diseño .....	34
Tabla 9: Asignación de puntajes de cada equipo. ....	38
Tabla 10: Carta Morfológica Spin Coater .....	45
Tabla 11 : Selección del Concepto.....	50
Tabla 12: Valores calculados. ....	58
Tabla 13: Hoja de datos de especificaciones Arduino. ....	64
Tabla 14: Hoja de Datos de Especificaciones Motor DC.....	65
Tabla 15: Resumen Características Generales Elementos Misceláneos.....	66
Tabla 16: Características Químicas Acero AISI 304 .....	69
Tabla 17: Características Mecánicas Acero AISI 304.....	69
Tabla 18: Costos asociados a cada componente del equipo.....	75
Tabla 19: Escala valorización desempeño.....	80
Tabla 20: Descripción puntos a evaluar desempeño. ....	80
Tabla 21: Escala valorización seguridad. ....	81
Tabla 22: Descripción puntos a evaluar seguridad.....	81
Tabla 23: Escala de valorización costos.....	81
Tabla 24: Descripción puntos a evaluar Costos. ....	81
Tabla 25: Escala valorización apariencia. ....	82
Tabla 26: Descripción puntos a evaluar apariencia.....	82
Tabla 27: Escala de valorización por criterios. ....	82
Tabla 28: Descripción criterios a evaluar.....	82
Tabla 29: Hoja de datos motor DC.....	83

## **Introducción**

En el presente trabajo de título se desarrolla el diseño de un equipo mecánico que permite el recubrimiento de superficies con compuestos de naturaleza orgánica o inorgánica, desde soluciones con solventes volátiles. Dicho equipo deberá estar disponible en Laboratorios de Investigación de la Universidad.

La solución que se propone es utilizar una metodología paso a paso de diseño que permita tener como producto final un equipo que cumpla las mismas funciones que los actualmente vendidos de forma comercial y que sea de bajo costo. Esta metodología comprende el desarrollo de un diseño conceptual donde se dejan entrever las necesidades del cliente y analizar cuáles son las más importantes. Posteriormente, a través de diversas técnicas se determinan los diseños más importantes que cumplan con estas necesidades.

A modo de especificar mejor el equipo se realiza una arquitectura de este, donde se indican los componentes más importantes que formarán parte de él. Finalmente se detallan estos componentes, especificando los materiales a utilizar, dimensiones, planos de fabricación y costos asociados.

## **Objetivo General y Específicos**

El objetivo general es el diseño de un equipo que permita depositar monocapas de compuestos de naturaleza orgánica o inorgánica, desde soluciones preparadas en solventes volátiles, sobre superficies mediante la rotación de un disco, donde se regulará la velocidad de giro, el tiempo de funcionamiento y donde la inyección del compuesto se realizará de manera manual. Para en un futuro próximo implementarlo en el laboratorio de química de la Universidad con fines de investigación.

Para este propósito de deben cumplir los siguientes objetivos específicos:

- Definir el problema y clasificar la lista de atributos separándola en tres categorías: objetivos de diseño, restricciones y funciones.
- Aplicar la metodología QFD para el análisis de las especificaciones del diseño y la competencia.
- Generar alternativas a través de búsquedas internas y externas.
- Evaluar las alternativas y desarrollar la arquitectura del equipo.
- Diseñar el sistema final y generar los planos de acuerdo a la alternativa seleccionada.
- Concluir respecto al trabajo realizado.

# 1 Metodología del diseño

## 1.1 ¿Qué es el diseño?

Todos alguna vez hemos utilizado la palabra diseño y tenemos alguna noción respecto a su significado. Habitualmente la encontramos en el campo de las artes, ingeniería, arquitectura, escritura y entre muchas otras ramas del conocimiento; pero ¿Qué es diseño? La primera respuesta que se nos viene a la cabeza es la creación de una cosa que nunca antes se había hecho; en diccionarios como la Real Academia Española, por ejemplo, se define como el proyecto o plan para la configuración de algo. El diseño muchas veces responde a satisfacer una cierta necesidad, planteada por el hombre o por una sociedad. No obstante, en ingeniería estas definiciones resultan ser insuficientes.

Michael J. French [1] menciona que “la creación mental de un nuevo producto es la tarea del diseño o de los ingenieros desarrolladores”. Por otro lado, John R. Dixon [2] habla de que “el diseño en ingeniería no es un arte o habilidad, sino más bien un proceso cognitivo o intelectual basado en el conocimiento”. Una definición más formal (y que se adoptará de ahora en adelante) es que el diseño establece y define **estructuras** y **soluciones** pertinentes para **problemas** que no han sido resueltos antes, o nuevas soluciones a problemas que han sido resueltos de una forma diferente [3]. Por este motivo, se entiende que el diseño es un proceso y una metodología que conlleva al desarrollo de una serie de pasos o etapas hasta llegar a la solución final.

Los ingenieros tienen como tarea principal aplicar sus conocimientos de ciencias e ingeniería para resolver diversos problemas y luego optimizar estas soluciones de acuerdo a ciertos requerimientos y ciertas restricciones (material, tecnología, costos, legalidad, problemas medioambientales, etc.)

De acuerdo a esto es que el diseño en ingeniería es una actividad que [4]:

- Afecta a casi todas las áreas de la vida humana
- Utiliza las leyes y conocimientos de la ciencia.
- Plantea los requisitos para solución de necesidades.

El proceso de diseño en ingeniería presenta tres aristas importantes que se deben considerar durante todo el ciclo de desarrollo del producto: costos, calidad y tiempo de respuesta.

En términos económicos los costos asociados a la tarea de diseño son bajos en relación al costo total que implica la fabricación del equipo, sin embargo, las decisiones que se tomen en la etapa de diseño tendrán un efecto significativo en el producto final. Tomar las decisiones equivocadas conduce a que el diseño final no sea el que se esperaba y no cumpla con los requerimientos establecidos por el cliente o usuario. El hecho de corregir los problemas en las etapas posteriores, como manufactura por ejemplo, conlleva a elevar los costos y por tanto reinvertir más tiempo en todo el ciclo de creación del producto.

Las personas a cargo del diseño deben considerar la **calidad** como un aspecto relevante dentro del proceso. Esta palabra no sólo debe entenderse como un producto, sistema o máquina que esté dentro de las especificaciones y tolerancias establecidas, sino que también debe ser capaz de satisfacer ciertas necesidades o requerimientos del cliente y entregar un valor agregado.

Generar un producto competitivo en el mercado no sólo se debe relacionar con costos y calidad, sino que también con el tiempo de respuesta o tiempo requerido para desarrollar y entregar el producto al mercado. Dado los crecientes cambios, nuevas necesidades y requerimientos, es que la organización o empresa debe responder rápidamente a estos. La capacidad de respuesta se obtendrá optimizando los procesos, utilizando nuevas técnicas, programas o tecnologías que permitan desarrollar de forma eficiente los productos.

## **1.2 Tipos de diseño**

Dentro de la ingeniería existen varios tipos de diseño, los que se eligen en base a diferentes razones, criterios o necesidades [5]:

- **Diseño original o diseño innovativo:** Este tipo de diseño responde a una necesidad que nunca antes ha sido satisfecha y que usualmente llega a ser original. El diseño innovativo implica la invención de algo que nunca antes se ha creado. Si bien este tipo de diseño resulta ser atractivo, ya que perturbaría fuertemente al mercado en su entrada, hoy en día es el que se utiliza en un menor porcentaje.
- **Diseño adaptativo:** En este caso se toma una solución conocida, la que se adapta en base a las necesidades actuales.
- **Rediseño:** Es el tipo de diseño más común; se toma el diseño actual y se realiza una mejora manteniendo los principios originales de funcionamiento. En ciertos casos esta mejora en el o los componentes del producto se realiza porque fallan en sus tareas, por reducción de costos en la manufactura, por cambio en las necesidades o por disponibilidad de una nueva tecnología.

- **Diseño selectivo:** En este caso se debe tomar un diseño ya existente (estándar) y que reúna las condiciones y requerimientos necesarios para darle solución al diseño propuesto por el ingeniero. Por ejemplo, seleccionar un rodamiento para el diseño de una rueda.
- **Diseño industrial:** En primer lugar se debe entender que el diseño industrial trabaja como complemento al diseño en ingeniería. Si bien importa que el producto cumpla con los requerimientos funcionales, también es de suma importancia que sea atractivo (visualmente hablando) y ergonómico. Entiéndase este último como la relación entre todos los aspectos del producto y las interfases humanas.

### **1.3 El proceso de diseño visto como una metodología de resolución de problemas**

El diseño en ingeniería se puede abordar como una metodología de resolución de problemas que consta de cinco pasos:

- Definición del problema.
- Búsqueda de información.
- Generación de múltiples alternativas de solución.
- Evaluación de soluciones y toma de decisiones.
- Implementación de la solución y comunicación de los resultados.

El proceso de resolución de problemas en diseño muchas veces requerirá cambios; la solución adoptada para resolver cierta necesidad quizás no es la óptima, ni la más económica o en el peor de los casos no funciona o no realiza la tarea especificada. Esta gama de posibilidades requerirá volver a los pasos anteriores redefiniendo el problema o recolectando más información o generando nuevas alternativas. La figura 1 muestra de forma esquemática el proceso iterativo que se realiza.



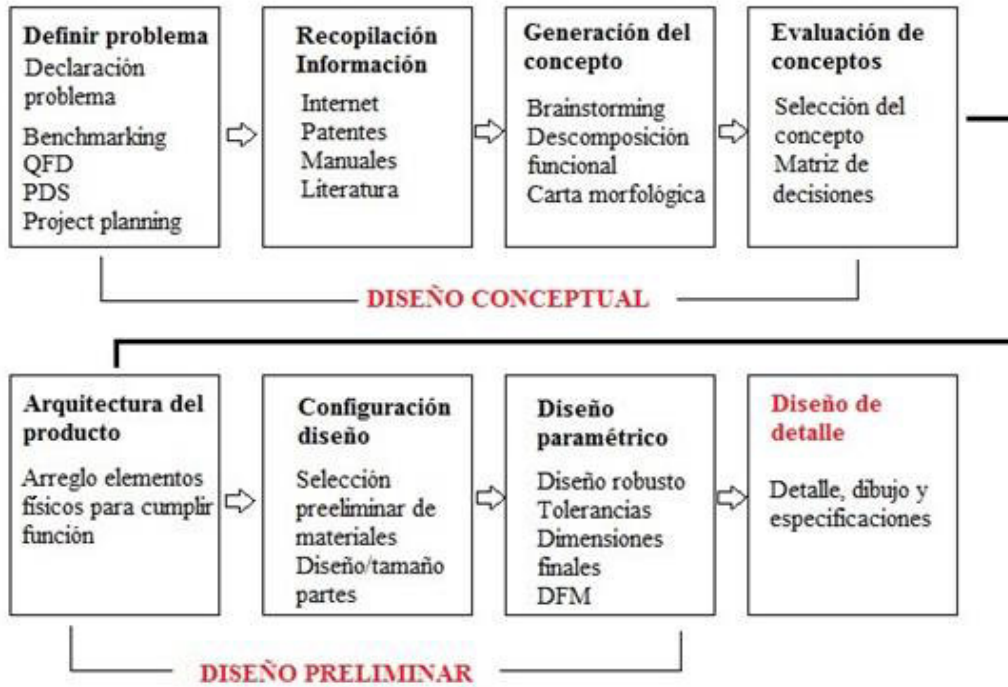
**Figura 1: Proceso iterativo en la metodología de resolución de problemas aplicado al diseño. Adaptado de SeyyedKhandani, Phd. Agosto 2005 [6].**

## 1.4 Descripción del proceso de diseño

Dentro del proceso de diseño, dos aproximaciones son posibles: la morfología y la anatomía del diseño. La primera y que fue descrita por Morris Asimow [7] presenta el ciclo de vida del producto desde su concepción hasta su retiro, y es conocida como la morfología en el proceso de diseño. Consta de siete fases:

- Diseño conceptual
- Diseño preliminar
- Diseño de detalle
- Planeación de la manufactura
- Planeación de la distribución
- Planeación del uso o consumo
- Planeación del retiro del producto

La figura 2 muestra de forma esquemática las 3 primeras fases del diseño: diseño conceptual, diseño de configuración y diseño de detalle. Cada uno de ellos relacionados a través de 8 pasos que siguen una secuencia lógica.



**Figura 2: Primeras tres fases de la morfología de diseño. Adaptación del libro "EngineeringDesign". George E. Dieter [3].**

## **1.5 Diseño Conceptual**

La fase de diseño conceptual consta de cinco pasos: definición del problema, búsqueda de información, generación del concepto y evaluación del concepto; etapas que han sido enmarcadas dentro de la metodología de resolución de problemas (ver capítulo 1.3).

### **1.5.1 Definición del problema**

Se podría pensar erróneamente que esta etapa no es relevante, ya que representa sólo una parte del total de pasos a seguir para llegar al diseño final. Sin embargo, definir mal el problema conlleva a generar múltiples soluciones que no necesariamente son las que se esperan. Por lo tanto, la definición del problema debe ser clara y contener en lo posible la mayor cantidad de información; declarándolo adecuadamente, incluyendo los objetivos y metas, el estado actual de las cosas y el estado deseado, las restricciones pertinentes y la definición de cualquier especificación técnica [1].

Se entiende que el diseño en ingeniería siempre actúa en pro de satisfacer las necesidades humanas. Es por ello que antes de definir el problema, es necesario conocer qué necesidades insatisfechas, nuevas o susceptibles de cambiar, debe reunir el nuevo producto, sistema o máquina. Dichas necesidades pueden surgir por motivaciones muy variadas, por ejemplo:

- Investigaciones de mercado: productos obsoletos que requieren una innovación o mejora.
- Nuevas normas o legislaciones: cambios en las legislaciones de cada país que implican modificar ciertos productos que atentan con aspectos de seguridad y/o medioambientales.
- Nichos de mercados insatisfechos: sectores donde se ha producido una insatisfacción de los productos ya existentes y que por tanto requiere mejoras o innovaciones.

- Pedidos formales: el cliente pide un producto específico de acuerdo a sus requerimientos y necesidades.

Las personas a cargo deben establecer una fuerte comunicación con los clientes. No cumplir esto implica que el problema no se resolverá correctamente. Karl T. Ulrich [3] menciona cinco pasos para identificar las necesidades del cliente:

1. Recopilar datos sin procesar de los clientes.
2. Interpretar los datos sin procesar en términos de las necesidades de clientes.
3. Organizar las necesidades en una jerarquía de necesidades primarias, secundarias y, de ser necesario, terciarias.
4. Establecer la importancia relativa de las necesidades.
5. Reflexionar en los resultados y el proceso.

Los caminos para recopilar la información de los clientes y por tanto identificar sus necesidades son variados: entrevistas, focusgroup, observación del producto en uso, encuestas, entre otros.

Reunir y conocer las necesidades de los clientes o del usuario final no es suficiente para generar el diseño [1]. La generación de conceptos sólo se puede realizar si el producto está bien descrito. Por ello es que el problema se debe declarar adecuadamente y con la mayor información posible, estableciendo un conjunto de especificaciones que serán la base para entender cómo responder a las necesidades del cliente.

En ocasiones las especificaciones se deben redefinir, ya que el grupo encargado del diseño no conoce claramente las restricciones que tendrá el producto durante su desarrollo. Para establecer de manera correcta la lista de especificaciones, estas deben responder en el mayor grado posible a la necesidad del cliente. En ocasiones la especificación que la satisface puede no ser única, ya que depende muchas veces de cómo sea entendida o traducida esta necesidad. De hecho, es más probable que el diseñador comprenda claramente el problema durante las siguientes fases del diseño.

Uno de los procesos que permite solucionar este problema es el despliegue de la función de calidad (QFD por sus siglas en inglés). Esta permite comprender con profundidad las necesidades del cliente y traducir estos en objetivos de diseño, desplegando todos los esfuerzos de calidad en ellos. Una de las herramientas del QFD es **la casa de la calidad**, que relaciona de manera gráfica los deseos del cliente con el producto y servicio que se quiere lograr.

Los pasos necesarios para construir esta casa son [5]:

- Identificar los deseos de los clientes.
- Determinar cómo se satisfarán estos deseos (características, atributos específicos del producto).
- Relacionar los deseos del cliente con las especificaciones técnicas del producto.
- Definir índices de importancia entre los objetivos de diseño (“los ¿Qué?”) y las especificaciones técnicas de ingeniería o métricas (“los ¿Cómo?”).
- Evaluar los productos competidores (en qué medida satisfacen los deseos del cliente los productos de la competencia).

### **1.5.2 Búsqueda de información y generación de alternativas de diseño**

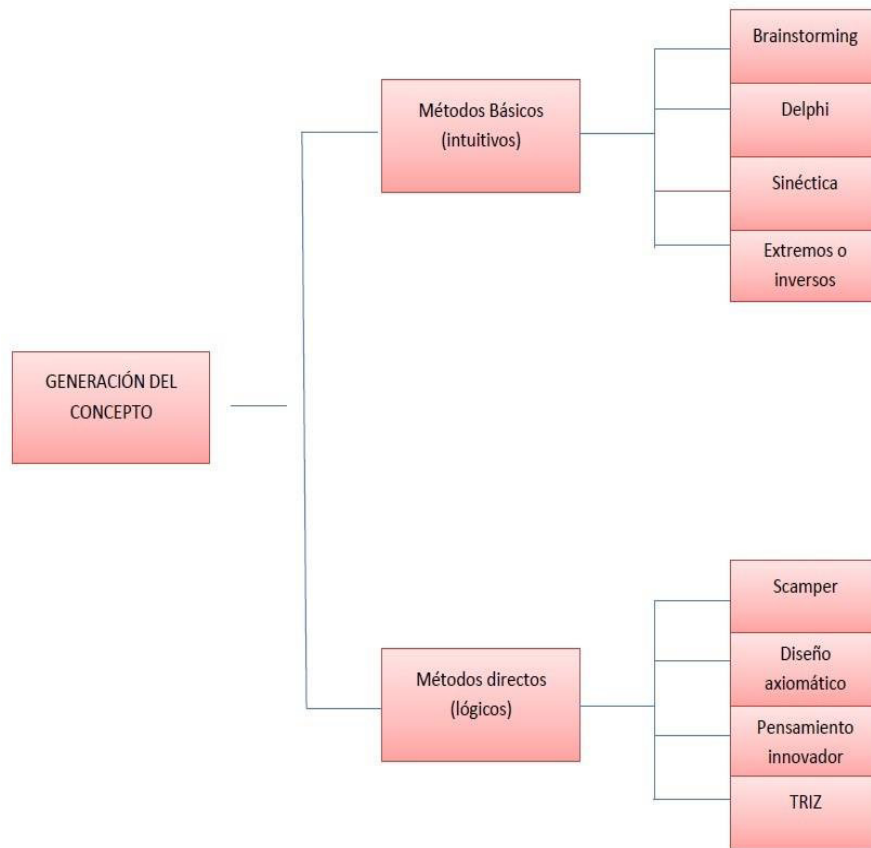
Este paso del proceso de diseño es muy importante ya que permite entender mejor el problema definido y por consiguiente generar alternativas de solución al problema. No obstante, la búsqueda de información resulta ser bastante tediosa y puede tomar mucho tiempo durante el proceso de diseño, donde es posible encontrarse con dos problemas: no saber por dónde empezar o que información necesitar, o tener información en exceso y no saber cómo organizarla.

George E. Dieter plantea algunas preguntas interesantes en el proceso de búsqueda de información [3]:

- ¿Qué necesito encontrar?
- ¿Dónde puedo encontrar esto y como puedo obtenerlo?
- ¿Qué tan creíble y acertada es la información encontrada?
- ¿Cómo esta información debería ser interpretada para una necesidad específica?
- ¿Cuándo tengo la información suficiente?
- ¿Qué decisiones debo tomar a partir de la información recabada?

En relación a la búsqueda de información en el diseño es posible identificar dos fuentes: las búsquedas externas y las búsquedas internas.

- Búsquedas externas: Existe una amplia gama de fuentes donde es posible encontrar la información pertinente a la definición del problema: libros, catálogos electrónicos, publicaciones científicas, manuales de ingeniería, patentes, entre otros.
- Búsquedas internas: una vez se han realizado búsquedas de información en fuentes externas, se estimula el pensamiento creativo para la generación de ideas innovadoras. Existen varias metodologías para estimular la producción de ideas creativas (Ver figura 3). Dentro de ellas destaca principalmente el Brainstorming que permite generar una lluvia de posibles soluciones que tendrá el diseño. Mientras mayor sea la cantidad de soluciones, se podrán generar más conceptos.



**Figura 3: Búsqueda de información y generación de alternativas [6].**

La información recabada a través de las diferentes fuentes dará paso a generar una gama de conceptos del producto que tienen el potencial de satisfacer las necesidades del cliente. Es importante que se genere la mayor cantidad de conceptos o alternativas posibles, ya que reducirá enormemente la probabilidad de cometer un error en los pasos posteriores de desarrollo del producto. Cada concepto se puede generar entendiendo de forma global el problema, o si es necesario, descomponiéndolo en subproblemas. La búsqueda de información ya sea externa (conceptos existentes) o interna (conceptos nuevos) es fundamental en esta etapa.

Los pasos posteriores llevan al grupo de diseño a evaluar los conceptos comparando los puntos débiles y fuertes, y seleccionando aquellos que pasarán a la fase de diseño de configuración. Como se mencionó anteriormente, las especificaciones de diseño deben ser redefinidas en base a ciertas restricciones y cerciorarse que el diseño es física y económicamente posible.

### **1.5.3 Evaluación de soluciones y toma de decisiones**

Una vez generada la gama de soluciones, se debe realizar un análisis o evaluación para elegir la mejor alternativa que luego será implementada. Para su desarrollo se deberán utilizar todos los conocimientos técnicos y herramientas disponibles que permitan obtener resultados para tomar la mejor decisión.

Antes de tomar la decisión respecto a qué solución implementar, es importante comparar los resultados obtenidos en el análisis con las restricciones impuestas en la definición del problema. El análisis que se debe realizar dependerá del problema que se ha definido:

- Análisis funcional;
- Diseño industrial/ergonomía;
- Análisis mecánico/análisis de esfuerzos;
- Análisis Eléctrico/electrónico;
- Análisis de Manufacturabilidad;
- Análisis económico y de marketing;
- Análisis de Regulaciones y restricciones.

Existen distintos métodos para seleccionar una idea. La tabla 1 resume algunos de estos métodos:

**Tabla 1: Distintos tipos de métodos para la selección de ideas.**

<b>Método</b>	<b>Definición</b>
<b>Decisión Externa</b>	Los conceptos son llevados por el Cliente o alguna entidad externa para su selección.
<b>Producto Campeón</b>	Un miembro influyente del equipo de desarrollo elige un concepto basado en preferencias personales
<b>Intuición</b>	El concepto es elegido por algún sentimiento de que es el mejor
<b>Votos múltiples</b>	Cada miembro del equipo vota por varios conceptos.
<b>Pro y Contras</b>	El equipo realiza un listado de las fortalezas y debilidades de cada concepto y toma su decisión basada en una opinión grupal
<b>Prototipo y Pruebas</b>	El equipo construye y prueba prototipos por cada concepto basando su elección en los datos de prueba.
<b>Matrices de Decisión</b>	El equipo evalúa cada concepto, asignándole un peso, contra un criterio de selección es específico.

## 1.6 Diseño preliminar

La fase siguiente en el proceso de diseño es lo que se conoce como diseño preliminar, donde se tomarán decisiones sobre los materiales, la forma física, tamaño y espacio del concepto seleccionado. Esta fase se divide en tres etapas: arquitectura del producto, diseño de configuración y diseño paramétrico.

- **Arquitectura del producto:** Cuando nos referimos al producto, lo podemos tomar en términos funcionales, es decir, indicando todas aquellas operaciones que contribuyen a la realización de las tareas del producto; o en términos físicos, refiriéndonos a todas las partes, componentes y subconjuntos que permiten la realización de estas funciones. La forma en que los elementos funcionales se

integran a elementos de construcción físicos del producto es lo que se conoce como la arquitectura del producto. Los elementos físicos que están organizados dentro del producto comúnmente se conocen como módulos, donde cada uno está conformado a su vez por componentes que llevan adelante las funciones del producto.

Un método para establecer la arquitectura del producto consta de cuatro pasos [3]:

1. Crear un esquema del producto.
  2. Agrupar los elementos del esquema.
  3. Crear una disposición geométrica apropiada.
  4. Identificar las interacciones fundamentales e incidentales.
- **Diseño de configuración:** La fase de diseño de configuración establecerá la forma y dimensiones generales de los componentes. Los componentes incluyen partes con un propósito especial, partes estándar y ensamblajes estándar. Cada parte contiene características geométricas tales como curvas, agujeros, filetes, chaflanes; donde están localizadas y organizadas en un lugar adecuado.
  - **Diseño paramétrico:** En esta etapa, los atributos o características de los componentes identificados en el diseño de configuración son utilizados como información para establecer las dimensiones y tolerancias exactas, material o tratamiento térmico (por mencionar algunas) de cada parte o componente. Por lo tanto, el objetivo del diseño paramétrico es fijar todas estas características mencionadas anteriormente en cada componente de manera que se produzca el mejor diseño posible tomando en cuenta tanto su desempeño como el costo incurrido en él.

## 1.7 Diseño de detalle

En esta fase el diseño es llevado a una etapa de descripción total de un producto probado y reproducible. Toda aquella información respecto a dimensiones, tolerancias, calidad superficial o procesos de manufactura deben ser completados. Esta fase de diseño contempla una serie de actividades que deben ser desarrolladas [3]:

- Realizar planos detallados para fabricación, los que pueden ser hechos en CAD o modelos 3D.
- Pruebas de verificación de los prototipos. En esta etapa todos los parámetros críticos están confirmados para estar bajo control.
- Los planos de ensamblaje y todas las instrucciones de ensamblaje deben ser completados.
- Detallar las especificaciones del producto, indicando todos los cambios realizados desde la fase de diseño conceptual.
- Tomar decisiones acerca de la compra de las partes por un proveedor externo o realizarlas internamente (dentro de la empresa u organización).
- En base a la información entregada en los pasos anteriores se debe realizar una estimación de los costos asociados al producto.
- Como punto final se realiza una revisión del diseño antes de tomar la decisión de que pase a la etapa de construcción.

## **2 Diseño Conceptual**

### **2.1 Problema Inicial**

Hoy en día el desarrollo de nuevos materiales que presenten nuevas propiedades tanto físicas, ópticas, químicas y mecánicas es un campo en constante crecimiento y con un alto potencial de aplicaciones. Dentro de estas aplicaciones destaca el sector energético, que en los últimos años ha elevado su consumo eléctrico dando pie a la búsqueda de nuevas tecnologías que permitan sostenerlo. La Dra. Paulina Dreyse, académico del Departamento de Química de la Universidad Técnica Federico Santa María, ha estado investigando en el desarrollo de compuestos de coordinación iónicos para construir un nuevo sistema de iluminación artificial llamado LEC (Light Emitting Electrochemical Cells)- Proyecto Fondecyt No. 11130221.

Dicha investigación se ha enfocado en el diseño de nuevos materiales con características luminiscentes utilizando el método de deposición de monocapas. Los criterios que se utilizan para la aplicación de monocapas son varios y permiten elegir diversas técnicas, tales como: inmersión (dip coating), inmersión en caliente (procesos de zincado, aluminado, etc.), deposición física de vapor (PVD) o deposición química de vapor (CVD), difusión termo reactiva (TD), deposición dinámica de vapor (DCD) y deposición por medio de rotación (spin coating) [11].

Dentro de las técnicas mencionadas, el spin coating es uno de los métodos más empleados debido a su bajo costo, rapidez en el proceso amplio uso. Este aprovecha la fuerza centrífuga que se produce como resultado del giro de un disco, permitiendo que el líquido depositado en la placa o sustrato se distribuya uniformemente. La eficacia de esta técnica radica en que es posible controlar ciertas variables del proceso, tales como velocidad y tiempo de giro del disco o mecanismo y forma de deposición.

Actualmente, dicho proceso se hace de forma “artesanal”, ya que no es posible controlar la velocidad ni tiempo de giro del disco o el excedente de solución, entre otros inconvenientes.

## **2.2 Definición del problema**

Diseñar y fabricar un equipo de bajo costo a escala de laboratorio para la deposición de monocapas mediante el proceso de rotación o spin coating, donde se regule la velocidad de giro del disco, el tiempo de funcionamiento, el mecanismo de deposición de las monocapas y se reduzca la contaminación hacia el medio ambiente.

## **2.3 Lista atributos**

A través de una entrevista con el cliente, se obtuvo información respecto a sus necesidades, las que fueron interpretadas en término de atributos. En base a ello se realizó la siguiente lista:

1. Regulación del tiempo de giro del disco.
2. Depositar monocapas de compuestos solubilizados a partir de solventes orgánico volátiles.
3. Velocidad de giro del disco controlada.
4. Que la velocidad se regule entre 100 y 3000 [rpm] con un intervalo de 10 rpm como mínimo.
5. Que el tiempo de funcionamiento sea en intervalos de 5 [s] con un rango entre 5 y 300 [s].
6. Mantener firme y seguro el sustrato.
7. El equipo permite colocar sustratos con dimensiones de 1x1 [cm] y 2x2 [cm].
8. Mecanismo manual de deposición.
9. Fácil de realizar mantenimiento.
10. Fácil de desmontar y montar.
11. Fácil de transportar.
12. El equipo tiene un sistema de control para manipular las variables de proceso.
13. Cableado y conexiones internas protegidos de los solventes orgánicos.

14. El disco con la muestra están protegidos del ambiente externo (sin necesidad de tener que ser condiciones anhidras).
15. El equipo posee un sistema para contener el excedente de líquido depositado.
16. El equipo funciona sin perder estabilidad durante el funcionamiento.
17. El equipo es fácil de operar.
18. El sistema permite visualizar la operación del equipo.
19. Bajo costo de mantenimiento.
20. Bajo costo de piezas de repuesto.
21. Detención rápida del giro del disco en caso de emergencia.
22. El solvente orgánico se encuentra contenido y no contamina el medio ambiente.
23. Se mantiene inoperable cuando la tapa está abierta.
24. Las partes móviles se encuentran encerradas para evitar atascamientos.
25. El sistema es flexible y permite la automatización de la deposición de capas.
26. Deposición de una monocapa uniforme entre 60 y 120 nanómetros de espesor.
27. Que el equipo sea liviano.
28. Las superficies internas y externas son fáciles de limpiar.
29. El sistema está protegido de choques eléctricos inesperados.
30. Puede operar sobre superficie plana y firme.
31. Dimensiones máximas del equipo son 20x20x20 cm.
32. Bajo costo de fabricación.
33. Visualmente agradable.

### 2.3.1 Clasificación de la lista de atributos

La lista de atributos generada se separará en tres grandes categorías: Objetivos de diseño, restricciones y funciones.

#### Objetivos

1. El equipo tiene un sistema de control para manipular las variables del proceso.
2. Mantener firme y seguro el sustrato.
3. Fácil de realizar mantenimiento.
4. Fácil de desmontar y montar.
5. Fácil de transportar.
6. Cableado y conexiones internas protegidos de los solventes orgánicos.
7. El disco con la muestra están protegidos del ambiente externo (sin necesidad e tener que ser condiciones anhidras).
8. El equipo funciona sin perder estabilidad durante el funcionamiento.
9. El equipo es fácil de operar.
10. El sistema permite visualizar la operación del equipo.
11. Bajo costo de mantenimiento.
12. Bajo costo de piezas de repuesto.
13. Detención rápida del giro del disco en caso de emergencia.
14. El solvente orgánico se encuentra contenido y no contamina el medio ambiente.
15. Las partes móviles se encuentran encerradas para evitar atascamientos.
16. El sistema es flexible y permite la automatización de la deposición de capas.
17. Las superficies internas y externas son fáciles de limpiar.
18. El sistema está protegido de choques eléctricos inesperados.
19. Puede operar sobre una superficie plana y firme.
20. Se mantiene inoperable cuando la tapa está abierta.
21. Bajo costo de fabricación.
22. Visualmente agradable.

### **Restricciones**

1. Que la velocidad se regule entre 100 y 1500 [rpm] con un intervalo de 10 rpm como mínimo.
2. Que el tiempo de funcionamiento sea en intervalos de 5 [s] con un rango entre 5 y 300 [s].
3. El equipo permite colocar muestras con dimensiones de 1x1 [cm] y 2x2 [cm].
4. Deposita una monocapa entre 60 y 120 nanómetros de espesor.
5. Que el equipo sea liviano.
6. Dimensiones máximas del equipo 20x20x20 cm.

### **Funciones**

1. Depositar monocapas de compuestos solubilizados a partir de solventes orgánico volátiles.
2. Regular del tiempo de giro del disco.
3. Controlar velocidad de giro del disco.
4. Depositar la muestra de forma manual.
5. Contener el excedente de la muestra.

### 2.3.2 Agrupación y jerarquización de objetivos

Tomando la lista de atributos, se trabajará solo con los objetivos de diseño y se reagruparán de acuerdo a su similitud. La clasificación de cada grupo dependerá del criterio del diseñador y de la importancia que se le asigne a un concepto. En este caso, la clasificación será: costo, desempeño, seguridad y apariencia.

#### Costo

1. Bajo costo de mantenimiento.
2. Bajo costo de piezas de repuesto.
3. Bajo costo de fabricación.

#### Desempeño

1. Fácil de realizar mantenimiento.
2. El equipo tiene un sistema de control para manipular las variables del proceso.
3. Fácil de desmontar y montar.
4. Fácil de transportar.
5. El equipo funciona sin perder estabilidad durante el funcionamiento.
6. El equipo es fácil de operar.
7. El sistema es flexible y permite la automatización de la deposición de capas.
8. Las superficies internas y externas son fáciles de limpiar.
9. Puede operar sobre una superficie plana y firme.

#### Seguridad

1. Mantener firme y seguro el sustrato.
2. El disco con la muestra están protegidos del ambiente externo (sin necesidad de tener que ser condiciones anhidras).
3. Detención rápida del giro del disco en caso de emergencia.
4. El solvente orgánico se encuentra contenido y no contamina el medio ambiente.

5. Se mantiene inoperable cuando la tapa está abierta.
6. Las partes móviles se encuentran encerradas para evitar atascamientos.
7. El sistema está protegido de choques eléctricos inesperados.

#### Apariencia

1. Cableado y conexiones internas protegidos de los solventes orgánicos.
2. El sistema permite visualizar la operación del equipo.
3. Visualmente agradable.

Cada atributo correspondiente a cada grupo será jerarquizado de acuerdo a su grado de importancia. Las funciones y restricciones listadas anteriormente se integrarán, según corresponda, en estas jerarquizaciones.

**Tabla 2: Jerarquización de objetivos de acuerdo al atributo desempeño**

<b>Posición</b>	<b>Desempeño</b>
1	El equipo tiene un sistema de control para manipular las variables del proceso.
2	El equipo es fácil de operar.
3	El equipo funciona sin perder estabilidad durante el funcionamiento.
4	Fácil de realizar mantenimiento.
5	Fácil de desmontar y montar.
6	Las superficies internas y externas son fáciles de limpiar.
7	El sistema es flexible y permite la automatización de la deposición de capas.
8	Fácil de transportar.
9	Puede operar sobre superficie plana y firme.
<b>F1</b>	<b>Depositar monocapas de compuestos solubilizados en solventes orgánicos.</b>
<b>F2</b>	<b>Regular el tiempo de giro del disco.</b>

F3	Controlar la velocidad de giro del disco.
F4	Depositar la muestra de forma manual.
R1	Deposición de monocapas entre 60 y 120 nanómetros de espesor.
R2	Que la velocidad se regule entre 100 y 1500 [rpm]. Con un intervalo de 10 rpm como mínimo.
R3	Que el tiempo de funcionamiento sea en intervalos de 5 [s] con un rango entre 5 y 300 [s].
R4	El equipo permite colocar muestras con dimensiones de 1x1 [cm] y 2x2 [cm].

**Tabla 3: Jerarquización de objetivos de acuerdo al atributo seguridad.**

Posición	Seguridad
1	El solvente orgánico se encuentra contenido y no contamina el medio ambiente.
2	El disco con la muestra están protegidos del ambiente externo (sin necesidad de tener que ser condiciones anhidras).
3	Detención rápida del giro del disco en caso de emergencia.
4	Se mantiene inoperable cuando la tapa está abierta.
5	Mantener firme y seguro el sustrato.
6	Las partes móviles se encuentran encerradas para evitar atascamientos.
7	El sistema está protegido de choques eléctricos inesperados.
F1	Contener el excedente de líquido depositado

**Tabla 4: Jerarquización de objetivos de acuerdo al atributo costos.**

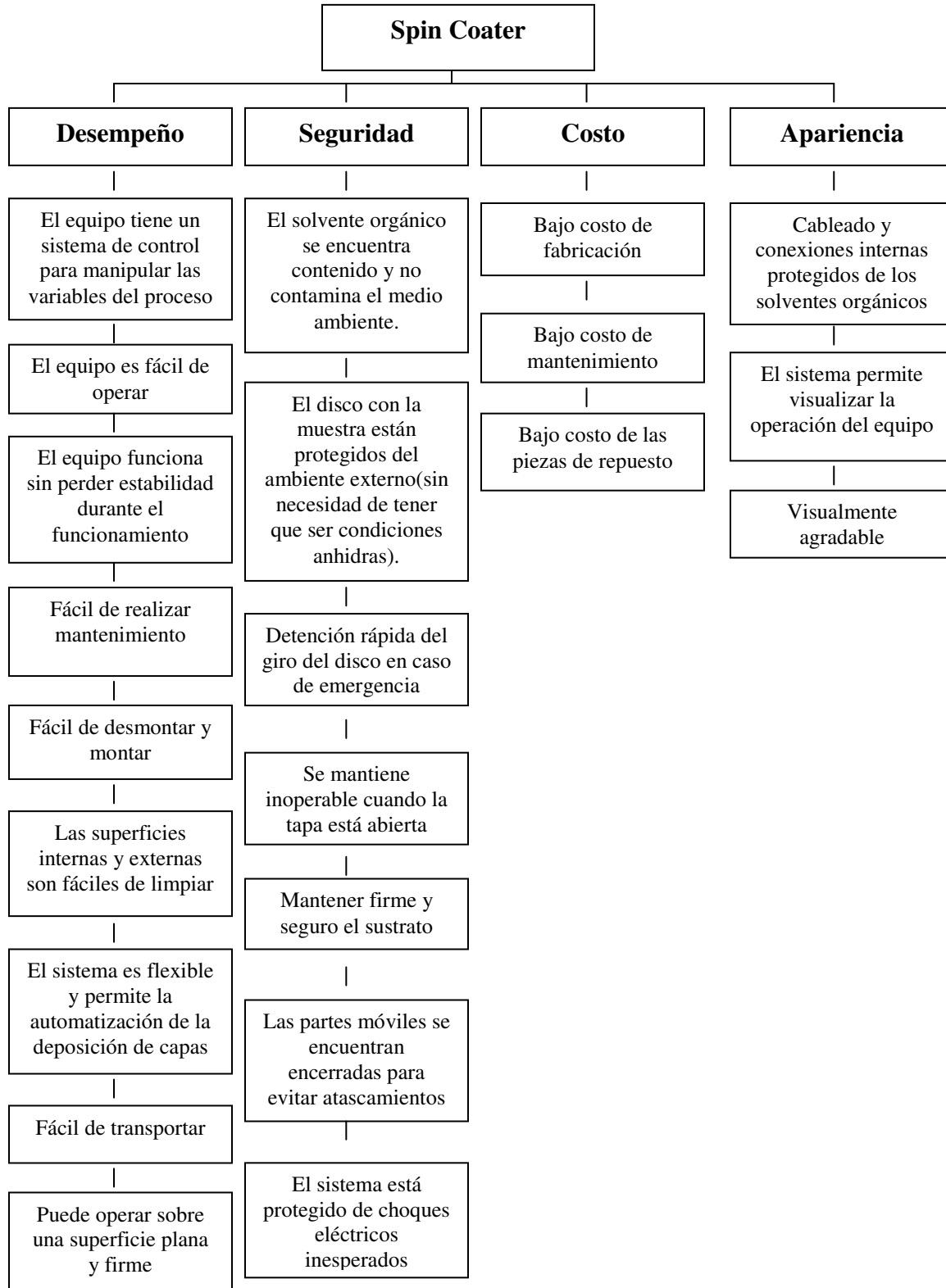
Posición	Costos
1	Bajo costo de fabricación.
2	Bajo costo de mantenimiento.
3	Bajo costo de las piezas de repuesto.

**Tabla 5: Jerarquización de objetivos de acuerdo al atributo apariencia.**

Posición	Apariencia
1	Cableado y conexiones internas protegidos de los solventes orgánicos.
2	El sistema permite visualizar la operación del equipo.
3	Visualmente agradable.
R1	Dimensiones máximas del equipo 20x20x20 cm.
R2	Que el equipo sea liviano.

### 2.3.3 Árbol de objetivos

De manera alternativa, los objetivos se pueden representar en un árbol, donde cada rama representa el atributo en el que se agruparon cada uno de ellos. La manera en que se representa permite tener una fácil y rápida inspección de los objetivos del futuro diseño.



### 2.3.4 **Peso jerárquico objetivos**

A modo de jerarquizar los objetivos de acuerdo a su importancia, se aplicó la escala de Tomas L. Saaty [9], en el que la forma de priorizarlos se realizó a través de comparaciones entre ellos dentro de un mismo atributo, asignándole a cada uno pesos.

Posteriormente, se realizó una comparación entre niveles o atributos. La forma en que se le asignó un peso a cada objetivo se basó en la escala numérica de la Tabla 6. La Tabla 7 muestra el resultado de los pesos por cada atributo y por cada objetivo. El desarrollo de esta metodología se puede ver en el Anexo A.

**Tabla 6: Adaptación de escala numérica para asignación de pesos a objetivos.**

<b>Escala numérica</b>	<b>Explicación</b>
1	Igual importancia. Las dos alternativas son similares
3	Importancia moderada de uno sobre el otro: La experiencia y el juicio favorece a una alternativa sobre la otra.
5	Importancia esencial o fuerte: La experiencia y juicio está muy fuertemente a favor de una alternativa sobre la otra.
7	Importancia muy fuerte: Una alternativa es fuertemente favorecida y esta dominancia es demostrada en la práctica.
9	Importancia extrema: La evidencia favorece en la más alta medida a una alternativa sobre otra.
2,4,6,8	Valores intermedios entre dos de los juicios adyacentes: Usado como valores de consenso entre los dos juicios.
1/n	Recíprocos: por comparación inversa.

**Tabla 7: Asignación de pesos por categoría y por objetivos.**

<p style="text-align: center;"><b>1.- Desempeño (0.45)</b></p> <p><b>1.1</b>El equipo tiene un sistema de control para manipular las variables del proceso. <b>(0.1273)</b></p> <p><b>1.2</b>El equipo es fácil de operar. <b>(0.0839)</b></p> <p><b>1.3</b>El equipo funciona sin perder estabilidad durante el funcionamiento. <b>(0.0785)</b></p> <p><b>1.4</b>Fácil de realizar mantenimiento.<b>(0.0622)</b></p> <p><b>1.5</b>Fácil de desmontar y montar. <b>(0.0414)</b></p> <p><b>1.6</b>Las superficies internas y externas son fáciles de limpiar. <b>(0.0355)</b></p> <p><b>1.7</b>El sistema es flexible y permite la automatización de la deposición de capas. <b>(0.0104)</b></p> <p><b>1.8</b>Fácil de transportar. <b>(0.0071)</b></p> <p><b>1.9</b>Puede operar sobre superficie plana y firme. <b>(0.0037)</b></p>	<p style="text-align: center;"><b>2.- Seguridad (0.35)</b></p> <p><b>2.1</b>Detención rápida del giro del disco en caso de emergencia. <b>(0.1079)</b></p> <p><b>2.2</b>Se mantiene inoperable cuando la tapa está abierta. <b>(0.1090)</b></p> <p><b>2.3</b>El disco con la muestra están protegidos del ambiente externo(sin necesidad de tener que ser condiciones anhidras). <b>(0.0339)</b></p> <p><b>2.4</b>El solvente orgánico se encuentra contenido y no contamina el medio ambiente. <b>(0.0453)</b></p> <p><b>2.5</b>Mantener firme y segura la muestra. <b>(0.0332)</b></p> <p><b>2.6</b>Las partes móviles se encuentran encerradas para evitar atascamientos. <b>(0.0166)</b></p> <p><b>2.7</b>El sistema está protegido de choques eléctricos inesperados. <b>(0.0041)</b></p>
<p style="text-align: center;"><b>3.- Costos (0.19)</b></p> <p><b>3.1</b>Bajo costo de fabricación. <b>(0.1268)</b></p> <p><b>3.2</b>Bajo costo de mantenimiento. <b>(0.0602)</b></p> <p><b>3.3</b>Bajo costo de las piezas de repuesto. <b>(0.0030)</b></p>	<p style="text-align: center;"><b>4.- Apariencia (0.01)</b></p> <p><b>4.1</b>Cableado y conexiones internas protegidos de los solventes orgánicos. <b>(0.0067)</b></p> <p><b>4.2</b>El sistema permite visualizar la operación del equipo. <b>(0.0032)</b></p> <p><b>4.3</b>Visualmente agradable. <b>(0.0001)</b></p>

## **2.4 Análisis Funcional**

En este capítulo se determinan las sub-funciones que permitirán cumplir con las funciones principales del futuro diseño. Para tener una mayor claridad de estas sub-funciones se utilizó el método de caja negra y transparente.

### **2.4.1 Caja negra**

La forma en que se desarrolla este método consiste en determinar cuáles son las entradas (input) y salidas (output) en el sistema o equipo a desarrollar, sin tomar en cuenta el proceso intermedio que se realizó.

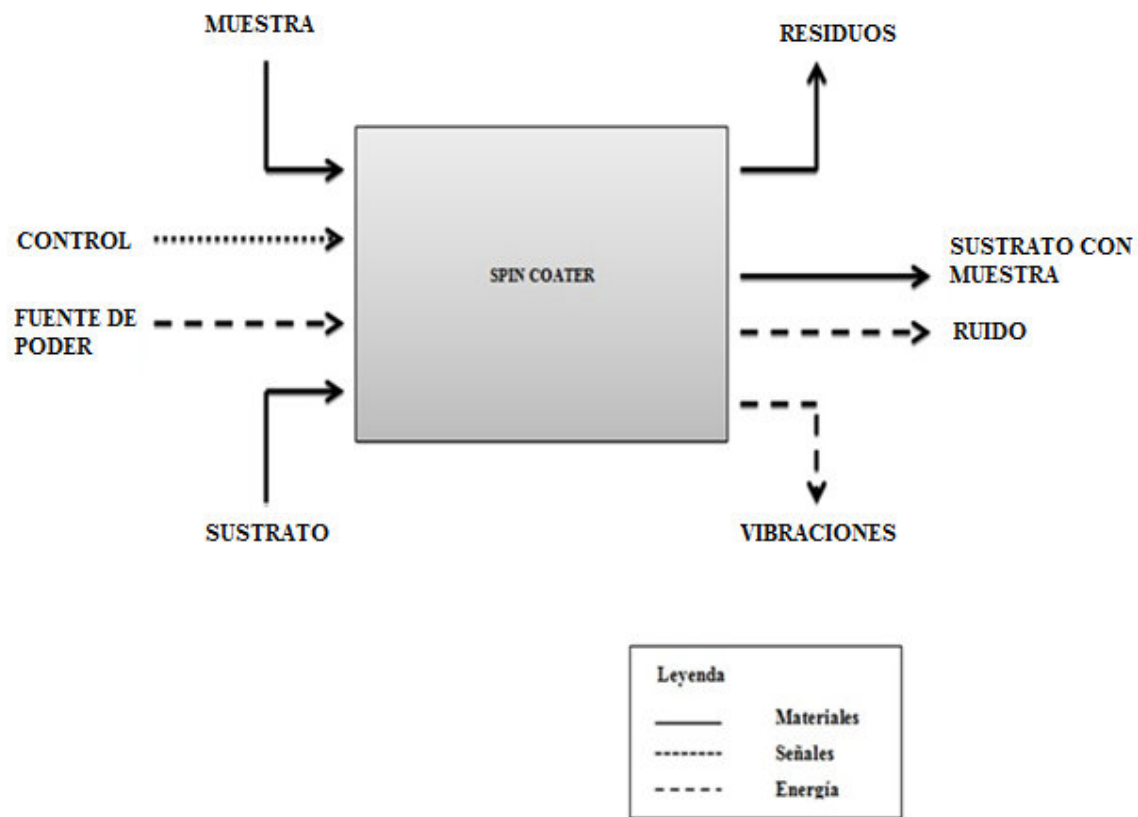
Las entradas serán todas aquellas que permiten que el sistema o equipo funcione. Cada una de ellas se categorizará de la siguiente forma:

- Compuestos solubilizados en solvente orgánico (muestra).
- Control (señal)
- Fuente de poder (energía)
- Sustrato o superficie (material)

Para que el sistema funcione se requiere de lo siguiente: compuesto solubilizado en solvente orgánico (muestra), sustrato o elemento donde se depositará la muestra, fuente de poder o energía que permita producir algún tipo de movimiento y sistema de control para envío de señales de acuerdo a lo que se solicite.

Las salidas, o aquellos elementos que se requiere que entregue el sistema se categorizarán de la siguiente forma:

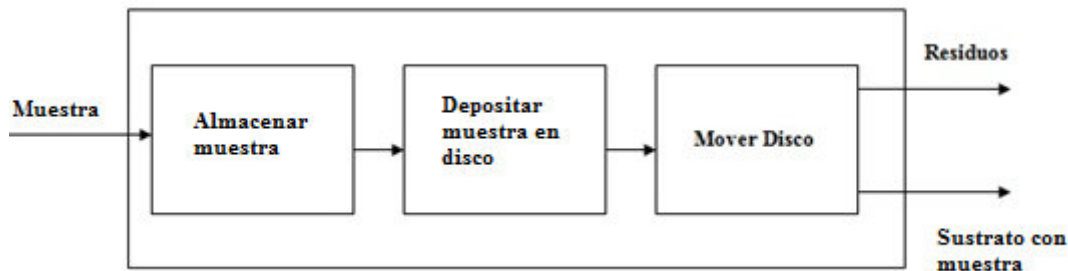
- Residuos (material)
- Conjunto sustrato-muestra (material)
- Ruido (energía)
- Vibraciones (energía)



**Figura 4: Caja negra del sistema.**

## 2.4.2 Caja Transparente

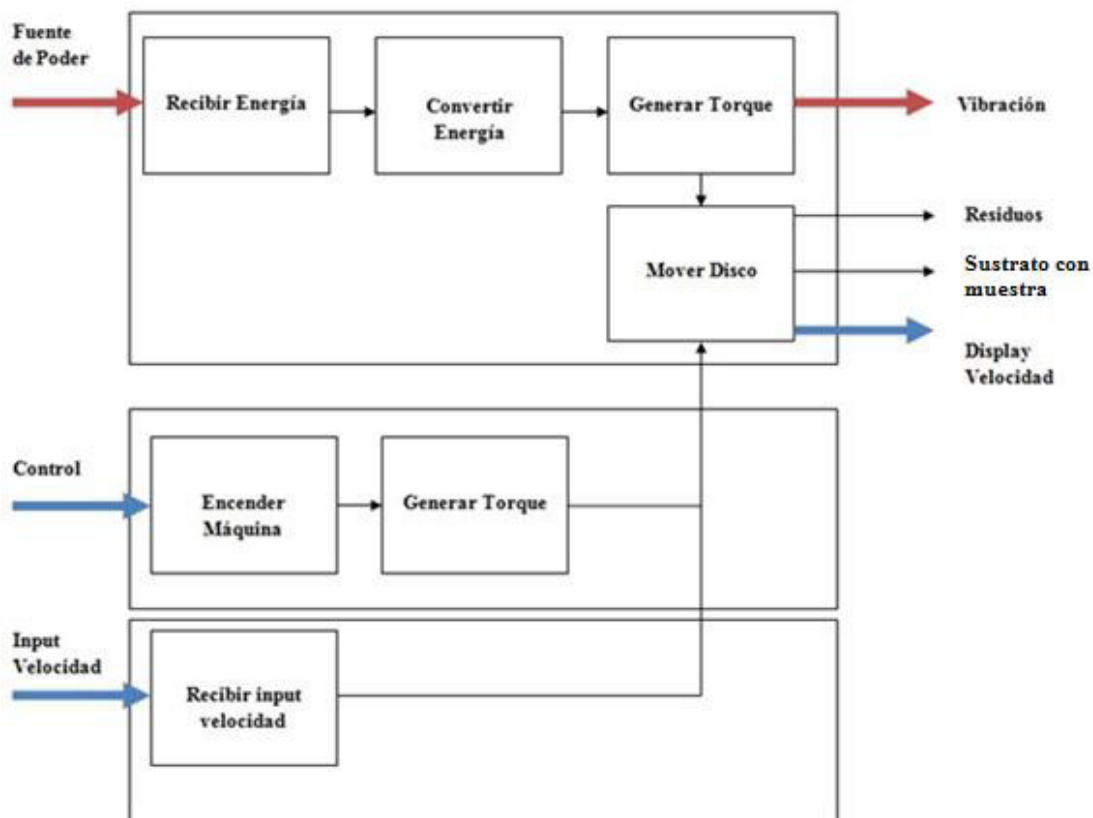
El método de la caja transparente permite visualizar de una forma más detallada que procesos o sub-funciones se realizaron internamente en el sistema para transformar las entradas en salidas. Una forma sencilla de realizar la caja transparente consiste en tomar cada entrada por separado y anotar las sub-funciones que permitieron obtener las salidas en el sistema.



**Figura 5: Caja transparente, entradas y salidas materiales.**

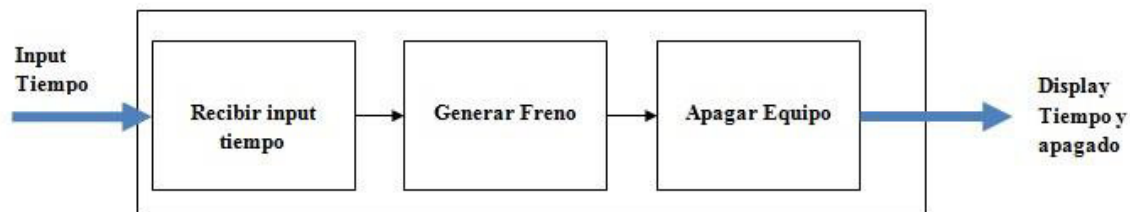
La figura 5 muestra como input la muestra y como output los residuos y el sustrato con muestra. Las subfunciones que permiten tener los output mencionados se muestran como cajas separadas. Si bien no están mencionadas todas las subfunciones, el desarrollo de la caja transparente permite tener una mejor visión de lo que se va a diseñar.

En la figura 6 se muestra como entrada la fuente de poder (o energía) indicada con una flecha roja y como señales, control e input de velocidad (las que son indicadas con una flecha azul). A través de las diversas subfunciones que se muestran como cajas separadas se obtienen como output: Vibración (energía), residuos, sustrato con muestra y display de velocidad.



**Figura 6: Caja transparente, entradas y salidas energía, señales, materiales.**

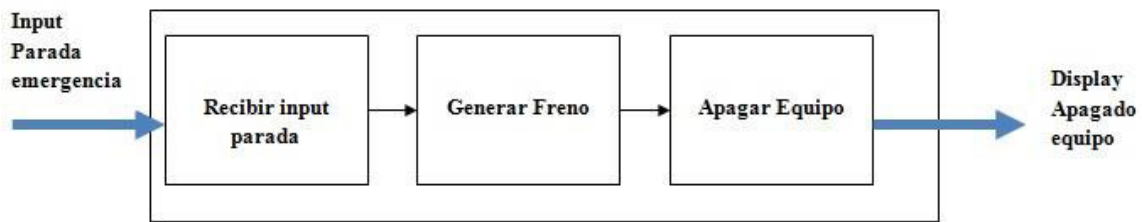
En la figura 7 se muestra como input el tiempo total para que funcione el equipo y las subfunciones que permiten detenerlo y apagarlo. La salida corresponde en este caso al aviso de tiempo transcurrido y de apagado del equipo.



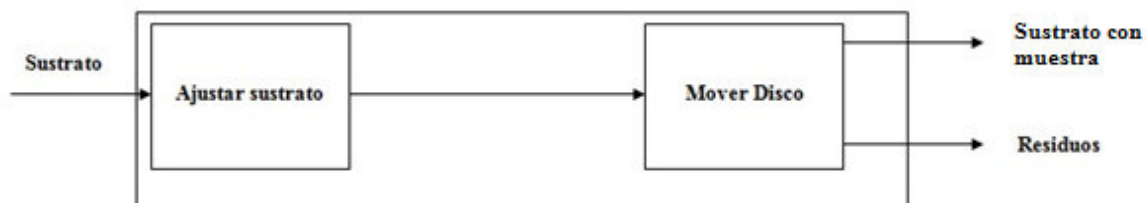
**Figura 7: Caja transparente, entradas y salidas energía.**

La figura 8 muestra tanto en la entrada como en la salida señales que permiten realizar una parada de emergencia en caso de cualquier inconveniente. La señal de salida mostrará sólo el aviso de apagado del equipo.

La figura 9 muestra como entrada y salidas materiales y las subfunciones que permiten obtener estas últimas.



**Figura 8: Caja transparente, entradas y salidas energía.**



**Figura 9: Caja transparente, entradas y salidas materiales.**

Cada una de estas funciones se relaciona y conectan entre sí para obtener las salidas en el sistema. La representación final de la caja transparente se muestra en la siguiente figura:

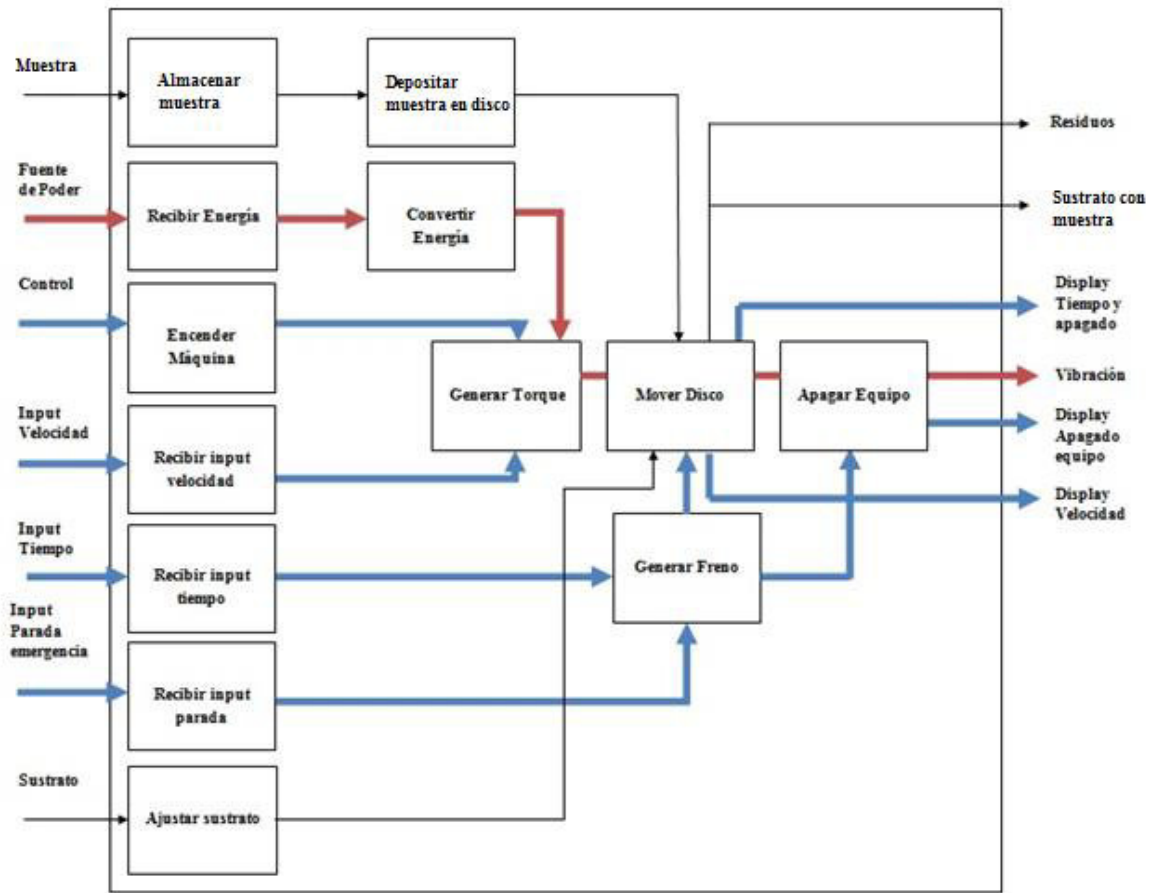


Figura 10: Caja transparente final.

## 2.5 Listado de especificaciones

En este capítulo se elabora una lista de especificaciones preliminares del equipo a diseñar que responde a los requerimientos del cliente. Las especificaciones se agruparon en categorías, indicando además cuales de ellas son deseos del cliente y obligaciones en el diseño.

**Tabla 8: Lista especificaciones diseño**

<b>D</b>	<b>Lista de especificaciones</b>
<b>O</b>	
	<b>1.- Geometría</b>
<b>D</b>	Dimensiones equipo [mm]
<b>D</b>	Alto máximo tapa protectora: 60 mm
<b>D</b>	Diámetro exterior máximo tapa protectora: 150 mm
<b>D</b>	Altura máxima brazo dispensador: 150 mm
	<b>2.- Fuerza</b>
<b>D</b>	Torque requerido para giro de disco en kNm
	<b>3.- Materiales</b>
<b>O</b>	Partes del equipo resistentes a la corrosión y/o golpeteo
<b>O</b>	Resistencia a esfuerzos elevados
	<b>4.- Seguridad</b>
<b>O</b>	Detención rápida del giro del disco en menos de 5 segundos
<b>O</b>	Sistema inoperable cuando la tapa protectora está abierta
<b>D</b>	El solvente orgánico se encuentra contenido y no contamina el medio ambiente
	<b>5.- Energía</b>
<b>O</b>	Pérdidas de energía por ruido y/o vibraciones < 30%
<b>O</b>	Potencia de motor de corriente continua en KW
<b>D</b>	Variador de Frecuencia para Motor de corriente alterna
<b>D</b>	Bomba de vacío
	<b>6.- Señales</b>
<b>O</b>	Tablero Indicador de velocidad y tiempo de funcionamiento
<b>D</b>	Indicador de velocidad
<b>D</b>	Indicador de tiempo en funcionamiento
	<b>7.- Transporte</b>
<b>D</b>	Peso máximo en Kg
	<b>8.- Operación</b>
<b>D</b>	Vida útil > años
<b>D</b>	Rango de Temperatura de Operación [Tmax-Tmin] en °C
<b>O</b>	Velocidad de rotación disco entre 800 y 1500 rpm
<b>O</b>	Tiempo de funcionamiento con un rango entre 5 y 60 s
	<b>9.- Mantenimiento</b>
<b>D</b>	Número de mantenimientos al año
	<b>10.- Costos</b>
<b>D</b>	Costo equipo (CLP)
<b>D</b>	Costo de mantenimiento y piezas de repuesto (CLP)
<b>D</b>	Costo de operación (CLP)

## 2.6 Búsqueda Externa

Para ayudar a encontrar mejores cualidades del equipo a diseñar se realizó una búsqueda externa de productos que tuvieran características funcionales similares y que por tanto ayudarán a dar una mejor visión de cómo mejorar el producto. La búsqueda se focalizó en los aspectos más importantes del diseño del spin coater: regulación de velocidad y tiempo, deposición de los solventes, reciclaje de los residuos, etc. Se seleccionaron cuatro equipos (todos ellos de procedencia extranjera) y se realizó una evaluación en base a si cumplía o no con los objetivos de diseño del producto que se quiere desarrollar. Para la evaluación se empleó una escala siendo: 1-muy inefectivo, 2-inefectivo, 3-neutral, 4-efectivo, 5-muy efectivo.

**Laurell Technologies**, empresa que se dedica a la fabricación de equipos de recubrimiento por rotación (spin coater) y procesadores, fue la primera que se analizó. El modelo WS-650-23 permite sustratos de dimensiones 5’’x5’’ y una velocidad máxima de rotación de 12.000 rpm. El material con el que se fabricó el equipo evita los daños por ácidos o residuos.





La empresa **Mbraun** con su modelo MB-SC-200 representa un equipo más completo y garantiza precisión y uniformidad en la deposición de solvente en el sustrato. El equipo es diseñado especialmente para investigaciones y desarrollo de nuevos procesos y productos. La característica principal es que consta de diversos módulos los que en su conjunto representan el sistema total y permiten realizar requerimientos individuales para cada aplicación. Al igual que el equipo anterior posee un sistema de control de velocidad y tiempo.

**SCS G3 Spin coater** series representa el tercer producto que se evaluó. Dentro de sus características principales está su precisión en la deposición del solvente, la programación del proceso y la opción de tener un brazo ajustable para la deposición.

El último equipo evaluado **MTIXTL Eccentric Deskpot Spin Coater**, es el más básico de los cuatro en relación a sus características. Tiene un sistema de control de variables de velocidad y tiempo y posee una bomba de vacío para la sujeción del sustrato. Sus dimensiones permiten que el equipo pueda funcionar en una mesa y que sea fácilmente transportable.

El equipo que tuvo la mejor evaluación fue el **MTIXTL**, dado que cumple en mayor medida con todos los objetivos del diseño del producto a desarrollar. Si bien los otros presentan características similares, el costo de ellos y sus dimensiones no son las adecuadas en este caso. La tabla 7 resume los valores asignados por cada equipo.

## 2.6.1 Benchmarking

		Laurell	Mbraun	SCSCoatings	MTIXTL
	Spin Coater	Spin Coater WS-650-23	MB-SC-200	SCS G3 Spin coater series	Economic Desktop Spin Coater
					
<b>Desempeño</b>					
El equipo tiene un sistema de control para manipular las variables del proceso.	5	5	5	5	5
El equipo es fácil de operar.	5	2	3	3	4
El equipo funciona sin perder estabilidad durante el funcionamiento.	4	4	4	4	4
Fácil de realizar mantenimiento.	4	2	2	2	4
Fácil de desmontar y montar.	4	1	3	4	4
Las superficies internas y externas son fáciles de limpiar.	4	3	2	3	4
El sistema es flexible y permite la automatización de la deposición de capas.	4	4	4	4	2
Fácil de transportar.	5	3	2	3	5
Puede operar sobre una mesa.	5	5	4	5	5
<b>Seguridad</b>					
El solvente orgánico se encuentra contenido y no contamina el medio ambiente.	5	4	5	4	2
El disco con la muestra están protegidos del ambiente externo.	5	4	5	4	4

		Laurell	Mbraun	SCSCoatings	MTIXTL
	Spin Coater	Spin Coater WS-650-23	MB-SC-200	SCS G3 Spin coater series	Economic Desktop Spin Coater
Detención rápida del giro del disco en caso de emergencia.	4	5	5	5	5
Se mantiene inoperable cuando la tapa está abierta	4	5	5	5	5
Mantener firme y segura la muestra.	5	5	5	5	3
Las partes móviles se encuentran encerradas para evitar atascamientos.	5	4	5	5	5
El sistema está protegido de choques eléctricos inesperados.	5	5	5	5	5
<b>Costos</b>					
Bajo costo de fabricación.	5	2	2	2	5
Bajo costo de mantenimiento.	5	2	2	2	5
Bajo costo de las piezas de repuesto.	5	2	2	2	5
<b>Apariencia</b>					
Cableado y conexiones internas protegidos de los solventes inorgánicos.	5	4	4	5	4
El sistema permite visualizar la operación del equipo.	5	5	5	5	5
Visualmente agradable.	5	4	4	5	3
<b>Promedio</b>	<b>4,68</b>	<b>3,64</b>	<b>3,77</b>	<b>3,95</b>	<b>4,23</b>

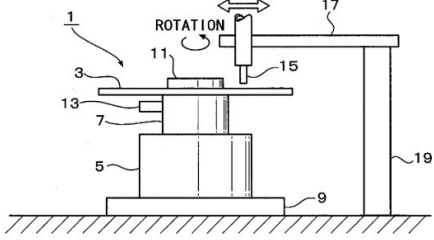
**Tabla 9: Asignación de puntajes de cada equipo.**

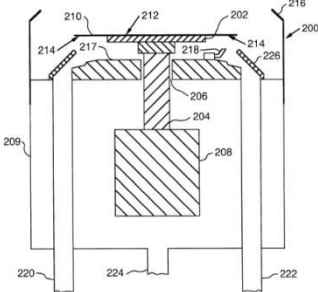
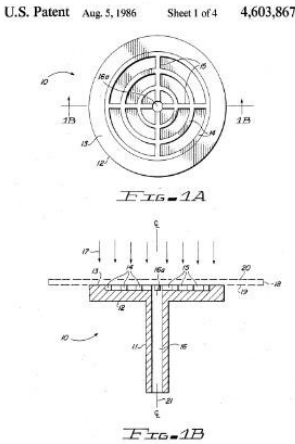
## **2.6.2 Quality Function Development (QFD)**

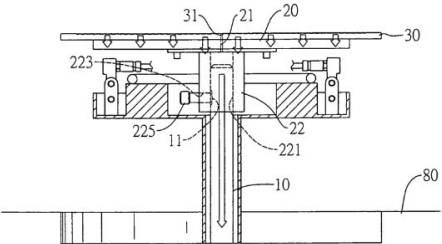
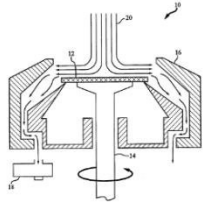
Tomando los objetivos de diseño y requerimientos del cliente se realizó la matriz QFD. En el costado derecho de la matriz se listaron todos los Objetivos de Diseño asignándole a cada uno de ellos el peso dado por la tabla 9 y en la parte superior se listaron los requerimientos del Cliente. En base a estas dos listas se analizó el grado de relación que hay entre ellas: fuerte, moderada o débil. En el techo o la parte más alta de la matriz se analizó el grado de correlación entre los requerimientos del cliente: positiva, negativa o nula. La matriz QFD se puede ver con mayor claridad en el anexo A.

### 2.6.3 Búsqueda de Patentes

A fin de obtener una mejor comprensión del equipo a diseñar, se realizó una búsqueda de patentes orientada a las principales sub-funciones. Una forma eficaz de encontrar información relevante fue realizar la búsqueda basada en palabras clave que se relacionaran con la sub-función. En la siguiente tabla se resumen las patentes encontradas:

Función	Descripción	Resumen
Sistema completo	<p><b>“Spin coater and method for spin coating”</b></p> <p><b>N°Patente:</b> US20110195183 A1</p> <p><b>Fecha de Publicación:</b> 11 de Agosto de 2011</p> <p><b>Autor:</b> Naoaki YAMASHITA</p>	<p>There is provided a method for spin coating, by which a resist is coated on a surface of a circular disc with a hole formed in its center. A method for spin coating coats a film-forming material discharged from a nozzle to an upper surface of a circular disc substrate with a through hole formed in a center while rotating the substrate.</p> 

<p>Sistema de Sujeción</p>	<p><b>“Spin coating spindle and chuck assembly”</b></p> <p><b>N°Patente:</b> US6417117 B1</p> <p><b>Fecha de Publicación:</b> 9 de Julio de 2002</p> <p><b>Autor:</b> Shawn D. Davis</p>	<p>An apparatus and methods for use in spin coating a coating material onto a wafer. The apparatus includes a rotatable chuck capable of supporting the wafer and a bowl having a bottom and a side defining an interior region, the bottom containing an opening through which said rotatable chuck is movable and separable from the bowl.</p>  <p>FIG. 1 Prior Art</p>
<p>Sistema de Sujeción</p>	<p><b>“Spin coating spindle and chuck assembly”</b></p> <p><b>N°Patente:</b> US4603867 A</p> <p><b>Fecha de Publicación:</b> 5 de Agosto de 1986</p> <p><b>Autor:</b> Richard R. Babb, Howard A. Kirschler</p>	<p>A vacuum spinner chuck having improved holding power for thin wafers is obtained by providing a retention means for moveably holding an O-ring on the peripheral edge of the chuck</p>  <p>U.S. Patent Aug. 5, 1986 Sheet 1 of 4 4,603,867</p> <p>FIG. 1A</p> <p>FIG. 1B</p>

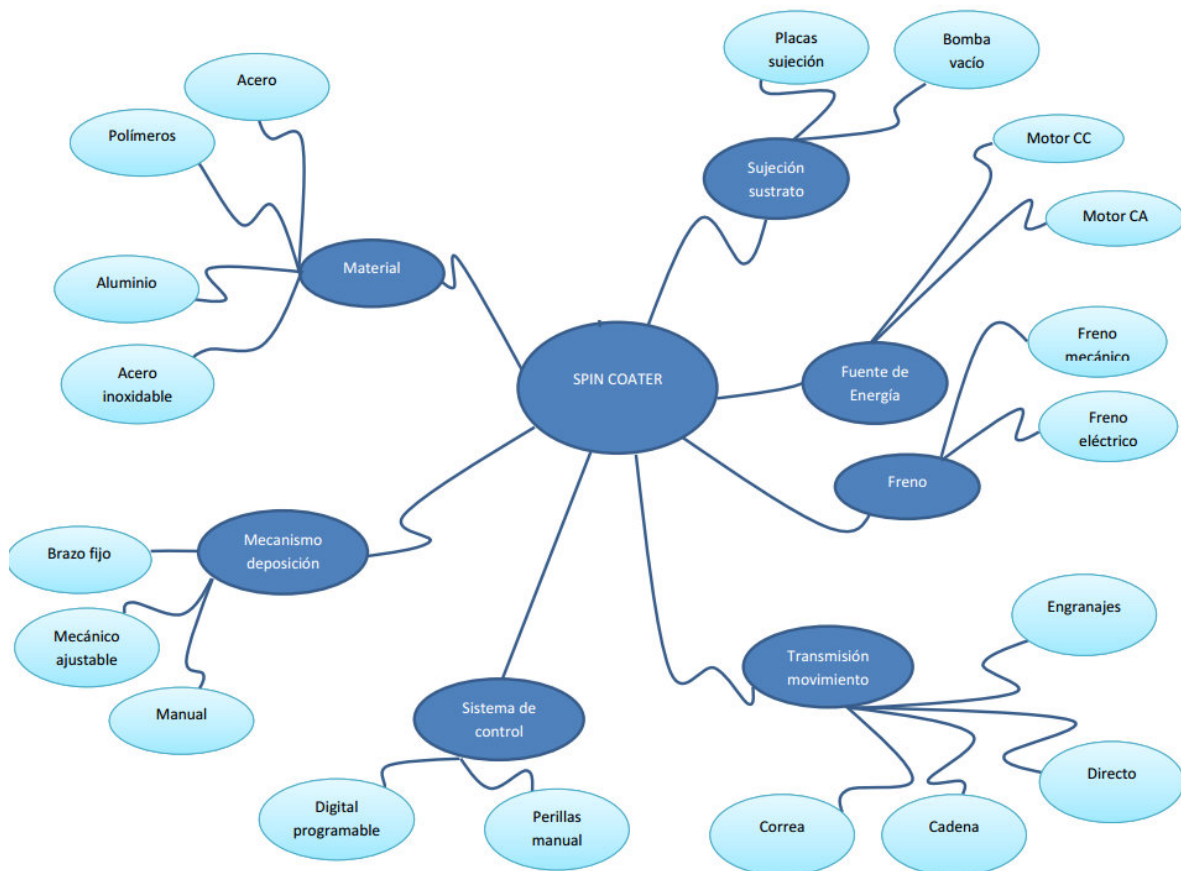
<p>Sistema de Sujeción</p>	<p><b>“Chuck for a photoresist spin coater”</b></p> <p>N°Patente: US20080029977 A1</p> <p>Fecha de Publicación: 7 de Febrero de 2008</p> <p>Autor: Jui-Chung Cheng, Chian-Sheng Chang</p>	<p>A vacuum spinner chuck having improved holding power for thin wafers is obtained by providing a retention means for moveably holding an O-ring on the peripheral edge of the chuck.</p> 
<p>Sistema de Sujeción</p>	<p><b>“Method for low pressure spin coating and low pressure spin coating apparatus”</b></p> <p>N°Patente: US5358740 A</p> <p>Fecha de Publicación: 25 de Octubre de 1994</p> <p>Autor: David E. Bornside, Robert A. Brown</p>	<p>An apparatus and method is provided for spin coating films on a surface. The apparatus includes a chamber capable of being closed to the atmosphere, a spinnable member within the chamber capable of supporting the surface and a pump capable of reducing the pressure within the chamber</p>  <p>Figure 1 (Prior Art)</p>

<p>Sistema de Sujeción</p>	<p><b>“Spin coating apparatus having a horizontally linearly movable wafer holder”</b></p> <p>N°Patente: US5205867 A</p> <p>Fecha de Publicación: 27 de Abril de 1993</p> <p>Autor: David H. Ziger</p>	<p>A semiconductor wafer 11 is mounted on an elongated member 18, one end of which is rotatable about a transverse axis (14), thereby to distribute a liquid on the upper surface of the wafer more evenly. In order to stabilize the rotation of the elongated member, a second elongated member is preferably attached end-to-end to the elongated member (18) and rotates with it</p>
----------------------------	--	--

## 2.7 Búsqueda Interna

### 2.7.1 Brainstorming

Con el fin de generar variadas soluciones al problema definido, y que permitan llegar al diseño final, se generó una lluvia de ideas por cada sub-función del futuro producto. Estas se resumen en la siguiente figura.

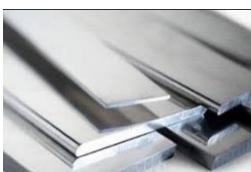

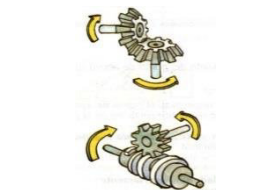







**Figura 11: Brainstorming Spin Coater.**

## 2.7.2 Carta morfológica

En esta carta morfológica se incluyeron todas las opciones para los distintos subconjuntos que poseerá el Spin Coater, a fin de tener una mayor claridad de que es lo que se quiere conseguir como diseño final. Luego se realizó una interacción entre todas estas opciones para decidir la mejor.

**Tabla 10: Carta Morfológica Spin Coater**

Función	Concepto			
Materiales	<p>Acero</p> 	<p>Polímeros</p> 	<p>Acero inoxidable</p> 	<p>Aluminio</p> 
Mecanismo o forma de deposición	<p>Brazo fijo</p> 	<p>Brazo mecánico ajustable</p> 	<p>Mecanismo Manual deposición</p> 	
Transmisión movimiento	<p>Correa</p> 	<p>Cadena</p> 	<p>Engranajes</p> 	<p>Directo</p> 
Sujeción sustrato	<p>Placas sujeción ajustables</p> 	<p>Bomba de vacío</p> 	<p>Ventosa</p> 	<p>Adhesivo</p> 
Fuente de energía	<p>Motor de corriente continua</p> 	<p>Motor de corriente alterna</p> 	<p>Motor paso a paso</p> 	<p>Servomotor</p> 

Función	Concepto			
<b>Sistema de control</b>	Digital Programable 	Mediante Perillas Manual 	Sistema Mecánico -	

## 2.8 Generación del concepto

### 2.8.1 Concepto 1

El concepto número 1, mostrado en la figura 12 se basó principalmente en la forma de sujeción del sustrato, tomando como opciones aquellas presentadas en la tabla 11.. En la parte central o disco giratorio se dispondrá de cuatro “patas” que permitirán sujetar distintos tamaños del sustrato según lo requiera el operador. Las “patas” se ajustarán y moverán mediante una guía que estará mecanizada en el disco. El movimiento del disco se llevará a cabo por un motor de corriente continua transmitiendo el movimiento mediante un conjunto de poleas y correas. El sistema de control será accionado por perillas que permitirán regular las variables más importantes del proceso. El método de deposición de las nanocapas será ajustando el dispensador en un brazo rígido vertical montado en la parte superior del equipo a un lado del disco. Para mantener el sistema aislado del ambiente externo se dispondrá de una tapa de protección transparente que permita visualizar la operación del equipo. Los materiales a utilizar serán de acero con algún tipo de revestimiento que permita trabajar en ambientes expuestos a ácidos o sustancias dañinas.



**Figura12: Bocetoconceptonúmero 1.**

## 2.8.2 Concepto 2

El concepto número 2 mantendrá firme el sustrato mediante una bomba de vacío o través de un sistema mecánico ajustable que irá en el disco. La bomba de vacío se conectará con una manguera que irá conectada a su vez a una plataforma chucko ventosa, permitiendo mantener firme el sustrato. Las características de la bomba y de la plataforma Chuck serán tales que permitirán mantener en la misma posición sustratos de diferentes tamaños. El movimiento del disco se llevará a cabo a través de un motor de corriente continua, donde su eje irá conectado directamente al disco o plataforma chuck. Estos últimos permitirán variar la rapidez de giro del disco acorde a los requerimientos del operador. El sistema de control será a través de un microcontrolador que permitirá regular la velocidad de giro del motor. Mediante una pantalla digital se podrá visualizar los valores correspondientes a tiempo y velocidad de giro. La forma de deposición de las muestras para generar las monocapas será de tipo manual, permitiendo además mantener la jeringa en ángulo según se requiera. Para prevenir cualquier intervención de partículas extrañas el equipo constará con una tapa protectora. El disco estará girando en una especie de cavidad para que el excedente de líquido depositado este contenido en ella. Los materiales de construcción serán polímeros con alto grado de resistencia y lo suficientemente livianos para permitir el fácil transporte del equipo. Todo el cableado, conexiones eléctricas y sistema de control estarán protegidos de sustancias dañinas o peligrosas. La siguiente figura representa el concepto número 2.



**Figura 13: Boceto concepto número 2**

### 2.8.3 Concepto 3

El concepto tres es el más simple de todos, ya que se priorizó en los costos más que en las características de operación del equipo. El sistema de sujeción sólo acepta un tipo de sustrato y será mediante patas soldadas al disco. El movimiento del disco será a través de sistema de control por perillas. Se dispondrá de una pantalla para visualizar valores de velocidad y tiempo de giro del disco. La fuente de energía será a través de un motor de corriente continua que cumpla con las condiciones de operación del sistema. La forma de depositar las monocapas será de forma manual, dando como ventaja el libre movimiento de la jeringa y la forma de deposición. Para prevenir la exposición con el ambiente externo se dispondrá de una tapa. La forma del equipo será lo más simple posible para prevenir elevados costos en la mecanización. El material será acero económico y que permita tener un equipo liviano para el transporte. La simplicidad del equipo permitirá que opere en cualquier lugar que cuente con las condiciones básicas. La siguiente figura muestra el concepto número 3.



**Figura14: Bocetoconceptonúmero 3.**

## 2.9 Selección del concepto

De acuerdo a los tres conceptos descritos anteriormente se realizó una ponderación de los criterios para determinar cual de ellos seguirá el proceso de diseño. Los resultados se muestran en la tabla 12.

**Tabla 11 : Selección del Concepto.**

Criterios	Peso	Conceptos					
		Concepto 1		Concepto 2		Concepto 3	
		Nota	Peso	Nota	Peso	Nota	Peso
El equipo tiene un sistema de control para manipular las variables del proceso.	12,73	5	63,65	5	63,65	5	63,65
El equipo es fácil de operar.	8,39	4	33,56	4	33,56	3	25,17
El equipo funciona sin perder estabilidad durante el funcionamiento.	7,85	4	31,4	4	31,4	3	23,55
Fácil de realizar mantenimiento.	6,22	4	24,88	4	24,88	3	18,66
Fácil de desmontar y montar.	4,14	4	16,56	4	16,56	3	12,42
Las superficies internas y externas son fáciles de limpiar.	3,55	3	10,65	4	14,2	4	14,2
El sistema es flexible y permite la automatización de la deposición de capas.	1,04	3	3,12	5	5,2	3	3,12
Fácil de transportar.	0,71	4	2,84	5	3,55	3	2,13
Puede operar sobre una mesa.	0,37	5	1,85	5	1,85	3	1,11
El solvente orgánico se encuentra contenido y no contamina el medio ambiente.	4,53	3	13,59	5	22,65	4	18,12
El disco con la muestra están protegidos del ambiente externo.	3,39	4	13,56	5	16,95	4	13,56
Detención rápida del giro del disco en caso de emergencia.	10,79	4	43,16	4	43,16	4	43,16
Se mantiene inoperable cuando la tapa está abierta	10,9	3	32,7	3	32,7	3	32,7
Mantener firme y segura la muestra.	3,32	5	16,6	5	16,6	4	13,28
Las partes móviles se encuentran encerradas para evitar atascamientos.	1,66	5	8,3	5	8,3	5	8,3
El sistema está protegido de choques eléctricos inesperados.	0,41	5	2,05	5	2,05	5	2,05
Bajo costo de fabricación.	12,68	4	50,72	5	63,4	3	38,04
Bajo costo de mantenimiento.	6,02	4	24,08	5	30,1	3	18,06
Bajo costo de las piezas de repuesto.	0,3	4	1,2	5	1,5	3	0,9
Cableado y conexiones internas protegidos de los solventes inorgánicos.	0,67	5	3,35	5	3,35	5	3,35
El sistema permite visualizar la operación del equipo.	0,32	5	1,6	5	1,6	5	1,6
Visualmente agradable.	0,01	4	0,04	4	0,04	5	0,05
<b>Peso Total</b>		399,46		437,25		357,18	
<b>Ranking</b>		2		1		3	

En base a la ponderación realizada, aquel concepto que obtuvo mayor peso fue el número dos, dado que cumple en su mayoría con las necesidades y requerimientos del Cliente.

El diseño elegido, se caracteriza principalmente por su forma fácil de operar, método de deposición (manual o por bomba de vacío) y un sistema de control más preciso.

## 3 Diseño de configuración

### 3.1 Arquitectura del producto

Con el fin de establecer con mayor detalle el producto a desarrollar, se estableció la arquitectura del producto en el que se describen los elementos funcionales y físicos. Tales elementos funcionales deberán mostrar las operaciones que permiten el rendimiento general del producto [3]. Por lo tanto cada elemento físico representado por componentes ayudarán a cumplir las funciones antes descritas, organizándose en conjuntos más grandes llamados trozos.

#### 3.1.1 Tipo de arquitectura

El tipo de arquitectura que se definió para representar el producto fue modular de ranura, ya que cada interfaz entre los trozos es de un tipo diferente entre las otras.

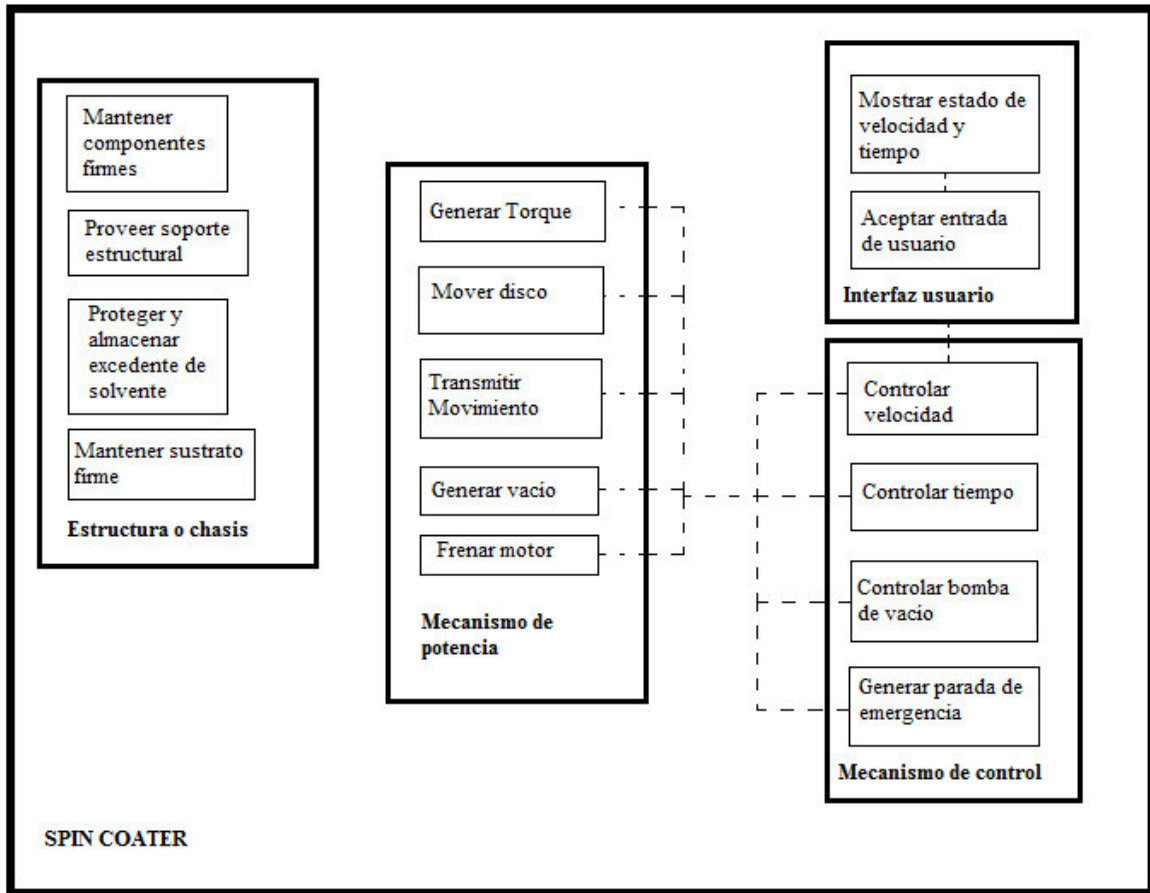


**Figura 15: Esquema representativo arquitectura de tipo modular-ranura.**

#### 3.1.2 Establecimiento de la arquitectura

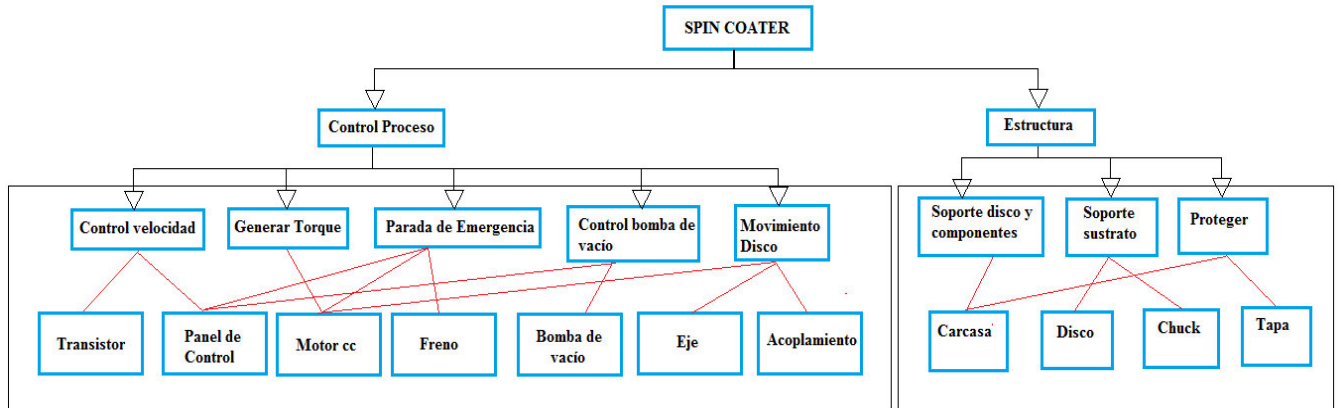
A modo obtener una arquitectura eficaz del producto se realizaron los siguientes pasos:

1. Esquema del producto mostrando los elementos funcionales.
2. Agrupación de esto elementos en módulos.
3. Disposición geométrica de los trozos del producto a desarrollar.



**Figura 16: Esquema del producto con los elementos funcionales y agrupación de estos en módulos.**

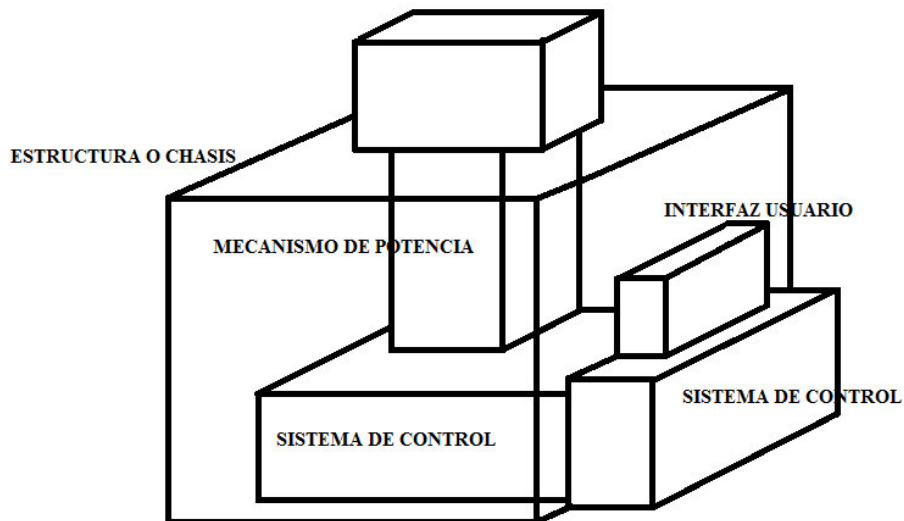
Como se observa en la figura 10, se definieron preliminarmente 4 módulos principales que formarán el producto en su totalidad: Estructura o chasis, Mecanismo de potencia, Mecanismo de control, Interfaz usuario. Si bien es posible ir más allá y definir aún más cada módulo en detalle, subdividiéndolo en más (ver figura 11), se prefirió por mantener la arquitectura del producto hasta este punto.



**Figura 17: Descripción detallada de los componentes físicos que describen los elementos funcionales.**

### Disposición geométrica de los módulos del producto

La forma en que se dispusieron los módulos fue en una geometría 3D donde cada uno de ellos fue representado en forma de cajas. Esto permite establecer a priori cómo se distribuirán los módulos dentro del producto y consecuentemente tomar decisiones respecto a eventuales problemas que existan desde el punto de vista de la estética e interfaz humana.



**Figura 18: Disposición geométrica 3D módulos.**

## 3.2 Diseño de configuración y detalle

En esta sección se describen aquellos componentes principales que se incluyen dentro de los módulos en el esquema de la arquitectura del producto (figura 18). La descripción de estos comprende las dimensiones principales y características básicas. Adicionalmente se describen y seleccionan aquellos componentes estándar incluidos dentro del producto y que permiten generar el rendimiento general del equipo.

### 3.2.1 Definición, descripción y selección de componentes estándares

#### 3.2.1.1 Motor de Corriente Continua

Para seleccionar el motor adecuado se deberá determinar la potencia y el torque necesario para mover el disco.

El esquema que representa la disposición del motor junto con el disco se muestra en la siguiente figura.



**Figura 19: Esquema representativo motor-eje-disco.**

Se sabe que la potencia mecánica necesaria para girar el disco viene dada por la siguiente ecuación.

$$P_{mec} = M * \omega [W] \quad \text{Ec.1}$$

Donde:

$M$ : Torque para girar el disco [ $Nm$ ]

$\omega$ : Velocidad angular del disco [ $rad/s$ ]

En primer lugar se calculará el torque necesario para sacar de la inercia al disco y acelerarlo hasta una velocidad angular de 3000 rpm:

$$M = I * \alpha [Nm] \quad \text{Ec.2}$$

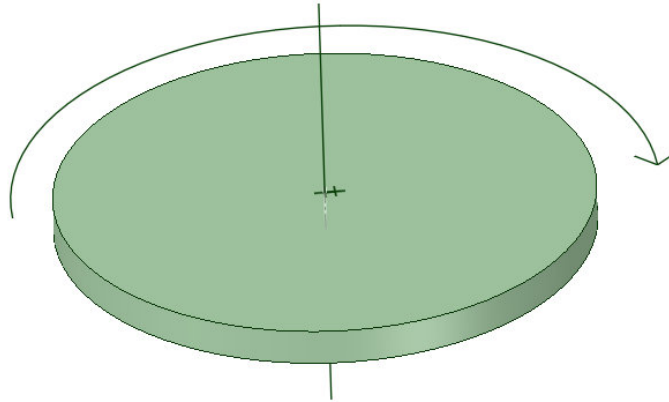
Donde:

$I$ : Momento de Inercia del cuerpo [ $Kgm^2$ ]

$\alpha$ : Aceleración angular del disco [ $rad/s^2$ ]

El cálculo del momento de inercia del disco, girando respecto al eje z, viene dado por la siguiente fórmula:

$$I = 0,5 * m * r^2 [Kgm^2] \quad \text{Ec.3}$$



**Figura 20: Representación disco girando en torno al eje z.**

La masa del disco se calculará tomando en cuenta que el material es de acero con una densidad de  $7850 \text{ [Kg/m}^3\text{]}$  y el volumen del disco será el de un cilindro macizo. Por lo tanto se tiene que la masa es:

$$m = \rho * \pi * h * r^2 \text{ [Kg]}$$

$\rho$ : Densidad acero  $[\text{Kg/m}^3]$

$h$ : Altura disco  $[\text{m}]$

$r$ : Radio del cilindro  $[\text{m}]$

Para el cálculo de la aceleración angular se tomó en cuenta que el disco deberá llegar a una velocidad angular de 3000 [rpm] en 60 segundos.

$$\alpha = \frac{\omega_f - \omega_i}{t_f - t_i} \text{ Ec. 4}$$

Donde:

$\omega_f$ : Velocidad angular final [rad/s]

$\omega_i$ : Velocidad angular inicial [rad/s]

$t_f$ : Tiempo final [s]

$t_i$ : Tiempo inicial [s]

Los valores calculados se pueden resumir en la siguiente tabla:

**Tabla 12: Valores calculados.**

Parámetros	Valores
Momento de Inercia [ $Kgm^2$ ]	0,000385336
Aceleración angular [ $rad/s^2$ ]	5,235987756
Torque [ $Nm$ ]	0,002017614

Por lo tanto la Potencia Mecánica es 0,62 [W]. La potencia eléctrica del motor deberá ser mayor debido a las pérdidas por cableado, resistencia u otros. Tomando una eficiencia del 70% el motor deberá tener una Potencia Eléctrica aproximada de 1 [W].

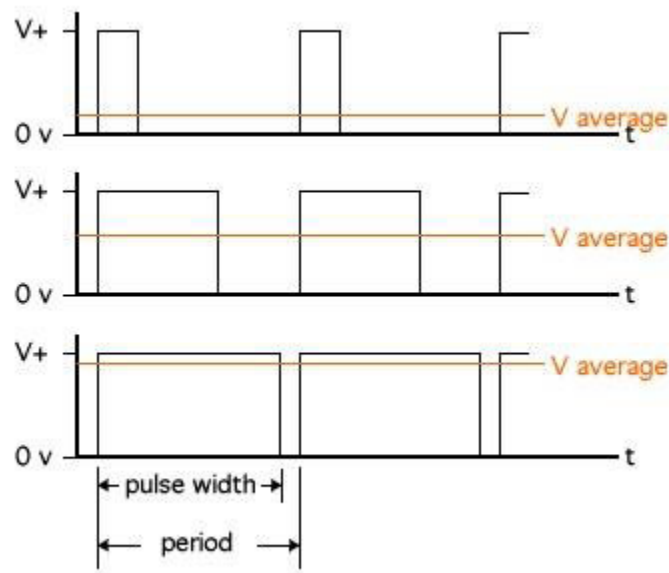
Para seleccionar el motor se tomó en cuenta el torque necesario para mover la carga y la velocidad nominal del motor. Las características principales se muestran a continuación:

### 3.2.1.2 Regulación de Velocidad de Giro de Motor DC.

Para regular la velocidad de giro del motor DC se utilizará un microcontrolador Arduino de bajo costo y fácilmente programable.

Arduino, dentro de sus características, trabaja con señales analógicas y digitales. Una forma eficaz de regular la velocidad de un motor DC es trabajar mediante señales digitales moduladas por ancho de pulso (PWM por sus siglas en inglés).

La modulación por ancho de pulso permite modificar la cantidad de energía y por tanto regular la velocidad del motor. La forma en que se adoptan estas señales son de tipo cuadrada y su resultado se expresa en porcentaje.



**Figura 21: Ejemplo de emisión de pulsos.**

La figura 21 muestra un ejemplo de cómo se emiten los pulsos en forma cuadrada. La forma en que se pueden interpretar es a través del ciclo de trabajo (DutyCycle), en el que se relaciona el tiempo de señal alta y el tiempo de señal baja.

$$D = \frac{T_{on}}{(T_{on}+T_{off})} * 100 [\%]$$

Donde:

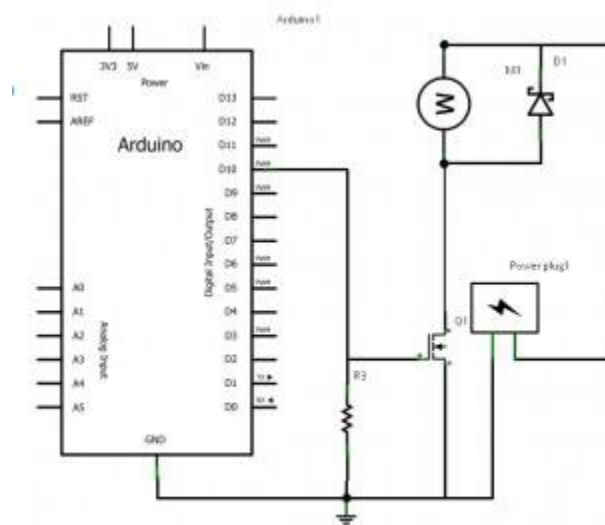
$T_{on}$ : Tiempo de señal alta

$T_{off}$ : Tiempo de señal baja

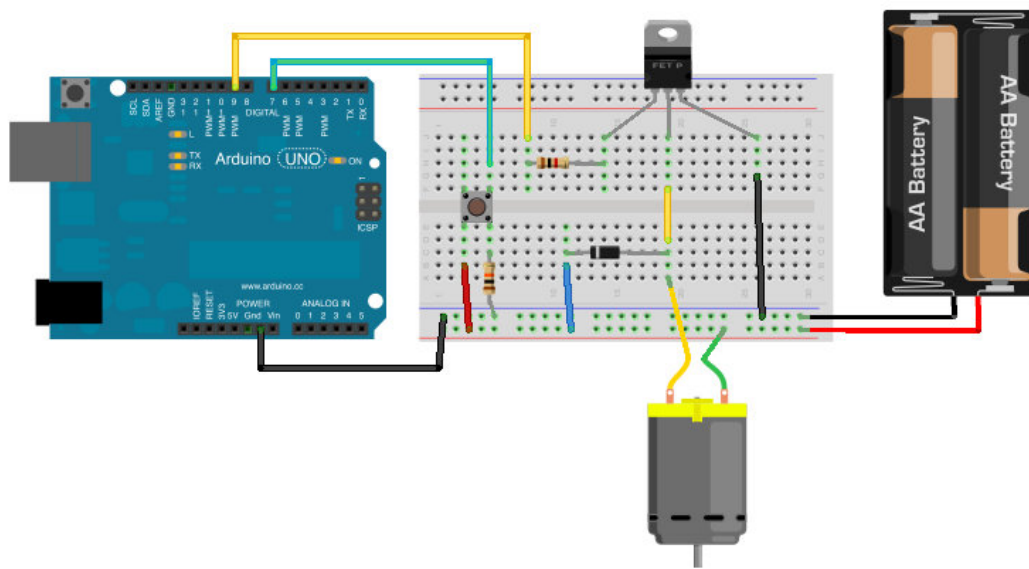
Arduino transformará cada uno de estos pulsos en señales analógicas o continuas y entregará valores de voltaje entre 0 y 5 V. Al cambiar el ancho del pulso, es posible cambiar el ciclo de trabajo y por consiguiente la cantidad de voltaje que se entregará.

Arduino dispone de 14 pines que es posible configurarlos como entradas o salidas. La limitancia es que sólo se pueden utilizar ciertos pines para ingresar señales digitales (PWM) y transformarlas en analógicas.

El esquema de conexión de Arduino al motor de corriente continua es el siguiente.



**Figura 22: Esquema de conexión típico de Arduino a motor DC.**



**Figura 23: Esquema de conexión.**

Dado que Arduino no puede suministrar la potencia necesaria para el motor, se debe emplear una fuente externa. El control de las señales para el paso de la energía se realiza a través de un transistor que funciona como “puente”. Para no dañar el motor se emplea además un diodo que permite pasar la corriente en un solo sentido.

Para programar Arduino se puede utilizar un computador donde se introduce el código correspondiente. Para enviar un pulso al motor se deberán ingresar valores entre 0 y 255, donde 0 representa 0 V y 255 representa 5 V. Cada uno de estos valores se debe guardar en el pin correspondiente y entregar el valor de voltaje requerido.

### 3.2.1.3 Pantalla Digital

Para conectar una pantalla y mostrar los valores de velocidad y tiempo de giro es posible utilizar un Arduino. Este microcontrolador viene con una librería incorporada que permite ingresar ciertos códigos para visualizar lo requerido. El esquema de conexión es el siguiente:



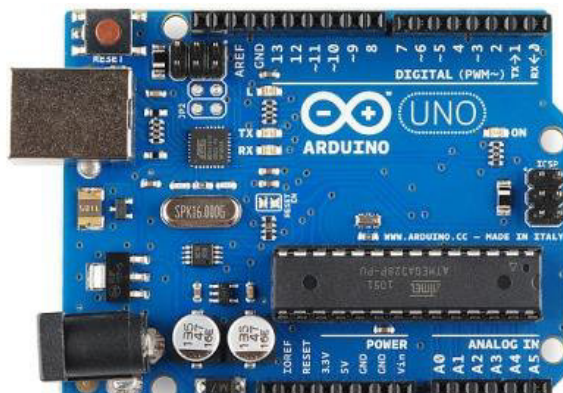


Los componentes necesarios para el armado de los circuitos mostrados anteriormente se resumen en las siguientes tablas. En alguna de ellas se indican las especificaciones técnicas requeridas y en otras información general (elementos misceláneos).

**Tabla 13: Hoja de datos de especificaciones Arduino.**

Hoja de Datos			
Item	Característica	Unidad	Requerimientos
1	Nombre	-	Arduino
2	Marca	-	Uno o Equivalente
3	Microcontrolador	-	ATmega328 P
4	Input Voltaje (Recommended)	V	7 - 12
5	Input Voltaje (Limit)	V	6 - 20
6	Digital I/O Pins	-	14
7	PWM Digital I/O Pins	-	6
8	Analog Input Pins	-	6
9	DC Current per I/O Pin	mA	20
10	DC Currentfor 3.3V Pin	mA	50
11	Length	mm	68,6
12	Width	mm	53,4
13	Weight	g	25

Imagen Referencial



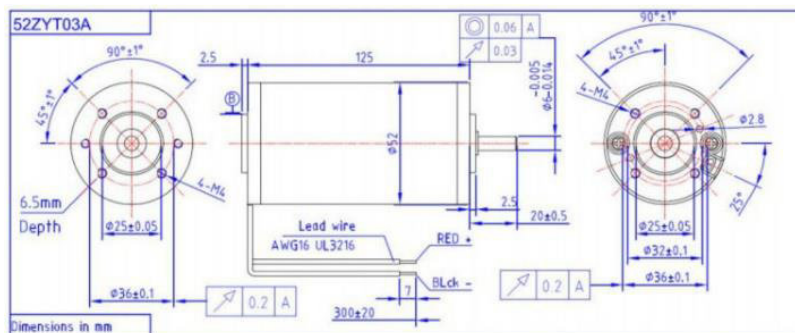
**Tabla 14: Hoja de Datos de Especificaciones Motor DC.**

Hoja de Datos				
Item	Característica	Unidad	Requerimientos	Proveedor (*)
<b>1</b>	<b>Características Generales</b>			
1.1	Nombre	-	Motor	-
1.2	Marca	-	Sin información	-
1.3	Tipo	-	Motor de Corriente Continua	-
1.4	Length Máx.	mm	180	125
1.5	Weight Máx.	g	-	1160
<b>2</b>	<b>Condiciones de Operación</b>			
2.1	Tipo de Servicio	-	Liviano (bajas cargas)	-
2.2	Temperatura de Operación	°C	25	-
2.3	Tiempo de Servicio	-	Discontinuo	-
2.4	Ambiente	-	Corrosivo	-
<b>3</b>	<b>Características Técnicas</b>			
3.1	Rated Voltaje	V	12	12
3.2	Continuous Rated Speed	rpm	1000 - 3000	2771
3.3	Continuous Rated Torque	Nm	0,002	0,155
3.4	Power	W	1	-


**Notas:**

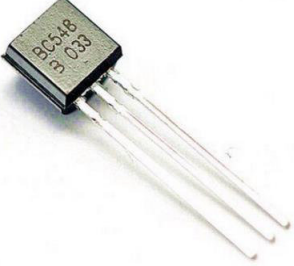
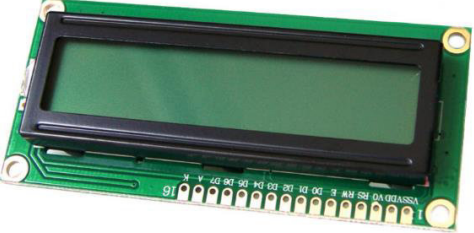
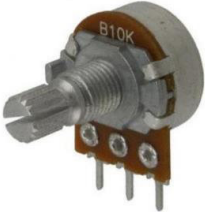
(\*) Los valores mencionados pueden estar sujetos a cambio dependiendo de la disponibilidad del equipo. Ellos fueron elegidos tomando en cuenta un motor de referencia que cumpliera con los requerimientos descritos.


**Imágenes Referenciales.**



**Tabla 15: Resumen Características Generales Elementos Misceláneos.**

<p>Imagen Referencial</p> 	<p>Nombre: Cable Punte</p> <p>Marca: Sin información</p> <p>Características Principales: Cable macho puente para arduino sin soldadura.</p>
<p>Imagen Referencial</p> 	<p>Nombre: Protoboard</p> <p>Marca: Sin información</p> <p>Características principales: 1 bloque – 2 tiras – 830 perforaciones.</p> <p>Dimensiones: 165.1 x 54.29 x 9.68mm</p>
<p>Imagen Referencial</p> 	<p>Nombre: Resistencia</p> <p>Marca: Sin información.</p> <p>Características principales: Resistencia de 300 Ohm</p>
<p>Imagen Referencial</p> 	<p>Nombre: Diodo Led</p> <p>Marca: Sin información</p> <p>Características Principales: Sin información</p>
	<p>Nombre: Transistor</p>

	<p>Marca: Sin información</p> <p>Corriente RMS: 4 A</p> <p>Voltaje activado: 1,6 A</p> <p>Temp. Op. Máx /Mín: +125 °C / - 40 ° C</p>
	<p>Nombre: Pantalla LCD</p> <p>Marca: Sin información.</p> <p>Características principales: 16 caracteres x 2 líneas</p> <p>Caracteres: 5x8 puntos</p> <p>Tamaño caracter: 5,23 x 3 mm</p> <p>Voltaje de alimentación: 5 V</p>
	<p>Nombre: Potenciómetro</p> <p>Marca: Sin información</p> <p>Resistencia: 10 kOhm</p> <p>Potencia: 0,2 W</p> <p>Voltaje máximo admitido: 150 V</p>
	<p>Nombre: Sensor IR</p>

	<p>Marca: Sin información</p> <p>Voltaje Máx / Mín: 2,1 V / 6,5 V</p> <p>Corriente Máxima: 1,5 mA</p> <p>Tem. Op. Máx / Mín: 20 / +65 °</p>
---	---

### 3.2.2 Material a utilizar

El material a utilizar deberá ser capaz de resistir eventuales deformaciones, procesos de mecanizado y ser resistente a la corrosión. En relación a estos requerimientos se optó por un acero inoxidable AISI 304 / AISI 304L fabricado bajo el Estándar ASTM A480 / A480 M [10]. Este acero es posible encontrarlo de forma comercial en láminas de diferentes espesores. La lámina a utilizar tiene un espesor de 1 mm y presenta las siguientes características:

- Acero inoxidable austenítico, aleado con Cromo y Níquel.
- Bajo contenido de Carbono.
- Resiste a la corrosión.
- No es templable ni magnético.
- Facilidad para trabajo en frío (doblado, cilindrado).

Dado que presenta buena resistencia a la corrosión, conformado en frío y soldabilidad, se utiliza ampliamente en la industria alimenticia, minera o de construcción. Algunos de sus usos principales son: estructuras y/o contenedores para la industria procesadora de leche, cerveza, vino.

Las características químicas y mecánicas se resumen en las siguientes tablas.

**Tabla 16: Características Químicas Acero AISI 304**

Material	% C máx.	% Mn máx.	% Si máx.	% Cr	% Ni	% P máx.	% S máx.
Acero Inoxidable	0,08	2,00	0,75	18 - 20	8 - 10,5	0,045	0,03

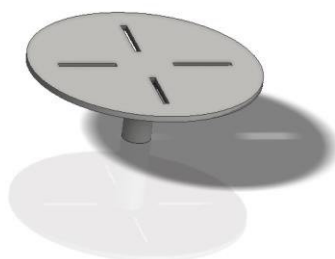
**Tabla 17: Características Mecánicas Acero AISI 304.**

Material	Esfuerzo de Fluencia Mín. (MPa)	Esfuerzo de Tracción Mín. (Mpa)	Elongación Mín. (%)	Dureza Máx. Brinell (HB)
Acero Inoxidable	205	515	40	201

### 3.2.3 Piezas especiales a fabricar

#### 3.2.3.1 Disco sujeción sustrato

El disco a utilizar para posicionar el sustrato será de acero inoxidable AISI 304. Las dimensiones del diámetro y espesor irán de acorde al plano ME-003. Para ajustar diferentes tamaños del sustrato, el disco tendrá cuatro (4) ranuras con un ángulo de 90° entre ellas. Cada una de ellas contará con “topes” que se podrán mover libremente y serán ajustados mediante pernos o pasadores. Para acoplar el eje del motor al disco, este último contará con un cilindro hueco con un diámetro menor al del eje del motor, de forma que el ajuste sea por presión. El conjunto disco-cilindro deberán ir soldados, evitando cualquier deformación del material al momento de realizar el cordón.



**Figura 27: Disco con ranuras para ajuste de sustrato.**

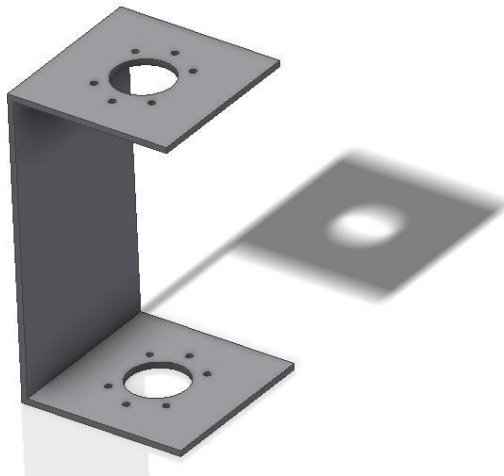
La siguiente figura muestra el acople y diseño final del motor con el disco. Sin embargo, el diámetro del cilindro de acople variará de acuerdo a las dimensiones del eje del motor.



**Figura 28: Acople Motor Disco.**

El motor deberá permanecer en una misma posición para evitar eventuales desplazamientos o movimientos.

Para ajustar el motor se deberá fabricar un soporte, de preferencia utilizando la misma lámina para las otras piezas especiales. El soporte deberá estar ajustado superiormente en la zona del eje del motor y lateralmente o en la zona baja de la carcasa del equipo (de acuerdo a las limitaciones o requerimientos del Cliente).

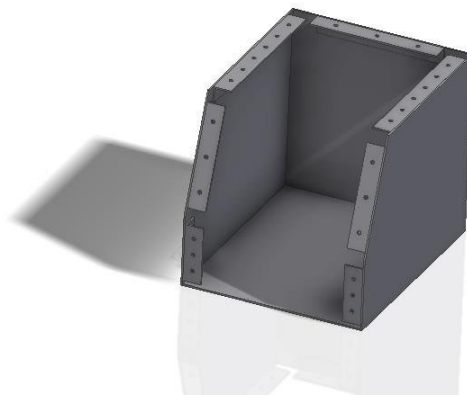


**Figura 29: Soporte del motor a fabricar.**

### **3.2.3.2 Carcasa Spin Coater**

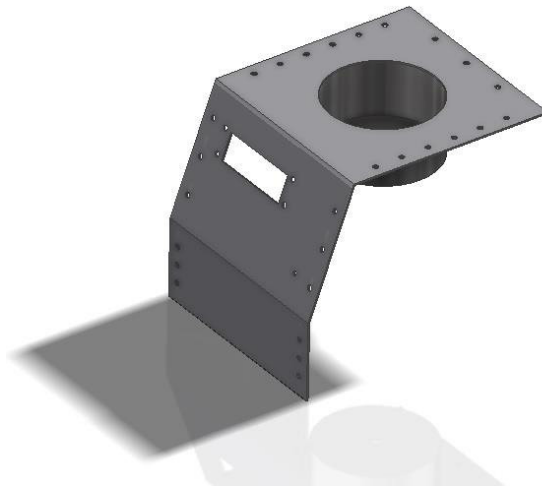
La carcasa constará de dos partes: carcasa lateral y carcasa superior. El diseño de cada una de ellas es tal que permitirá desarmar fácilmente el equipo en caso de mantenimiento o reparación de los componentes internos. El material deberá ser de acero inoxidable AISI 304 con espesor de 2 mm. Para ajustar la parte superior a la lateral se diseñaron “pestañas” que irán soldadas en cada arista de la carcasa. Las dimensiones y especificaciones de construcción irán de acorde al plano ME-004.

La siguiente figura muestra el diseño de la carcasa lateral del equipo.



**Figura 30: Carcasa lateral Spin Coater con pestañas soldadas en sus aristas,**

La carcasa superior ira ajustada a la carcasa lateral mediante tornillos autoperforantes. El material deberá ser de acero inoxidable AISI 304. En la cara superior irá soldada una cubierta cilíndrica que permitirá retener los residuos al finalizar el proceso de recubrimiento. La siguiente figura muestra el diseño de la carcasa superior y la cubierta cilíndrica. Las dimensiones irán de acorde al plano ME-005.



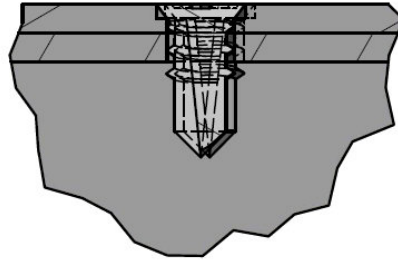
**Figura 31: Parte superior Spin Coater con cubierta cilíndrica.**

### **3.2.3.3 Elemento sujeción Spin Coater**

Se utilizarán tornillos autoroscantes o autoperforantes de acorde a la Norma DIN y requerimientos de operación del equipo con punta broca, permitiendo abrir paso a su propio camino a medida que se realiza la perforación en las láminas de acero. Los elementos deberán ser elegidos para resistir la corrosión y eventuales deformaciones o esfuerzos grandes que se produzcan.

A modo de permitir un correcto y fácil ajuste entre los elementos, se utilizarán tornillos de cabeza hexagonal de acuerdo a la Norma DIN 933/DIN 931 o de cabeza avellanada con sistema de apriete Phillips o hexagonal, según sea el caso.

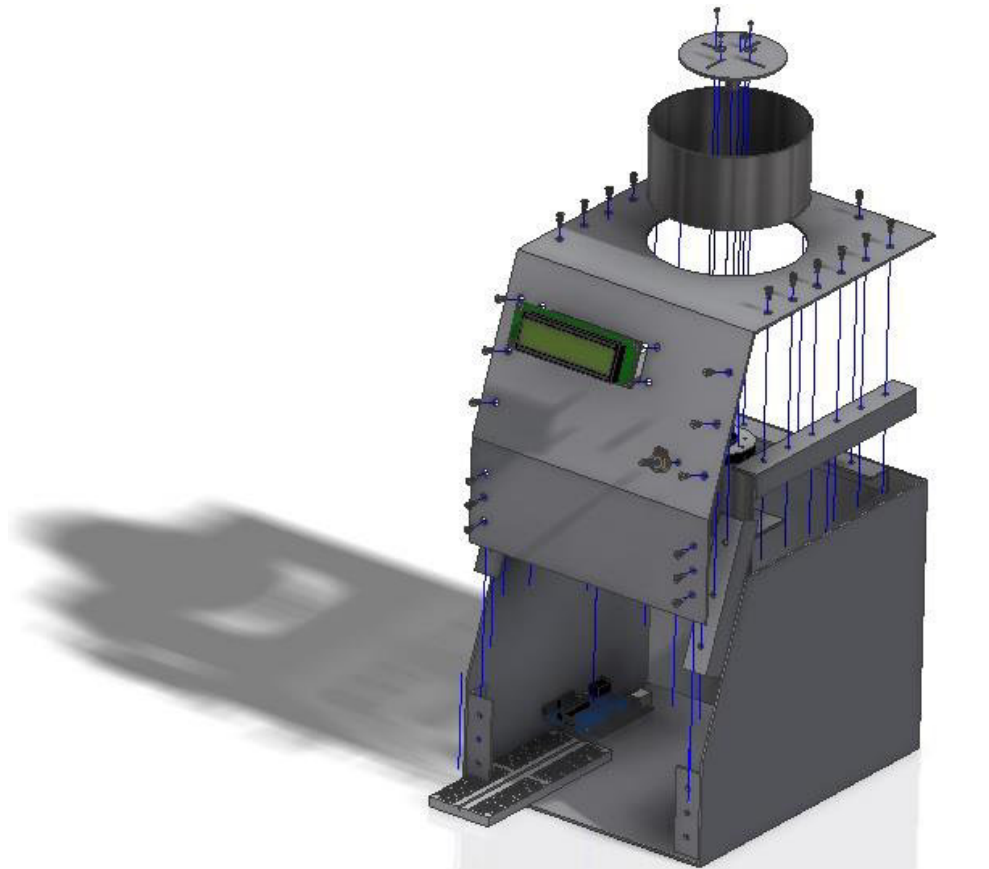
El agujero deberá ser pasante, y en caso que se requiera para prevenir que los elementos unidos se suelten se deberán soldar tuercas prisioneras a las pestañas de la carcasa lateral.



**Figura 32: Tornillo autoperforante con punta de broca y agujero pasante.**

### 3.2.3.4 Conjunto final

El conjunto final se muestra como un explosionado con todos los elementos con lo componen. Los planos correspondientes a cada pieza especial se muestran en los anexos e imágenes a continuación.



**Figura 33: Explosionado equipo Spin Coater.**

### 3.2.4 Costos

En la siguiente tabla se muestran los costos asociados a cada elemento que compone el equipo y los costos asociados a la fabricación. Los datos entregados corresponden a cotizaciones que se realizaron de forma personal y a través de sitios de internet. Se consideró una incertidumbre en el precio de los productos, dado que estos pueden variar en el tiempo.

**Tabla 18: Costos asociados a cada componente del equipo.**

Componente	Costo	Cantidad	Incertidumbre	Costo Final
Display	12.290	1	5%	\$ 12.904,50
Cables de conexión	2.290	1	5%	\$ 2.404,50
Protoboard	3.990	1	5%	\$ 4.189,50
Potenciometro	390	1	5%	\$ 409,50
Arduino	17.990	1	5%	\$ 18.889,50
Resistencia	100	3	5%	\$ 315,00
Transistores	390	1	5%	\$ 409,50
Lámina de Acero 3000x1000 AISI304	70.000	1	5%	\$ 73.500,00
Pernos	250	31	5%	\$ 8.137,50
Motor DC 12 V	27.000	1	10%	\$ 29.700,00
Fabricación	100.000	-	15%	\$ 115.000,00
<b>TOTAL</b>				<b>\$ 265.859,50</b>

En el caso del precio del motor el valor cotizado fue en dólares y se realizó el cambio correspondiente a pesos con fecha 10/11/2016. La incertidumbre para este caso fue mayor debido a que las variaciones son mayores.

Todos los trabajos asociados a la fabricación del equipo: corte de láminas, preparación superficies, soldadura de acero inoxidable, requieren de personas calificadas y con experiencia.

## Conclusiones

Como resultado final de este trabajo de título se obtuvo el diseño de un equipo mecánico que será capaz de permitir el recubrimiento de superficies con compuestos de naturaleza orgánica o inorgánica, utilizando principalmente la fuerza centrífuga generada por el movimiento de rotación de un disco conectado a un motor de corriente continua, donde tanto la velocidad de rotación del disco como el tiempo de giro de este será controlado mediante un sistema electrónico utilizando un Arduino.

A través de entrevistas y visitas con el cliente se lograron determinar las necesidades y requerimientos en cuanto al diseño y funcionalidad del equipo.

Basado en estas necesidades, es que se generó un listado mostrando todos los atributos que debe tener el equipo, agrupándolos en tres grandes categorías: Objetivos de Diseño, Restricciones y Funciones.

Tomando en cuenta solo la categoría Objetivos de diseño se realizó una jerarquización de ellos y se clasificaron de acuerdo a su similitud: Costos, Desempeño, Seguridad y Apariencia.

Mediante el despliegue de la función de calidad, se lograron obtener los requerimientos más importantes que deberá comprender el diseño. Junto a la búsqueda de patentes de equipos que presenten y contengan componentes similares al equipo a diseñar, y otras herramientas de búsqueda interna y externa, se obtiene como resultado aquellos conceptos de diseño que serán los que cumplan con las necesidades del cliente.

Dada las limitancias de fabricación, disponibilidad y costos, se eligió aquel concepto que sea capaz de cumplir con todos los requerimientos propuestos con anterioridad. Durante el diseño de configuración y a través de la arquitectura del producto se desarrolló la forma en cómo deben estar constituidos y “localizados” los componentes y/o elementos que dan vida al equipo.

El diseño en detalle de los componentes del equipo, es el paso más difícil a la hora de obtener el producto final. Se debe comprender y conocer con claridad los aspectos más importantes dentro de cada elemento. El material a seleccionar debe ser el adecuado, y tener la capacidad de resistir e interactuar de buena forma con el ambiente que lo rodea.

Las dimensiones de cada componente deben ser las apropiadas, y deben en lo posible no condicionar al diseño a que cambie constantemente.

Si bien se definió un diseño final en la etapa posterior a los planos de fabricación, ciertos aspectos de él cambiaron principalmente por la dificultad de mecanizar ciertos elementos y los costos que ello conlleva. No se consideró una tapa protectora ya que la misma cavidad del diseño donde va el disco permite que todo el excedente se mantenga en las paredes de la misma.

En base a las cotizaciones realizadas en distintos lugares y a través de páginas de internet se logró determinar de forma aproximada los costos asociados a la compra de todos los elementos que conforman el equipo y la posterior fabricación. En total se obtuvo un costo de \$ **265.859**, siendo muy menor en relación a aquellos cotizados en empresas dedicadas a la fabricación de estos equipos, el que fluctúa entre \$5.000.000 y \$7.000.000.

Si bien siempre se presentan problemas en las etapas de diseño, la idea es que el proceso tenga siempre una retroalimentación, de forma tal que el diseño final sea aquel que satisfaga a las necesidades del cliente, cuyo objetivo es el más importante dentro de la Ingeniería de Diseño.

## REFERENCIAS

- [1] French, Michale J. Conceptual DesignforEngineers. [En línea]. SecondEdition. Springer-VerlagBerlin Heidelberg. HeinemannEducationalBooksLtd, 1985. [Consulta 02-Nov.-2015]
- [2] Dixon, John R, FingerSusan. A Review of Research in MechanicalEngineeringDesign. Part I: Descriptive, Prescriptive, and Computer-BasedModels of DesignProcesses, 1989 [Consulta: 02-Nov.-2015]
- [3] DIETER, George, SCHMIDT, Linda. EngineeringDesign. [En línea]. 4a. ed.Estados Unidos: McGraw-Hill HigherEducation, 2000. [Consulta: 02-Nov.-2015].
- [4]CROSS,Nigel. Engineeringdesignmethods:strategiesforproductdesign.JohnWiley&Sons, 2008. [Consulta: 16/09/2015]
- [5] ULRICH, Karl T, EPPINGER, Steven D. Diseño y desarrollo de productos. []. 4a ed. Estados Unidos: McGraw-Hill HigherEducation, 2000.
- [6] KhandaniSeyyed. EngineeringDesignProcess, August 2005 [05-Dic.-2015].
- [7] Asimow, Morris. Fundamentals of EngineeringDesign.EnglewoodCliffs, N.J., Prentice-Hall, 1962. [Consulta: 20-Ene.-2016]
- [8] HIEZER, Jay, RENDER, Barry. Dirección de la producción y de operaciones: Decisiones estratégicas. 8a. ed. Estados Unidos: Pearson Prentice Hall, 2007. [Consulta:].

[9] Saaty, T. L. Fundamentals of decisionmaking and prioritytheorywiththe AHP, 1994.  
Saaty,T. L..Whatistheanalytichierarchyprocess?. In Mathematicalmodelsfordecisionsupport  
(pp. 109-121). Springer Berlin Heidelberg, 1988.

[10] ASTM A 36/A 36M. Standard Specification for Carbon Structural Steel, American  
Society for Testing and Materials, 1997.

[11] Alabella, José M. Láminas Delgadas y Recubrimiento: Preparación, Propiedades y  
Aplicaciones. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Madrid, 2003. [Consulta:  
20-Feb.-2016]

## ANEXOS

### ESCALA DE VALORIZACIÓN

**Tabla 19: Escala valorización desempeño.**

Desempeño (0,45)												
Criterio	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	Total Fila	Peso Relativo	Peso Absoluto
1.1	1.0	5	7	7	8	8	8	9	9	61,00	0,28	0,1273
1.2	0,20	1.0	2	3	5	5	8	8	9	40,20	0,19	0,0839
1.3	0,14	0,50	1.0	3	6	6	7	7	8	37,64	0,17	0,0785
1.4	0,14	0,33	0,33	1.0	3	5	7	7	7	29,81	0,14	0,0622
1.5	0,13	0,20	0,17	0,33	1.0	3	5	5	6	19,83	0,09	0,0414
1.6	0,13	0,20	0,17	0,20	0,33	1.0	4	5	7	17,03	0,08	0,0355
1.7	0,13	0,13	0,14	0,14	0,20	0,25	1.0	2	2	4,99	0,02	0,0104
1.8	0,11	0,13	0,14	0,13	0,20	0,20	0,5	1.0	2	3,40	0,02	0,0071
1.9	0,11	0,11	0,125	0,13	0,14	0,17	0,5	0,50	1.0	1,78	0,01	0,0037
<b>Total</b>										<b>215,67</b>	<b>1</b>	<b>0,45</b>

**Tabla 20: Descripción puntos a evaluar desempeño.**

Desempeño	
1.1	El equipo tiene un sistema de control para manipular las variables del proceso.
1.2	El equipo es fácil de operar.
1.3	El equipo funciona sin perder estabilidad durante el funcionamiento.
1.4	Fácil de realizar mantenimiento.
1.5	Fácil de desmontar y montar.
1.6	Las superficies internas y externas son fáciles de limpiar.
1.7	El sistema es flexible y permite la automatización de la deposición de capas.
1.8	Fácil de transportar.
1.9	Puede operar sobre una mesa.

**Tabla 21: Escala valorización seguridad.**

Seguridad (0,35)										
Criterio	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	Total Fila	Peso Relativo	Peso Absoluto
1.1	1.0	3	5	5	6	7	7	33,00	0,31	0,1079
1.2	0,33	1.0	6	6	7	7	7	33,33	0,31	0,1090
1.3	0,20	0,17	1.0	2	2	3	3	10,37	0,10	0,0339
1.4	0,20	0,17	0,50	1.0	3	5	5	13,87	0,13	0,0453
1.5	0,17	0,14	0,50	0,33	1.0	4	5	10,14	0,09	0,0332
1.6	0,14	0,14	0,33	0,20	0,25	1.0	4	5,07	0,05	0,0166
1.7	0,14	0,14	0,33	0,20	0,20	0,25	1.0	1,27	0,01	0,0041
<b>Total</b>								<b>107,05</b>	<b>1</b>	<b>0,35</b>

**Tabla 22: Descripción puntos a evaluar seguridad.**

Seguridad	
1.1	Detención rápida del giro del disco en caso de emergencia.
1.2	Se mantiene inoperable cuando la tapa está abierta.
1.3	El disco con la muestra están protegidos del ambiente externo.
1.4	El solvente orgánico se encuentra contenido y no contamina el medio ambiente.
1.5	Mantener firme y segura la muestra.
1.6	Las partes móviles se encuentran encerradas para evitar atascamientos.
1.7	El sistema está protegido de choques eléctricos inesperados.

**Tabla 23: Escala de valorización costos.**

Costos (0,19)						
Criterio	1.1	1.2	1.3	Total Fila	Peso Relativo	Peso Absoluto
1.1	1.0	6	7	13,00	0,67	0,1268
1.2	0,17	1.0	6	6,17	0,32	0,0602
1.3	0,14	0,17	1.0	0,31	0,02	0,0030
<b>Total</b>				<b>19,48</b>	<b>1</b>	<b>0,19</b>

**Tabla 24: Descripción puntos a evaluar Costos.**

Costos	
1.1	Bajo costo de fabricación.
1.2	Bajo costo de mantenimiento.
1.3	Bajo costo de las piezas de repuesto.

**Tabla 25: Escala valorización apariencia.**

<b>Apariencia (0,01)</b>						
<b>Criterio</b>	<b>1.1</b>	<b>1.2</b>	<b>1.3</b>	<b>Total Fila</b>	<b>Peso Relativo</b>	<b>Peso Absoluto</b>
<b>1.1</b>	1.0	6	9	15,00	0,67	0,0067
<b>1.2</b>	0,17	1.0	7	7,17	0,32	0,0032
<b>1.3</b>	0,11	0,14	1.0	0,25	0,01	0,0001
<b>Total</b>				<b>22,42</b>	<b>1</b>	<b>0,01</b>

**Tabla 26: Descripción puntos a evaluar apariencia.**

<b>Apariencia</b>	
<b>1.1</b>	Cableado y conexiones internas protegidos de los solventes inorgánicos.
<b>1.2</b>	El sistema permite visualizar la operación del equipo.
<b>1.3</b>	Visualmente agradable.

**Tabla 27: Escala de valorización por criterios.**

<b>Criterio</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>Total Fila</b>	<b>Peso</b>
<b>1</b>	1.0	4	5	8	17,00	0,45
<b>2</b>	0,25	1.0	5	8	13,25	0,35
<b>3</b>	0,20	0,20	1.0	7	7,40	0,19
<b>4</b>	0,13	0,13	0,14	1.0	0,39	0,01
<b>Total</b>					<b>38,04</b>	<b>1</b>

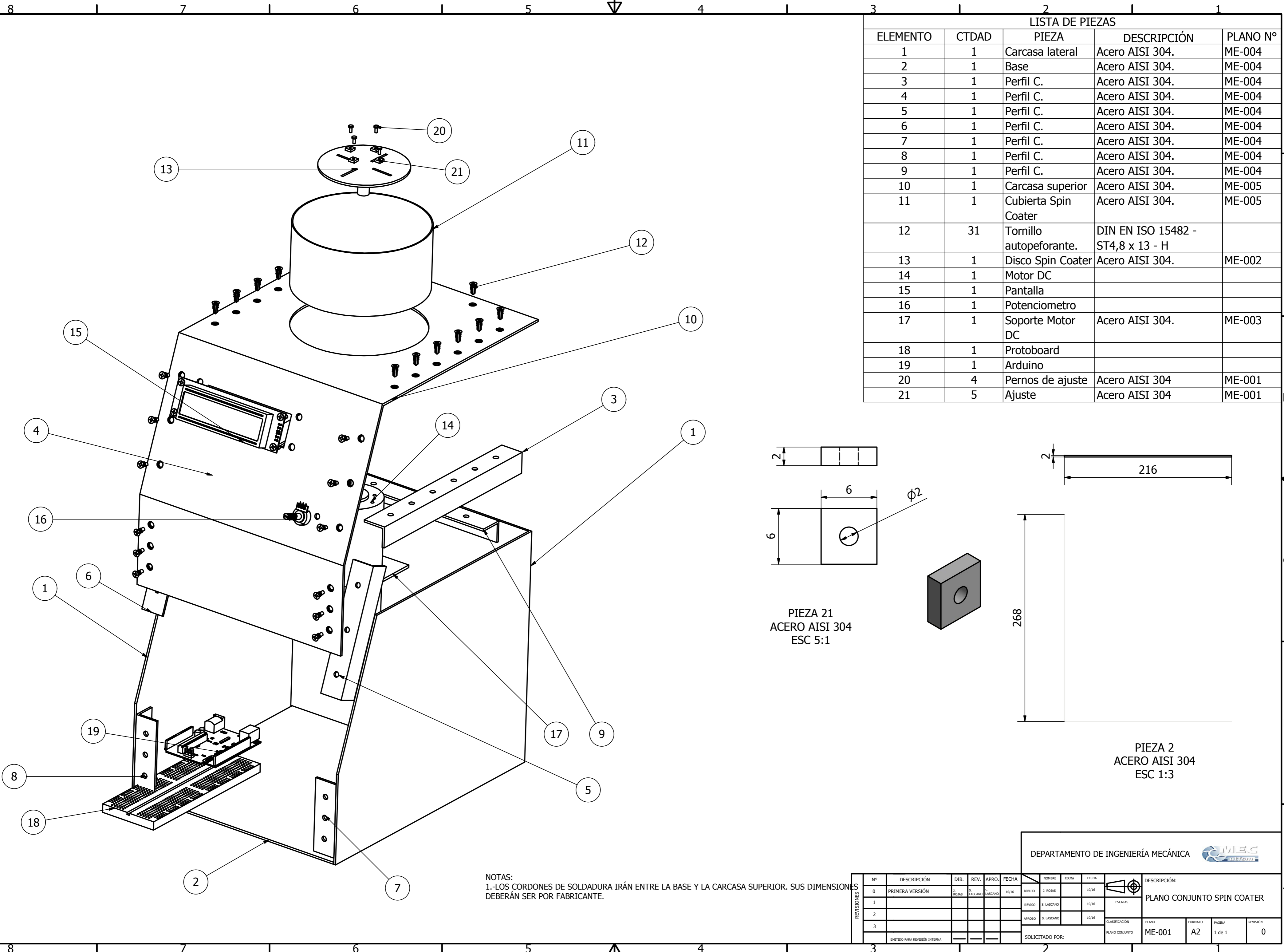
**Tabla 28: Descripción criterios a evaluar.**

<b>Apariencia</b>	
<b>1</b>	Desempeño
<b>2</b>	Seguridad
<b>3</b>	Costos
<b>4</b>	Apariencia

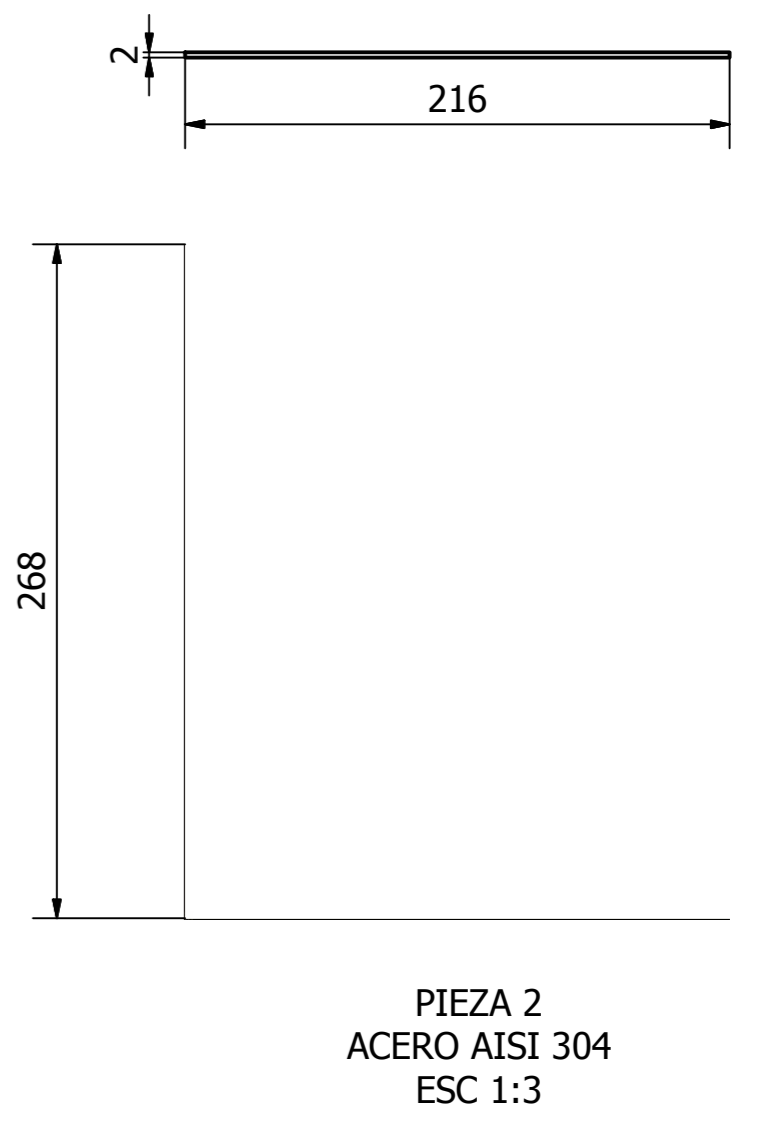
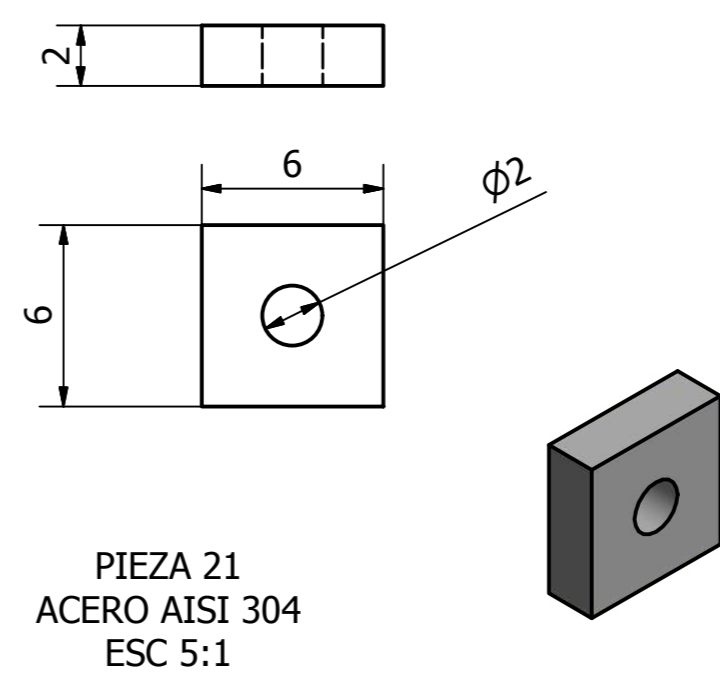
**Tabla 29: Hoja de datos motor DC.**

<b>Model</b>	<b>52ZYT03A</b>			
Ratedvoltage	V dc	12	24	40
Continuoussratedspeed	rpm	2771	2779	3000
Continuoussrated torque	N.m	0.155	0.170	0.170
Continuousscurrent	A	5.2	2.8	1.9
Starting torque	N.m	1.154	1.173	1.245
Startingcurrent	A	35.6	17.6	11.9
No load speed	rpm	3200	3250	3450
No load current	A	0.44	0.32	0.21
Demagnetizationcurrent	A	61	31	20
Rotor inertia	gcm <sup>2</sup>	460	460	460
Weight of motor	g	1160	1160	1160
Motor length	mm	125	125	125





LISTA DE PIEZAS				
ELEMENTO	CTDAD	PIEZA	DESCRIPCIÓN	PLANO Nº
1	1	Carcasa lateral	Acero AISI 304.	ME-004
2	1	Base	Acero AISI 304.	ME-004
3	1	Perfil C.	Acero AISI 304.	ME-004
4	1	Perfil C.	Acero AISI 304.	ME-004
5	1	Perfil C.	Acero AISI 304.	ME-004
6	1	Perfil C.	Acero AISI 304.	ME-004
7	1	Perfil C.	Acero AISI 304.	ME-004
8	1	Perfil C.	Acero AISI 304.	ME-004
9	1	Perfil C.	Acero AISI 304.	ME-004
10	1	Carcasa superior	Acero AISI 304.	ME-005
11	1	Cubierta Spin Coater	Acero AISI 304.	ME-005
12	31	Tornillo autopeforante.	DIN EN ISO 15482 - ST4,8 x 13 - H	
13	1	Disco Spin Coater	Acero AISI 304.	ME-002
14	1	Motor DC		
15	1	Pantalla		
16	1	Potenciómetro		
17	1	Soporte Motor DC	Acero AISI 304.	ME-003
18	1	Protoboard		
19	1	Arduino		
20	4	Pernos de ajuste	Acero AISI 304	ME-001
21	5	Ajuste	Acero AISI 304	ME-001



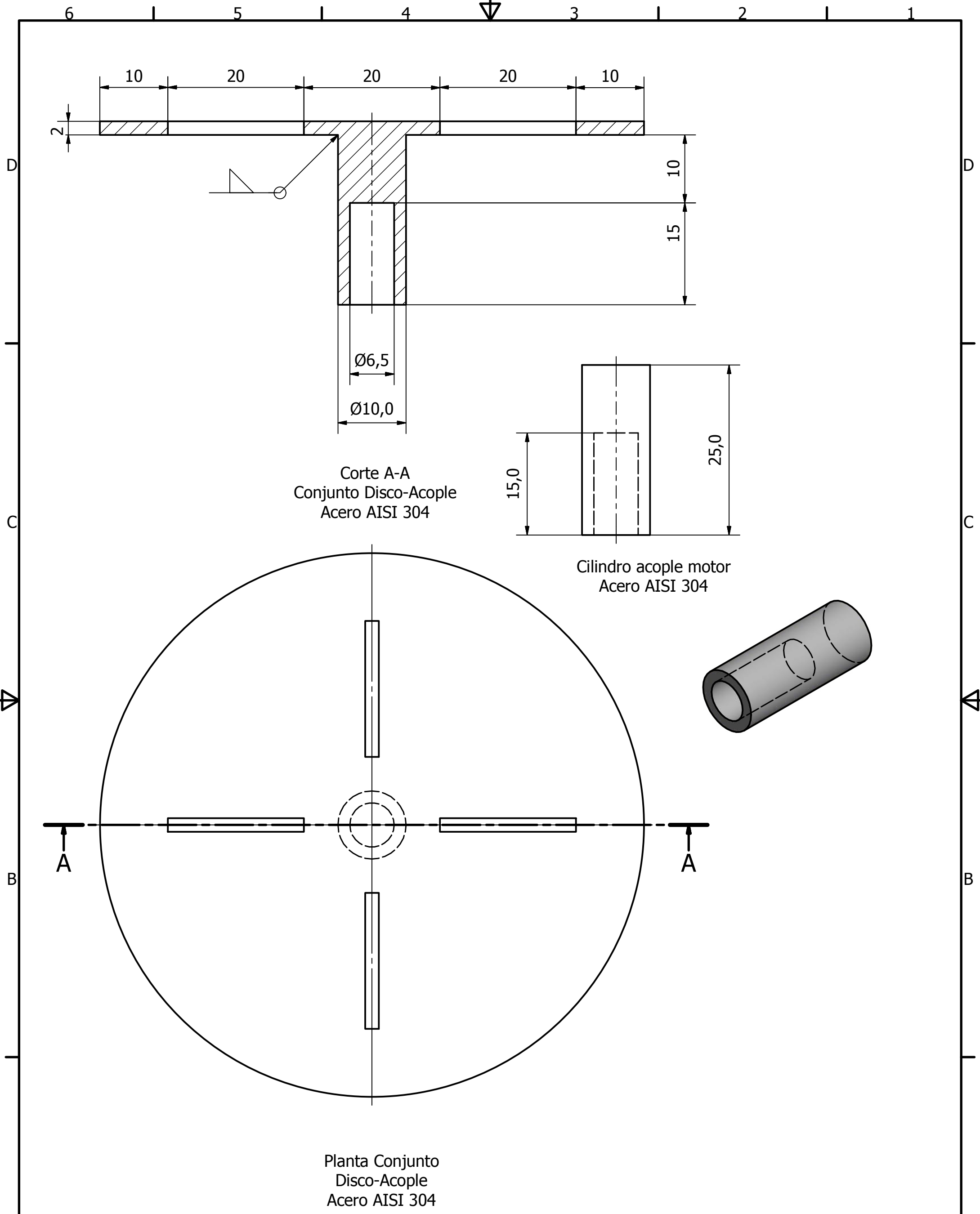
NOTAS:  
1.-LOS CORDONES DE SOLDADURA IRÁN ENTRE LA BASE Y LA CARCASA SUPERIOR. SUS DIMENSIONES DEBERÁN SER POR FABRICANTE.

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA

Nº	DESCRIPCIÓN	DIB.	REV.	APRO.	FECHA	NOMBRE	FECHA	FECHA	DESCRIPCIÓN:	
0	PRIMERA VERSIÓN	1.	ROJAS	5.	LASCANO	10/16			 ESCALAS PLANO CONJUNTO SPIN COATER	
1						REVISO	5.	LASCANO		10/16
2						APROBO	5.	LASCANO		10/16
3										

SOLICITADO POR: \_\_\_\_\_

CLASIFICACIÓN	PLANO	FORMATO	PÁGINA	REVISIÓN
PLANO CONJUNTO	ME-001	A2	1 de 1	0




Corte A-A  
Conjunto Disco-Acople  
Acero AISI 304

Cilindro acople motor  
Acero AISI 304

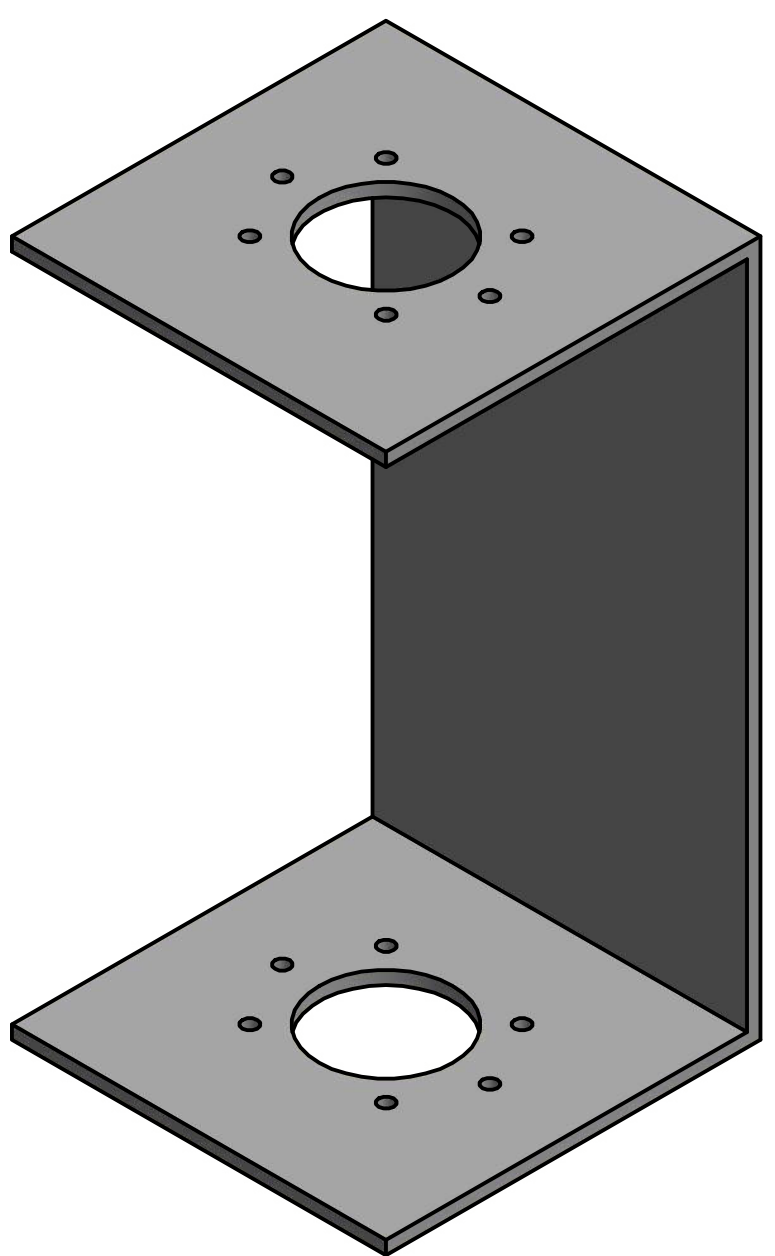
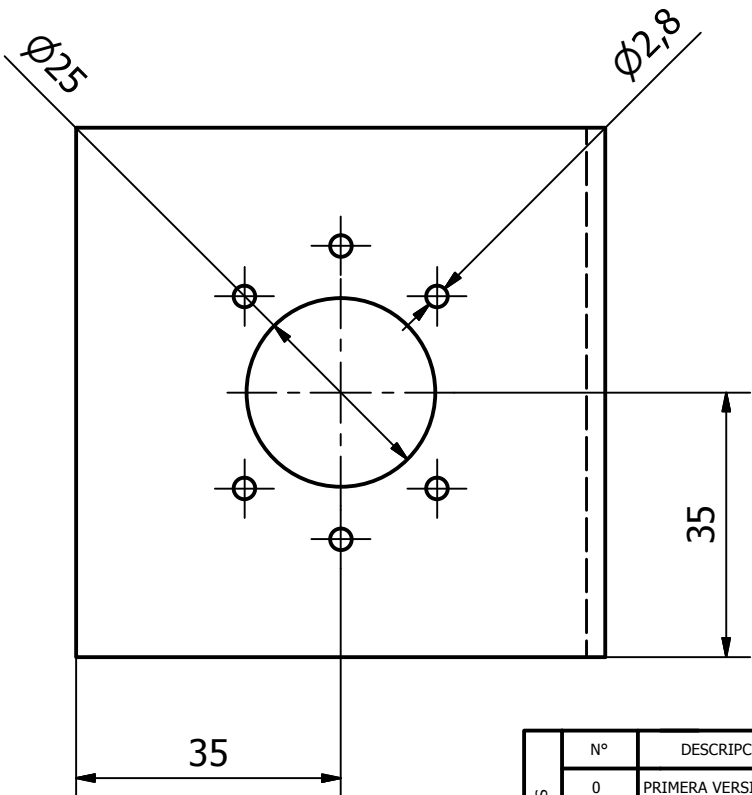
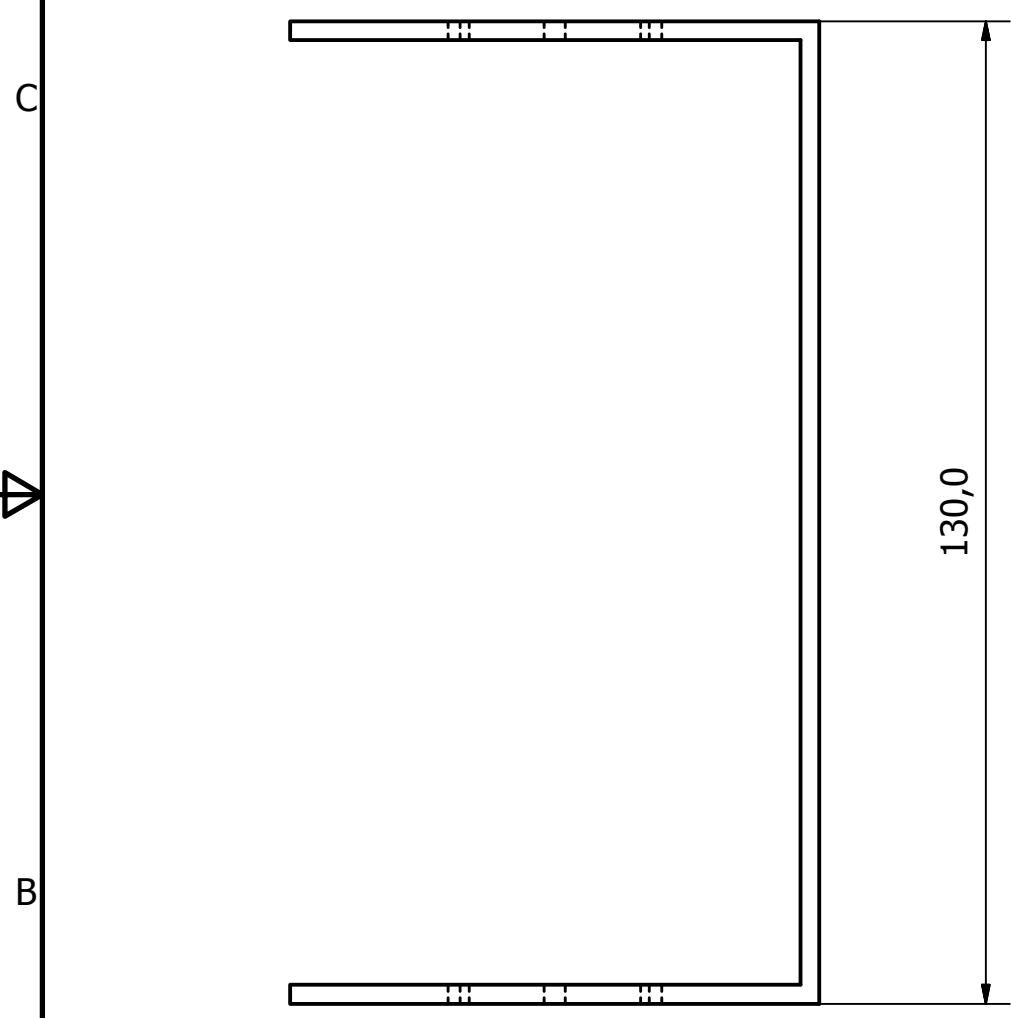
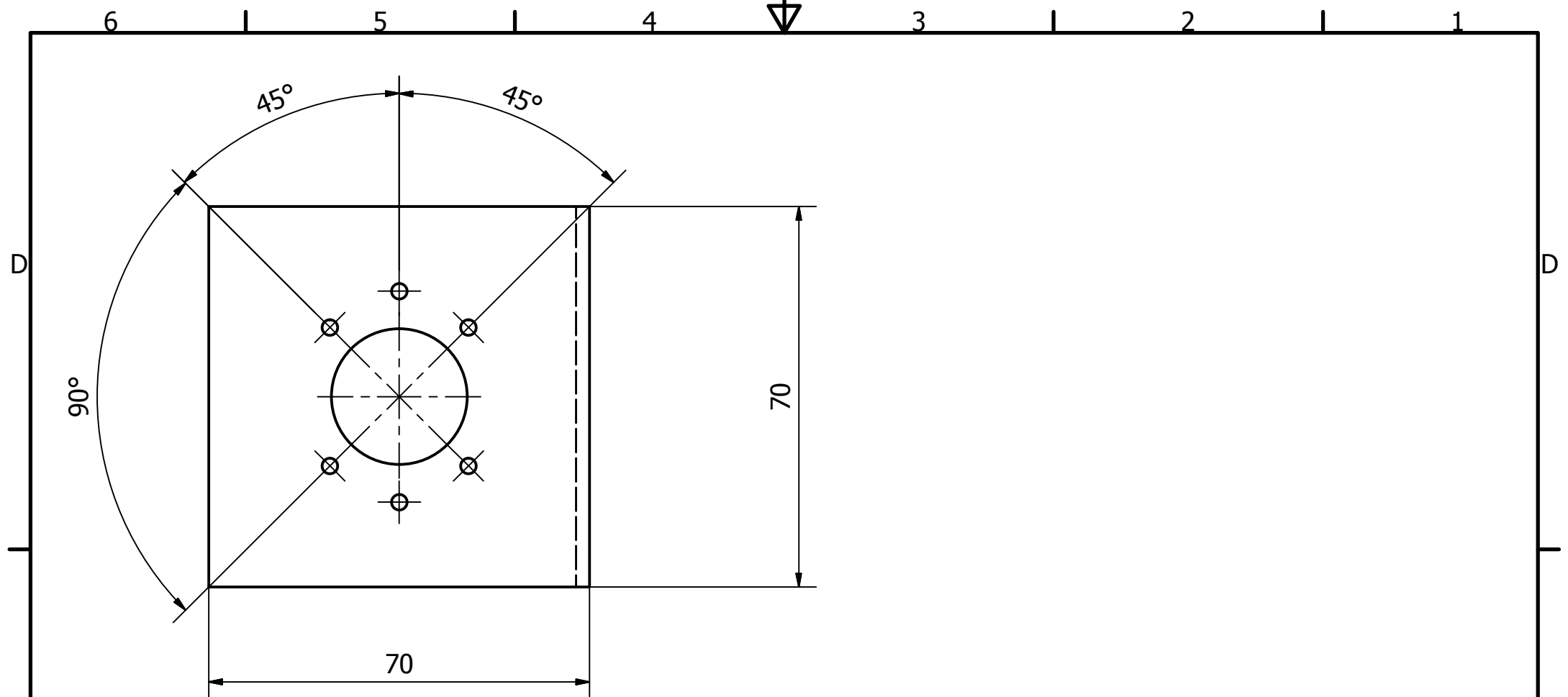
Planta Conjunto  
Disco-Acople  
Acero AISI 304

Notas:  
1-Las dimensiones del cordón de soldadura deberán ser dadas por Fabricante.

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA 

REVISIONES	Nº	DESCRIPCIÓN	DIB.	REV.	APRO.	FECHA	NOMBRE	FIRMA	FECHA
	0	PRIMERA VERSIÓN	J. ROJAS	S. LASCANO	S. LASCANO	10/16	DIBUJO	J. ROJAS	10/16
	1						REVISO	S. LASCANO	10/16
	2						APROBO	S. LASCANO	10/16
3									
	EMITIDO PARA REVISIÓN INTERNA						SOLICITADO POR:		

DESCRIPCIÓN: DISCO SPIN COATER					
ESCALAS 1:1	CLASIFICACIÓN PLANO GENERAL	PLANO ME-002	FORMATO A3	PÁGINA 1 de 1	REVISIÓN 0

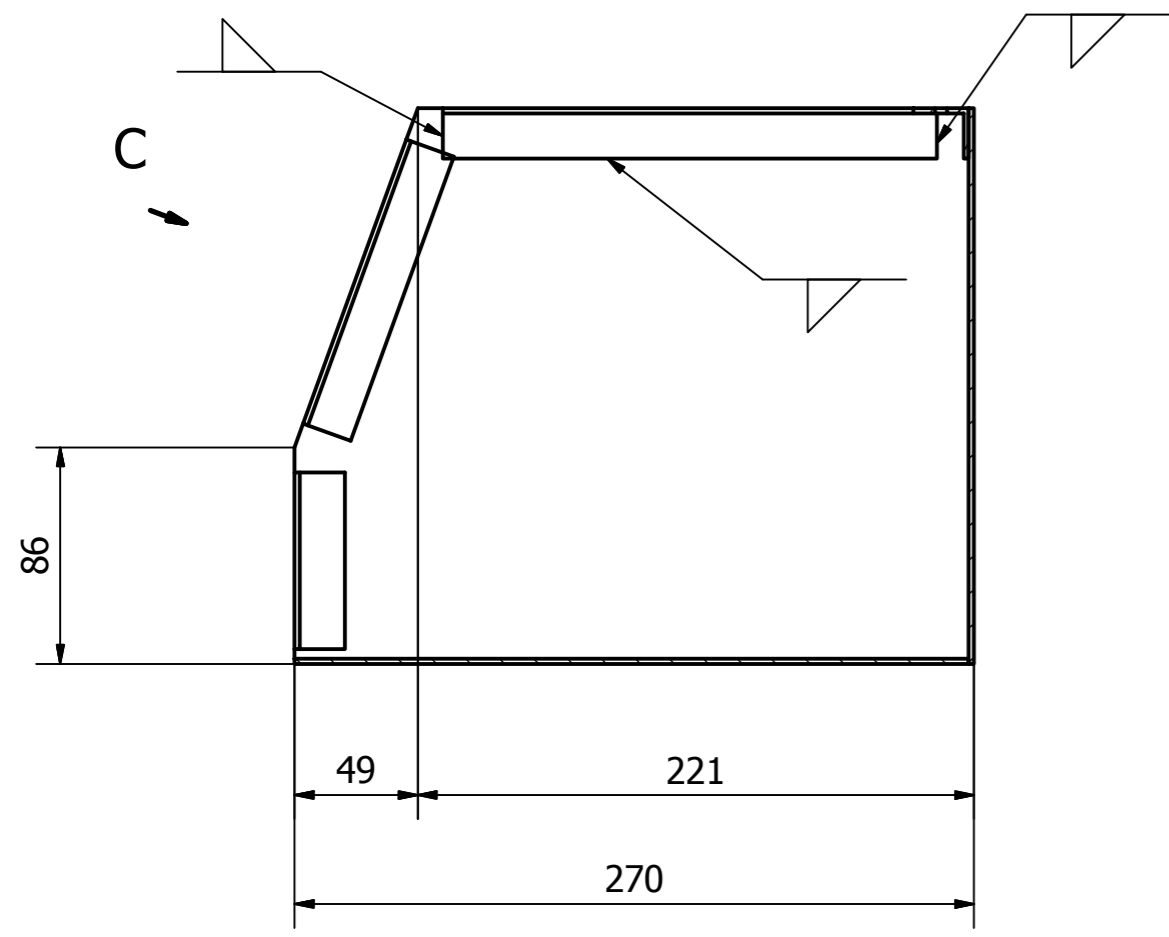


Isométrico  
Soporte Motor DC

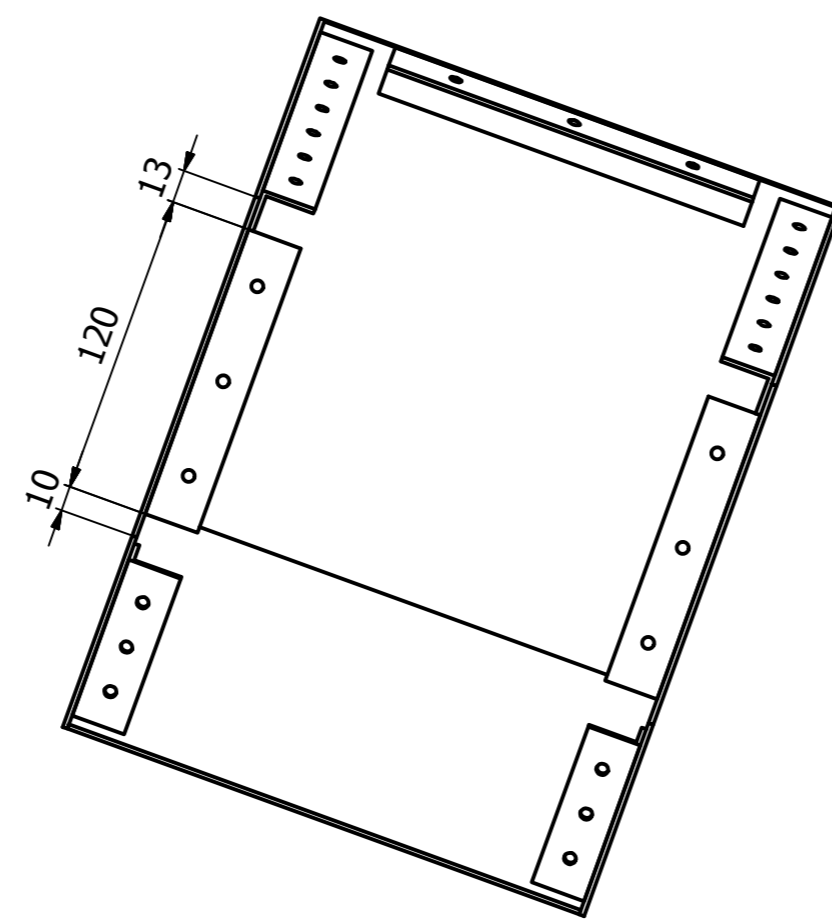
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA 

REVISIONES	Nº	DESCRIPCIÓN	DIB.	REV.	APRO.	FECHA	NOMBRE	FIRMA	FECHA	DESCRIPCIÓN:				
	0	PRIMERA VERSIÓN	J. ROJAS	S. LASCANO	S. LASCANO	10/16	DIBUJO	J. ROJAS	10/16		 ESCALAS <b>1:1</b>	SOPORTE MOTOR DC		
	1					REVISO	S. LASCANO	10/16						
	2					APROBO	S. LASCANO	10/16						
3									CLASIFICACIÓN	PLANO	FORMATO	PÁGINA	REVISIÓN	
		EMITIDO PARA REVISIÓN INTERNA					SOLICITADO POR:			PLANO PIEZA	ME-003	A2	1 de 1	0

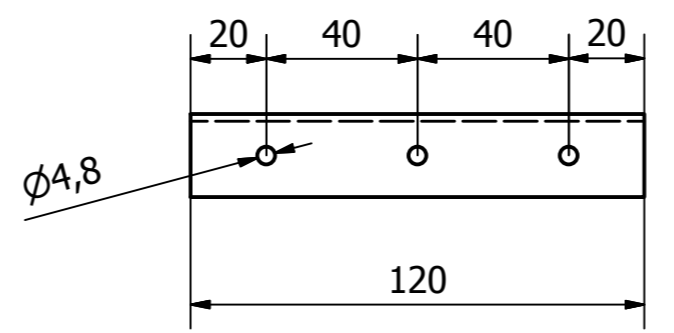
**CORTE B-B  
ESCALA 1:3**



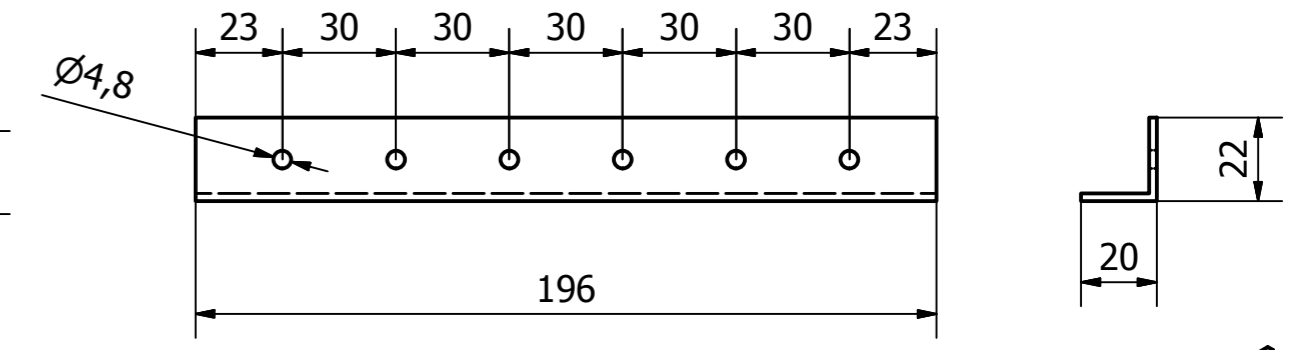
**CORTE C-C  
ESCALA 1:3**



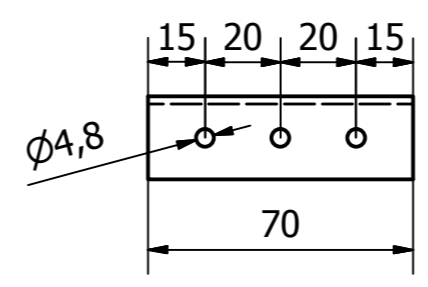
**PLANTA PZ 2  
ACERO AISI 304  
e= 2 mm**



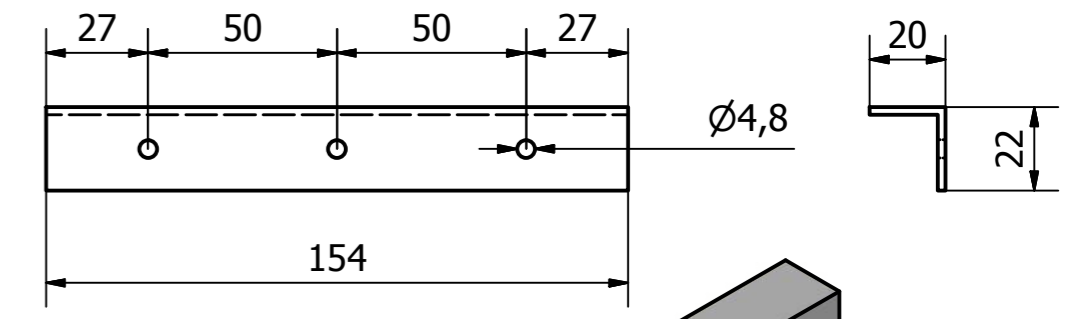
**PLANTA PZ 4  
ACERO AISI 304  
e= 2 mm**



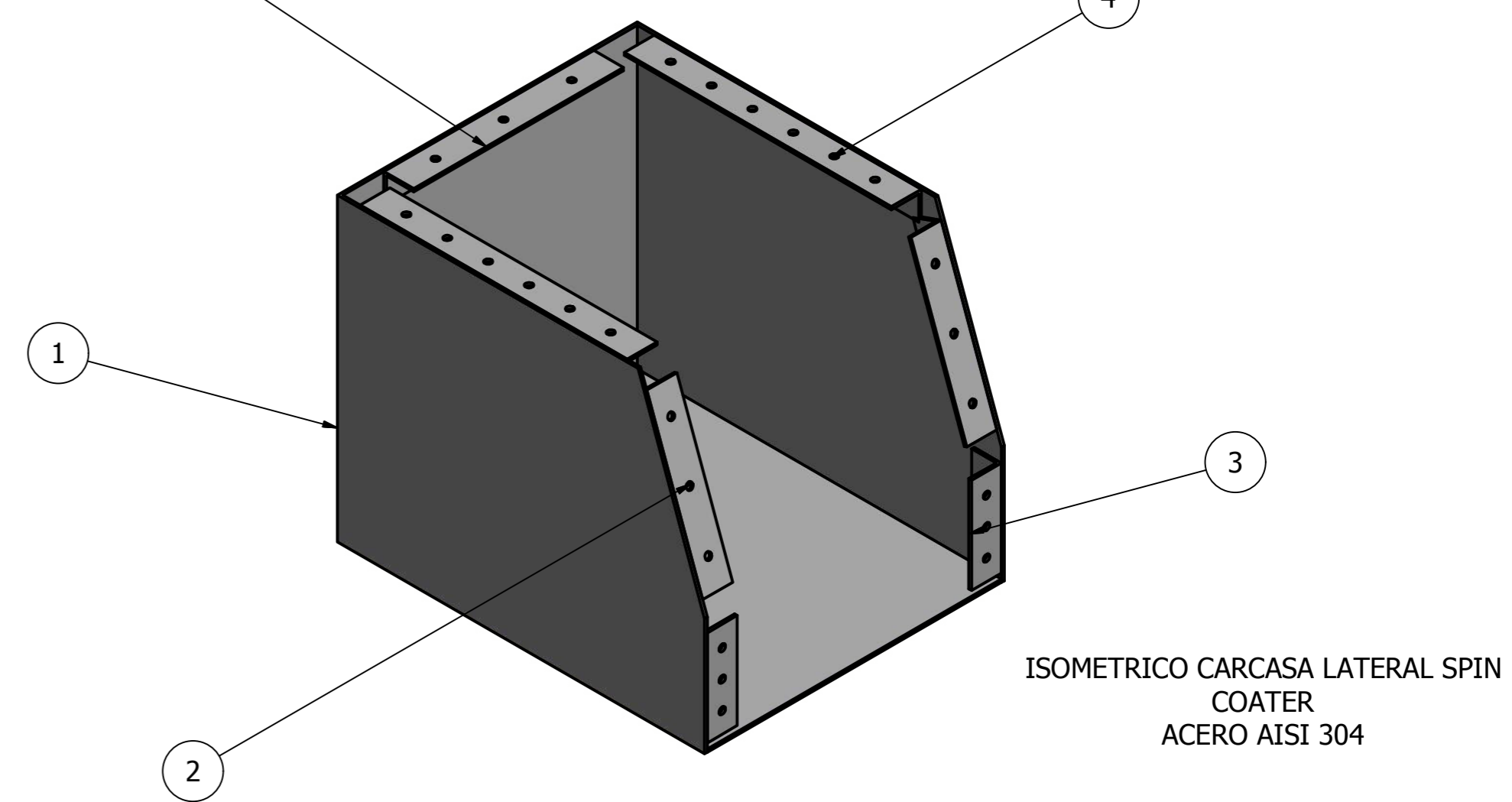
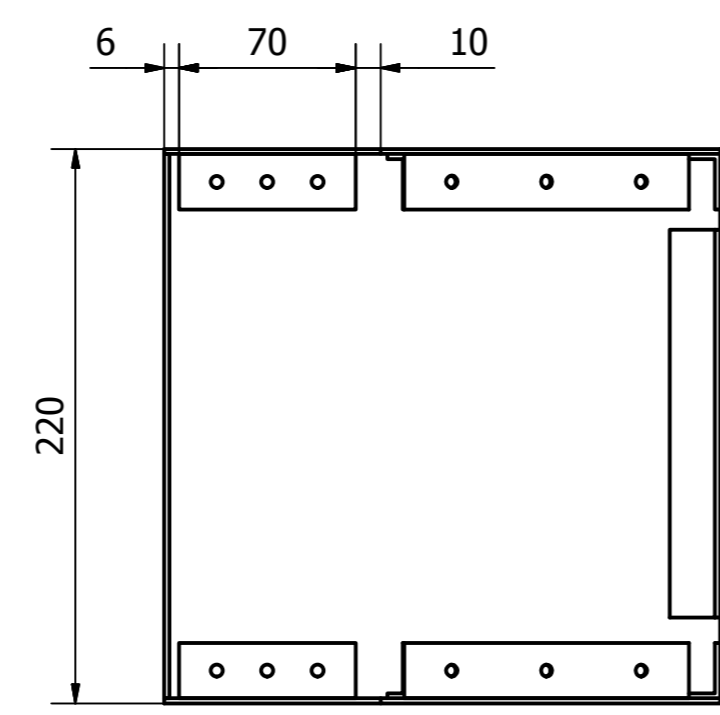
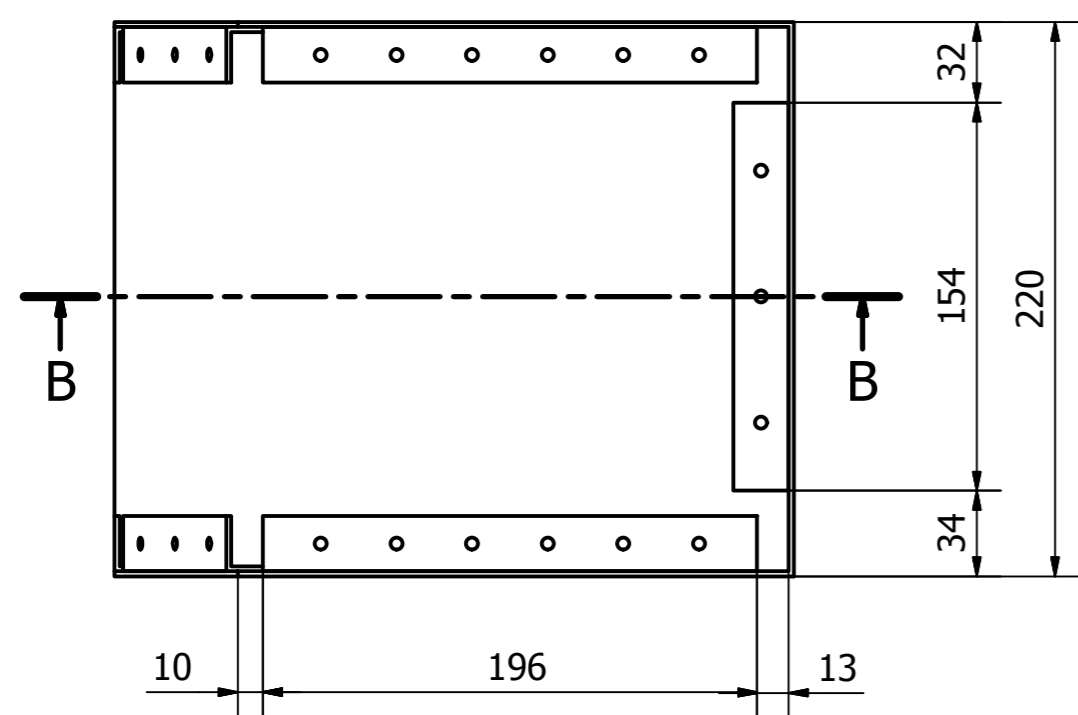
**PLANTA PZ 3  
ACERO AISI 304  
e= 2 mm**



**PLANTA PZ 5  
ACERO AISI 304  
e= 2 mm**



**PLANTA PZ 1  
ACERO AISI 304  
e= 2 mm**



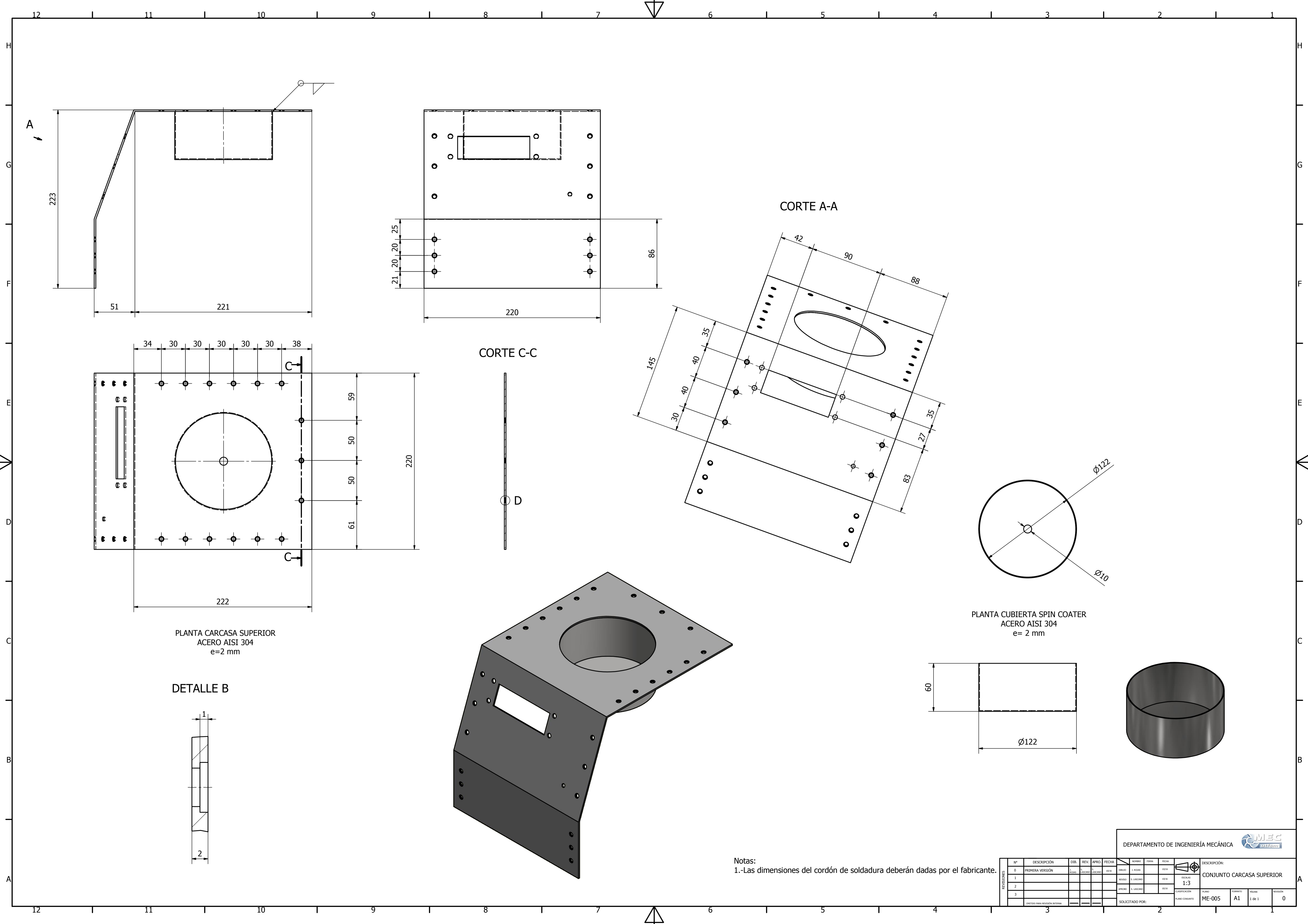
**ISOMETRICO CARCASA LATERAL SPIN COATER  
ACERO AISI 304**

**Notas:**  
1.-Las dimensiones del cordón de soldadura quedarán a criterio del fabricante.  
2.-Se deberán realizar soldaduras en cada pestaña.

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA									
REVISIONES	Nº	DESCRIPCIÓN	DIB.	REV.	APRO.	FECHA	NOMBRE	FIRMA	FECHA
	0	PRIMERA VERSIÓN					10/16		
1									
2									
3									

SOLICITADO POR:		DESCRIPCIÓN: <b>CONJUNTO CARCASA LATERAL PESTAÑAS</b>	
CLASIFICACIÓN PLANO CONJUNTO	PLANO ME-004	FORMATO A1	PÁGINA 1 de 1
		REVISOR	0



PLANTA CARCASA SUPERIOR  
ACERO AISI 304  
e=2 mm

DETALLE B

CORTE A-A

CORTE C-C

PLANTA CUBIERTA SPIN COATER  
ACERO AISI 304  
e= 2 mm

Notas:  
1.-Las dimensiones del cordón de soldadura deberán dadas por el fabricante.

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA									
REVISIONES		DISEÑO		APROBACIÓN		FECHA		DESCRIPCIÓN	
Nº	DESCRIPCIÓN	DISEÑO	REVISIÓN	APROBACIÓN	FECHA	NOMBRE	TIPO	FECHA	DESCRIPCIÓN
0	PRIMERA VERSIÓN	---	---	---	---	---	---	---	CONJUNTO CARCASA SUPERIOR
1	---	---	---	---	---	---	---	---	---
2	---	---	---	---	---	---	---	---	---
3	---	---	---	---	---	---	---	---	---
AUTORIZADO PARA RECEPCIÓN INTERNA		---		---		SOLICITADO POR:		---	
---		---		---		---		---	

ESCALA	1:3
PLANO	ME-005
PROYECTO	A1
PÁGINA	1 de 1
REVISIÓN	0