

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA
MARÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA
SANTIAGO – CHILE



“DISEÑO DE UN CONTENEDOR PARA REALIZAR ENSAYOS
MECÁNICOS EN AMBIENTES FISIOLÓGICOS CON
TEMPERATURA CONTROLADA”

LEONARDO DANIEL DELGADO ROJAS

MEMORIA DE TITULACIÓN PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

INGENIERO CIVIL MECÁNICO

PROFESOR GUÍA: DR. ING. SHEILA LASCANO FARAK

PROFESOR CO-REFERENTE: DR. ING. LUIS PÉREZ POZO

ENERO 2016

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA
MARÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA
SANTIAGO – CHILE



“DISEÑO DE UN CONTENEDOR PARA REALIZAR ENSAYOS
MECÁNICOS EN AMBIENTES FISIOLÓGICOS CON
TEMPERATURA CONTROLADA”

LEONARDO DANIEL DELGADO ROJAS

MEMORIA DE TITULACIÓN PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

INGENIERO CIVIL MECÁNICO

PROFESOR GUÍA: DR. ING. SHEILA LASCANO FARAK

PROFESOR CO-REFERENTE: DR. ING. LUIS PÉREZ POZO

ENERO 2016

Agradecimientos

Agradezco en primer lugar a mi Padre, a mi Madre, a mi Hermana y a Catalina que a pesar de ser como soy, siempre han estado a mi lado, siempre me han querido y sé que nunca me dejarán.

Agradezco a mis compañeros, que gracias a su ayuda logre llegar a donde estoy. Sin su ayuda, nunca hubiera podido llegar a estas instancias.

Y agradezco a la Universidad y a sus docentes, en especial al departamento de Ingeniería Civil Mecánica que, gracias a la dedicación de ellos y su apoyo, logré mejorar en todos los ámbitos de mi vida.

¿No sería terrible vivir rodeado de la descarnada y cruda vacuidad de las cosas que, sencillamente, servían para algo?

Patrick Rothfuss, *La música del silencio*

Resumen

El presente trabajo tiene como objetivo diseñar un contenedor para realizar ensayos de tracción y compresión in-vitro, en particular a bio-materiales. Este contenedor permitirá obtener y evaluar propiedades cuantitativas y cualitativas de los materiales en las condiciones adversas en donde se utilizarán, ya sean ambientes salinos, corrosivo y/o temperaturas no ambientales.

La metodología utilizada en el proceso de diseño conceptual es la propuesta por George Dieter en su libro Engineering Design [3]. En primera instancia se evalúa el problema como atributos categorizados en objetivos, restricciones y funciones, para luego generar conceptos del producto. Se realizan tres conceptos, cada uno con un enfoque distinto y posteriormente se realiza una selección basada en los atributos con el método de pesos ponderados. En este proceso se utilizaron herramientas como cartas morfológicas y cajas negra/transparente.

Luego de seleccionado el concepto del diseño, se selecciona la arquitectura de éste para posteriormente evaluar y concretar componentes principales y determinar la función que cada uno de estos desempeñará.

En la fase de diseño detallado se seleccionaron componentes definitivos, para así determinar las características y limitaciones finales del diseño. Se realizan los planos y una evaluación del diseño respecto a los atributos determinados en el diseño conceptual.

Para finalizar, se realizó una cotización estimada de los componentes del diseño y se contrarrestó con una cotización solicitada a una empresa manufacturera.

Abstract

This paper aims to design a container for perform test tensile and compression in-vitro, in particular bio-material. This container will allow to obtain and evaluate properties, both qualitative and qualitative, of materials in adverse conditions where they will be used, either whether saline, corrosive and/or high (or low) temperature

The methodology used in the process of conceptual design is the proposed by George Dieter Engineering Design in his book [3]. In the first instance, the problem is evaluated as categorized in objectives, functions and attributes restrictions, and then generate product concepts. three concepts are made, each with a different approach and then They are selected based on attributes with the method "weighted pesos". In this process, was used tools like as morphological letters and black / transparent boxes.

After selecting the design concept, architecture that will be used, to evaluate and define main components and determine the function that each one, is selected.

In the detailed design phase, final components were selected to determine the characteristics and final design limitations. Was made the drawings and a evaluation of design, considering the characteristics determined in design concept phase

Finally, was made a request for quotation for the components to manufacturing company and countered with an estimated of the cost

Índice

Introducción	1
Objetivos	2
Capítulo 1: Marco Teórico	3
1.1 Diseño Conceptual	3
1.1.1 Definición del problema	4
1.1.2 Búsqueda de información	5
1.1.3 Generación concepto.....	6
1.1.4 Selección de concepto.....	6
1.2 Realización del diseño	7
1.2.1 Arquitectura del producto	8
1.2.2 Configuración del diseño	8
1.2.3 Diseño paramétrico	10
1.3 Diseño al detalle	11
1.4 Ensayos in-vitro.....	11
1.4.1 Fluidos fisiológicos simulados (SBF).....	12
1.5 Ensayos de tracción y compresión	14
Capítulo 2: Diseño conceptual	17
2.1 Contexto y definición del problema	17
2.2 Definición del problema en términos de ingeniería	18
2.2.1 Atributos del diseño	19
2.2.2 Clasificación de los atributos	20
2.2.3 Categorización de los atributos.....	22
2.2.4 Ponderación de los objetivos	24
2.2.5 Listado de atributos argumentados	25
2.3 Análisis funcional.....	26
2.3.1 Análisis interno	27
2.3.2 Análisis externo	28
2.4 Generación de conceptos.....	31

2.4.1 Alternativas propuestas.....	31
2.4.2 Carta morfológica	36
2.4.3 Conceptos.....	38
2.4.4 Selección de conceptos	41
Capítulo 3: Diseño básico	43
3.1 Arquitectura del diseño	43
3.1.1 Diagrama esquemático del sistema.....	43
3.2 Configuración del diseño.....	46
3.2.1 Acople mordaza superior	47
3.2.2 Acople mordaza inferior	48
3.2.3 Sellos.....	50
3.2.4 Bomba y tanque	51
3.2.5 Regulación de temperatura	52
3.2.2 Tamaño de probeta.....	52
Capítulo 4: Diseño detallado.....	53
4.1 Contenedor	53
4.2 Controlador de temperatura.....	62
4.3 Bomba recirculadora	64
Capítulo 5: Diseño final, Costo y montaje	66
5.1 Presentación del diseño final	66
5.2 Costo.....	76
5.3 Montaje y desmontaje.....	77
Capítulo 6: Conclusiones	79
Referencias	80
Anexos	83
A. Máquina de ensayos generales Zwick Roell Z100	83
B. Ponderación de los objetivos del diseño por categoría.....	86
C. Equipo Zwick Roell médico para ensayos in vitro	88
D. Equipo Instron para ensayos médicos a temperatura corporal	90
E. Características prensaestopa de glándula.....	90

F. Cotización de contenedor	92
G. Parámetros y modelo del ensayo MEF	93

Índice de Tablas

Tabla 1-1: Resumen de los problemas críticos del diseño y los factores asociados. ..	10
Tabla 1-2: Concentraciones de los distintos iones del plasma sanguíneo en distintos tipos de SFB.	13
Tabla 2-1: Clasificación de los atributos según el tipo de influencia en el diseño	21
Tabla 2-2: Categorización de los objetivos del diseño.....	23
Tabla 2-3: Proceso de jerarquía para las categorías de los atributos.....	24
Tabla 2-4: Listado de objetivos con ponderación absoluta.....	25
Tabla 2-5. Listado de atributos argumentados. La letra F representa funciones y R representa restricciones.	26
Tabla 2-6: Carta morfológica.....	37
Tabla 2-7: Selección de conceptos, utilizando el método de pesos ponderados empleando los objetivos de diseño como criterio de selección. La evaluación de cada objetivo es según la capacidad de realizar el objetivo. Mal: 1, Medio: 3, Bien: 5. De ser necesario se utilizarán valores numéricos intermedios.	41
Tabla 4-1: Resultados del cálculo de precarga para configuraciones de 12 y 18 pernos M8x1,25	56
Tabla 4-2 Presión de trabaja a la cual la pared del contenedor alcanza el limite elástico y el 60% de este. Valores obtenidos mediante método de elementos finitos	57
Tabla 4-3. Características generales de contenedor diseñado. No considera pernos ni elementos de sello.	61
Tabla 5-1. Evaluación del diseño final en función de los atributos del diseño mediante pesos ponderados.	74
Tabla 5-2. Detalle del precio estimado del contenedor según material. Costo de mano de obra incluido en el costo de material.....	76
Tabla 5-3. Costo total del diseño, considerando materiales y mano de obra. Las fuentes de los costos son cotizaciones o casas comerciales.....	77
Tabla A-1: Resumen de los datos técnicos y eléctricos de la máquina Zwick Roell Z100.	85
Tabla A-2. Ponderación para la categoría Seguridad, donde los criterios son: (1) Seguro para la máquina Zwick Roell Z100, (2) Evitar uniones propensas a	

atrapamientos, (3) Seguro para el usuario, (4) Resistente a líquidos salinos, (5) Desmontaje sencillo y (6) Fácil de operar.....	87
Tabla A-3. Ponderación para la categoría prestación, donde los criterios son: (1) Controlar la temperatura de los ensayos, (2) Ensayos visibles, (3) permitir variabilidad de los tamaños de probetas y (4) Repuestos de fácil adquisición.	87
Tabla A-4. Ponderación para la categoría prestación, donde los criterios son: (1) Acoplable a la máquina Zwick Roell Z100, (2) Sistemas modificables, (3) No derramar líquidos al desmontar y (4) Mantenimiento fácil de realizar.	88
Tabla A-5. Ponderación para la categoría costo, donde los criterios son: (1) Bajo costo de materiales, (2) Bajo costo de manufactura y (3) Bajo costo de mantenimiento.	88
Tabla A-6. Atributos principales del equipo para ensayos in vitro de la empresa Zwick.....	89

Índice de Figuras

Figura 1-1. Representación del mapa de ruta del diseño. Fuente: Engineering Design. G. Dieter. 4ta ed. 2009, p. 19.	4
Figura 1-2: Representación de las distintas alternativas para la conexión entre dos piezas. Fuente: Y. Hatamura, The practice of Machine Desing, Oxford. University Press, Oxford, UK, 1990, p.78.....	9
Figura 2-1. Modelo funcional caja negra	27
Figura 2-2. Modelo funcional caja transparente	28
Figura 2-3. Comparación del producto a diseñar con dos productos de funcionalidad equivalente	30
Figura 2-4: Concepto 1, ilustrando un diseño que toma en consideración lo óptimo para el ensayo.....	38
Figura 2-5: Concepto 2, ilustrando un diseño considerando un sistema modular para la mayor parte de sus componentes.....	39
Figura 2-6: Concepto 3, ilustrando un diseño compacto y adaptable a las mayores circunstancias posibles.....	40
Figura 3-1: Diagrama de componentes y funciones de la arquitectura del diseño.....	44
Figura 3-2: Esquema propuesto que representa la distribución de los módulos en el contenedor para ensayos in-vitro.	45
Figura 3-3: Planos representativos del sistema de acople superior de la máquina Zwick Roell Z100	47
Figura 3-4: Representación CAD y planos del acople inferior que permite utilizar dispositivos sobre la mordaza inferior.	48
Figura 3-5: Representación CAD y planos del disco de acople para montar dispositivos en la máquina Zwick.....	49
Figura 3-6: Representación del montaje y la disposición de las piezas involucradas.	50
Figura 3-7: o-rings comerciales y diámetros con los cuales se dimensionan.	51
Figura 4-1. Modelos preliminares del esqueleto y las bases de las paredes del contenedor.....	54
Figura 4-2. Esfuerzos de Von Misses en una pared del contenedor sometido a una presión de 5,6 [bar] mediante método MEF.....	56
Figura 4-3. Esquema de soldadura tipo filete (izquierda) y tipo ranura (derecha)	57

Figura 4-4. Distintas paredes del contenedor. La pared de la izquierda tiene como función solo retener el líquido (se utilizarán 3 de estas). La pared de la derecha tiene como función contener el líquido además de generar opciones para realizar las conexiones.....	59
Figura 4-5. Representación 3D de la base del contenedor y el plano del perfil de esté.	60
Figura 4-6. (a) Contenedor con las 4 paredes de acrílico montadas. (b) contenedor con dos paredes montadas. (c) contenedor sin las paredes montadas.....	60
Figura 4-7. Imagen del controlador de temperatura utilizado en el montaje del contenedor.	62
Figura 4-8. Esquema del circuito con el que se monta el termostato, el equipo calentador/enfriador y el sensor.	63
Figura 4-9. Bomba sumergible Comet Elegant de 18W para recircular el fluido de ensayo.....	64
Figura 5-1. Esquema del circuito eléctrico utilizado para controlar la temperatura y para recircular el fluido.	66
Figura 5-2. Modelo final de contenedor, con las paredes y la resistencia instaladas..	67
Figura 5-3. Parte lateral del contenedor, donde se realizan las conexiones con la resistencia (1) y la salida de líquido (2). Además se encuentra la válvula de descarga (3).	68
Figura 5-4. Ejemplo de los planos del contenedor.....	68
Figura 5-5. Ejemplo de los planos del contenedor.....	69
Figura A-1. Resumen de las partes de la máquina de ensayos Zwick Roell Z100. ...	83
Figura A-2. Dimensiones de trabajo y generales de la máquina Zwick Roell Z100. .	84
Figura A-3. Dispositivo de la línea médica Zwick para ensayos in vitro, con control de líquidos y temperatura.	89
Figura A-4. Dispositivo de la línea medica de Instron para ensayos medicinales.	90
Figura A-5. Desglose de las piezas de una prensa estopa tipo.....	91
Figura A-6. Esquema de instalación y funcionamiento de una prensa estopa IP 68 ..	91
Figura A-7. Dimensiones de prensas estopas tipo IP 68 según norma ISO.....	92
Figura A-8: Cara de la pared del contenedor donde se aplica la carga.	94
Figura A-9: Cara de la base del contenedor donde se aplica la carga.	94
Figura A-10: Restricción de movimiento en la arista de la base del contenedor.....	95

Figura A-11: malla utilizada en la simulación de carga para el contenedor.	95
Figura A-12: Esfuerzos en la base del contenedor.....	96
Figura A-13: Esfuerzos sobre una de las paredes del contenedor.....	97

Introducción

El estudio del comportamiento de los biomateriales es un campo de un interés científico. La modelación de su desempeño bajo diferentes condiciones de carga es un aspecto importante en el diseño y desarrollo de nuevos materiales. En general, los biomateriales son ensayados mecánicamente mediante ensayos convencionales. No obstante, el interior del cuerpo humano es un ambiente agresivo, y el comportamiento de estos se ve influenciado por las condiciones de carga y ambiente. Los ensayos mecánicos in-vitro permiten estimar la usabilidad de un biomaterial en condijos e similares a las in-vivo, antes de iniciar una investigación clínica la cual consume muchos recursos. En la actualidad, existen varios dispositivos para ensayos mecánicos in-vitro, no obstante, son empleados para cierto tipo de muestras estándar y se basan en la característica particular de cada requerimiento lo cual incrementa su costo. Este trabajo de titulación está enfocado en el diseño de un dispositivo que sea acoplable a una máquina de ensayos universal Zwick de 10 Ton y que pueda ser adaptado a distintas pruebas que simulan distintas condiciones de carga en el laboratorio de resistencia de materiales de la USM, con tal de caracterizar el comportamiento de materiales metálicos como titanio, acero inoxidable, y algunos cerámicos y polímeros.

En la actualidad los ensayos se realizan en condiciones ambiente. Para la obtención de mejores datos se diseñará un contenedor para la máquina de ensayo Zwick Roell Z100 ubicada en el laboratorio de tecnología mecánica de Campus San Joaquín, de forma tal que permita el ensayo in-vitro de materiales sometidos a temperatura corporal rodeados de plasma humano sintético durante periodos de tiempo.

Zwick Roell en su línea de productos de máquinas de ensayos y sistemas para la industria médica posee un dispositivo para ensayar materiales en temperatura y ambiente controlado. Este dispositivo es costoso y no es posible modificarlo según las necesidades. Este es el motivo por el cual se diseñará un producto que acoja las necesidades específicas del grupo de investigación y que puede ser fabricarlo a bajo costo.

Objetivos

Este trabajo se realiza con el objetivo de poder realizar, en la máquina de ensayos generales Zwick Roell Z100, ensayos en ambientes agresivos y con temperatura controlada, en especial, realizar ensayos a biomateriales en ambientes fisiológicos. El objetivo general es realizar el diseño conceptual y detallado de un contenedor para ensayos in-vitro. Los objetivos específicos son:

1. Definir y evaluar el problema en términos de objetivos, restricciones y funciones
2. Generar y seleccionar conceptos con base de los requerimientos del cliente y la búsqueda e información
3. Revisar los conceptos en detalle y seleccionar componentes
4. Realizar el diseño detallado del sistema y de los componentes
5. Presentar planos de detalle y costo de fabricación

Capítulo 1: Marco Teórico

El marco teórico se divide en tres temas esencialmente. El primero comprende todo el proceso de diseño, compuesto por diseño conceptual, realización del diseño y diseño detallado. El segundo tema a abordar son los ensayos in vitro, dando énfasis a los fluidos fisiológicos simulados. El tercer y último tema es un resumen de los ensayos de tracción y compresión que se realizan en los laboratorios y los resultados obtenidos de estos.

1.1 Diseño Conceptual

El diseño conceptual es el primer paso del proceso de diseño y en este se debe lograr claridad sobre el problema a resolver. Para ello se analizan las necesidades del cliente, las cuales se traducen en los atributos del diseño y, en forma de funciones y características a solventar. Luego se establecen los requerimientos técnicos y se procede a la recolección de información, mediante el estudio de patentes, el análisis de la competencia, entrevistas a expertos, entre otros. Posteriormente se inicia la generación de ideas en base a la información recolectada y a las ideas de los miembros del equipo diseñador.

Se debe entender este proceso como un sistema de constante evaluación y corrección, es decir, una vez terminado el diseño conceptual éste debe ser evaluado nuevamente para lograr al final de este proceso tener un concepto claro y bien definido del producto a diseñar.

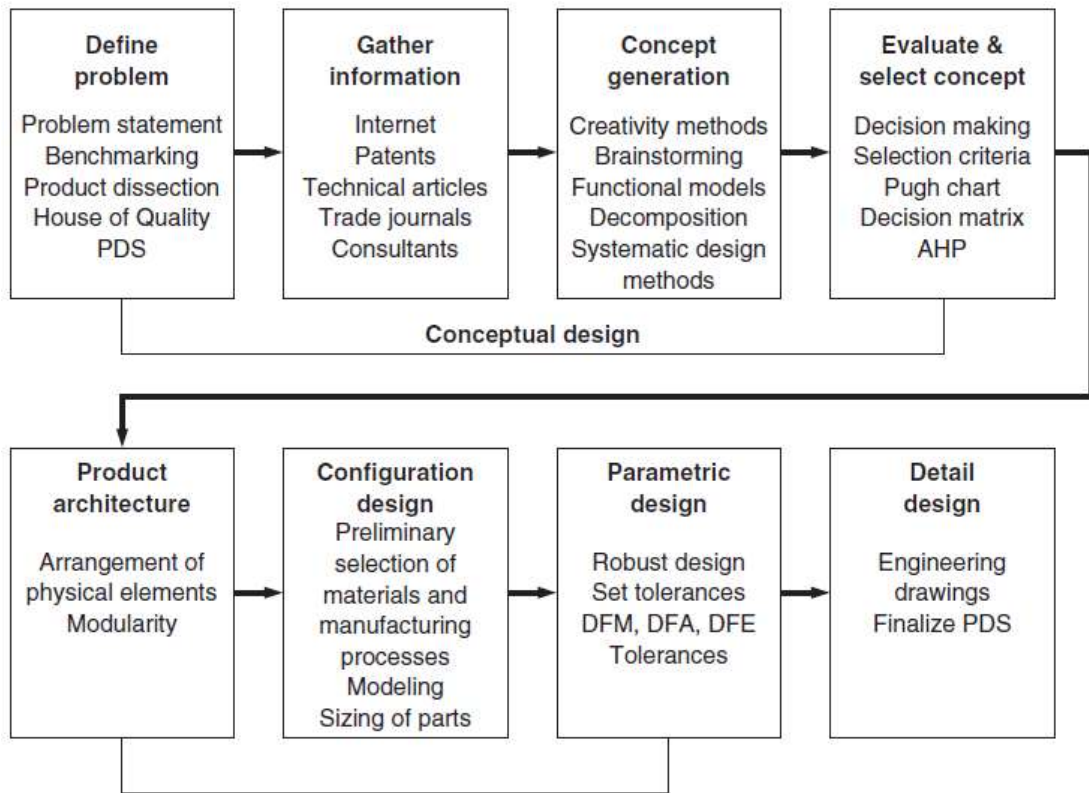


Figura 1-1. Representación del mapa de ruta del diseño. Fuente: Engineering Design. G. Dieter. 4ta ed. 2009, p. 19.

1.1.1 Definición del problema

El primer paso en el diseño conceptual es la definición del problema, esta debe ser establecida sobre las necesidades que el producto debe solventar. El primer acercamiento sobre el problema es la declaración del cliente. Esta declaración o problemática debe ser traducida en forma de objetivos, restricciones y funciones para obtener las características que deberá poseer el producto.

Los requerimientos del producto que informa el cliente se deben entender correctamente para tomar decisiones sobre las características del diseño, por esto se deben clasificar según el nivel de influencia sobre el cliente. El diagrama de Kano [1]

es una herramienta que permite visualizar el nivel de estos requerimientos clasificándolos en cuatro categorías:

- Características esperadas: aquellos atributos básicos que debe poseer el producto a diseñar
- Características solicitadas: las características específicas que el cliente necesita que el diseño contenga. Estas deben ser presentadas en forma de atributos
- Características no solicitadas: los atributos no especificados por el cliente que son, sin embargo, muy valorados.
- Especiales: características que, si bien no son requerimientos directo, logran que el producto sea diferente a la competencia y considerados únicos.

Para realizar un análisis completo sobre las necesidades del cliente, se deben organizar y dar ponderación a los objetivos, restricciones y funciones agrupándolos según criterios de similitud. Por ello, es importante contextualizar el producto de acuerdo a cada cliente. Con la información obtenida y ponderando los criterios se tomarán futuras decisiones sobre que priorizar en el diseño.

1.1.2 Búsqueda de información

La búsqueda de información se debe realizar por los medios clásicos entre los que destacan: búsqueda de patentes, artículos de investigación, consultoras y competencia comercial.

En la búsqueda de información se genera una parte del input para la realización de conceptos, la cual será la base del diseño y por esto la información siempre debe ser contextualizada, categorizada, analizada y verificada con fin de no tener un exceso de información poco relevante o errónea.

La búsqueda de información se divide en dos etapas secuenciales:

- La búsqueda externa: que consiste en recopilar ideas a través de la búsqueda de información en diferentes medios, tales como patentes, artículos de

investigación, publicaciones seriadas, consultoras, competencia, artículos del gobierno, artículos de la industria y competencia comercial.

- La búsqueda interna: en esta etapa, el equipo de diseño tiene suficientes herramientas para proponer soluciones. El objetivo de esta etapa es proponer distintas alternativas para resolver los problemas del diseño.

1.1.3 Generación concepto

El concepto del diseño es la concepción de la idea que originará las bases para el diseño final, es el vínculo temático entre las funciones y el diseño. La mayor dificultad en el proceso de generación de concepto son las barreras del pensamiento creativo, estos son bloqueos mentales que impiden concebir las distintas alternativas. Existen diversos métodos que mejoran el proceso de generación de conceptos y contrarrestan los bloqueos, en específico promueven las habilidades de reconocer el problema, de producir un gran número de alternativas para solucionar el problema, de tener distintos focos para el mismo problema y de producir soluciones originales.

Los principales métodos para generar conceptos son el Brainstorming, el método de Delphi y los gráficos morfológicos. Estas técnicas de pensamiento son clásicas e intuitivas. Existen otras técnicas más directas que tienen estructura lógica y sistemática para la generación de conceptos, de los cuales destacan las técnicas SCAMPER, TRIZ y diseño axiomático [3].

1.1.4 Selección de concepto

Para la generación de conceptos existen variadas técnicas y métodos ya mencionados, de estos se crean varias alternativas para el diseño final. Sin embargo, abordar todos los conceptos generados daría como resultado un diseño final caótico y difícil de concebir, por esto se requiere tener criterios para seleccionar un concepto sobre otro. Los pasos de este proceso de selección son: evaluar, comparar y seleccionar. La herramienta árbol de decisión suele dar buenos resultados para este proceso,

también se suelen utilizar métodos intuitivos o matrices de decisión. Estos últimos, permiten guiar al diseñador en la selección de conceptos, tomando como criterio de selección, los objetivos de diseño con sus pesos ponderados.

Si se realizó, en la definición del problema, los criterios de importancia y sus respectivos ponderadores, se recomienda utilizarlos en la selección de conceptos. En este grupo se encuentran la técnica de matriz de selección de Pugh y el método de pesos ponderados. En la matriz de Pugh se usa un concepto DATUM, el cual se emplea para comparar los conceptos propuestos con una solución ideal. En el caso del método de pesos ponderados se usa una matriz con los criterios de importancia ya analizados con sus respectivos pesos. Luego a cada una de las alternativas de conceptos se les da una nota de estos criterios y luego mediante evaluación acumulada de pesos se selecciona la mejor alternativa para el cliente.

1.2 Realización del diseño

Es la segunda fase del proceso de diseño y se debe lograr tener claridad sobre las piezas, los subconjuntos y condiciones especiales. Se debe evaluar el diseño entorno a funcionalidad, seguridad y costos involucrados.

En esta fase se toman decisiones sobre uniones entre elementos y conjuntos. Se deben establecer las piezas especiales que tendrá el diseño y determinar si estas son capaces de sustentar las funciones cuando el diseño este activo.

Los tres subprocesos que se explican a continuación se deben entender como un gran proceso cíclico, es decir, que se realiza el diseño considerando arquitectura, configuración y datos específicos simultáneamente y este se debe evaluar y modificar de ser necesario.

1.2.1 Arquitectura del producto

El diseño conceptual debe ser la base para comenzar esta etapa, donde se deben determinar y organizar los elementos físicos del diseño y sus respectivas funciones.

La arquitectura basada en módulos organiza las piezas en subconjuntos de tal forma que cada módulo sea capaz de solventar una función en específico, esto facilita el diseño en los pasos posteriores ya que trata partes del diseño por separado y genera facilidad al entendimiento del producto para el usuario. Estos módulos deben realizar solo una o pocas funciones y deben ser definidas las relaciones entre distintos módulos.

La arquitectura integral reduce el número de componentes en comparación a la arquitectura de módulos. Un subconjunto es encargado de realizar varias o todas las funciones. Uno de los aspectos positivos de este tipo de arquitectura es el reducido volumen del diseño final y que en general tiene un costo inferior al diseño por módulos. Los aspectos negativos son el entendimiento del producto por parte del usuario, los riesgos de falla de todas las funciones simultáneamente y la poca accesibilidad a modificaciones y a mantenimientos.

En la arquitectura modular se debe tener especial atención en las interfaces de módulos, aquí es donde se producen la mayoría de los problemas de diseño tales como concentradores de esfuerzo, filtros de líquido y exceso de vibración entre piezas [3].

1.2.2 Configuración del diseño

En esta fase se establecen la forma y las dimensiones generales de los componentes. Además, se establecen las piezas con propósitos especiales y se seleccionan los componentes estándar, tales como bombas o motores. En general, no es posible tomar estas decisiones sin considerar los materiales y los procesos de manufactura asociados, por este motivo en esta etapa es importante lograr definir con claridad los elementos a utilizar y la implicancia de estos en el diseño.

En esta fase se deben tener en cuenta las posibles formas de utilizar el producto, evitando riesgos en el mal uso, tales como atrapamiento de dedos entre interfaces de módulos o espacios riesgosos para el personal. También se debe cuidar las funciones críticas del producto, de forma que errores en el uso o mantenimientos programados causen la menor cantidad de efectos negativos en estas funciones.

Para realizar una configuración óptima es necesario entender que un diseño complejo no es sinónimo de bueno, y que modelos simples, fáciles de entender y de reproducir suelen ser mejores. Es necesario también tener claridad de las funciones y siempre considerar el factor seguridad en la toma de decisiones.

En el proceso de ensamblaje dentro del módulo y entre módulos es importante tener en cuenta las distintas alternativas posibles para evitar riesgos y problemas ya mencionados, la Figura 1-2 da un ejemplo de distintas alternativas al generar conexión entre piezas.

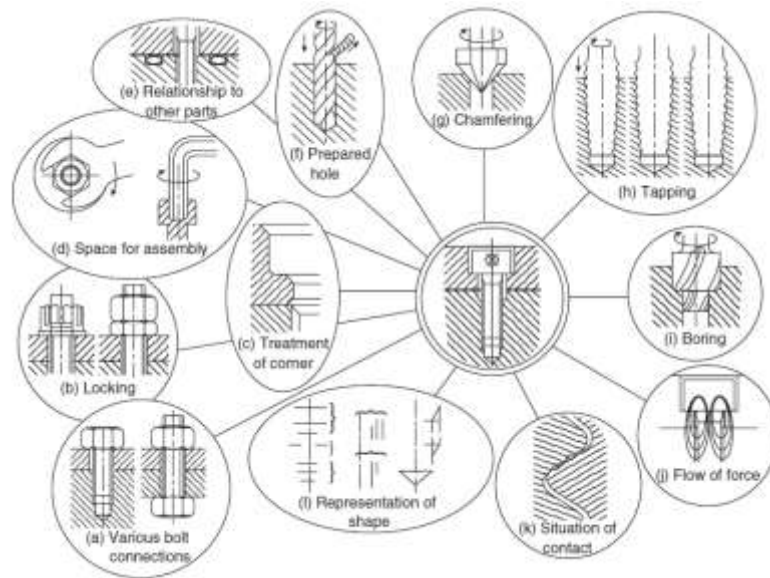


Figura 1-2: Representación de las distintas alternativas para la conexión entre dos piezas. Fuente: Y. Hatamura, The practice of Machine Desing, Oxford. University Press, Oxford, UK, 1990, p.78

Es importante evaluar y analizar la configuración del diseño en función de las cargas y otros factores a los que estarán expuestos, este proceso debe ser retroalimentado por los miembros de trabajo o pares con conocimiento del área para evitar los problemas típicos del diseño. La Tabla 1-1 muestra un resumen de la lista donde se muestran los factores y los problemas asociados que se deben tener en cuenta.

Tabla 1-1: Resumen de los problemas críticos del diseño y los factores asociados.
Fuente: George E. Dieter, Engineering Design, 4ta ed., 2009, p.314

Factor	problema
Fuerza	¿El componente puede soportar las tensiones cumpliendo con el rendimiento?
Fatiga	Si el componente es sometido a cargas cíclicas, ¿puede mantenerse bajo los límites de fatiga?
Concentración de esfuerzo	¿El componente puede soportar las tensiones concentradas localmente?
Deformación térmica	¿Una expansión térmica compromete la funcionalidad? ¿Puede esto ser controlado por el diseño?
Vibración	¿Ha sido diseñado considerando mantener las vibraciones al mínimo?
Eficiencia energética	¿Se ha considerado en el diseño el consumo y la eficiencia?
Seguridad	¿El diseño va más allá de las normas de seguridad para prevenir accidentes?

1.2.3 Diseño paramétrico

En el diseño paramétrico se le atribuye a componentes específicos valores con los cuales se pueden establecer y concretar partes del diseño que están bajo el control del diseñador. En general se piensa que estas variables solo corresponden a

dimensiones y tolerancias, pero pueden ser también elecciones de material, la calidad superficial y tratamientos térmicos.

El objetivo del diseño paramétrico es establecer numéricamente a las variables paramétricas, para realizar el producto optimizando el rendimiento y los costos.

1.3 Diseño al detalle

Diseño detallado o al detalle es el último paso del proceso de diseño, y en este se deben presentar las decisiones finales de etapas previas además de incluir todos los detalles sobre las piezas y los módulos del diseño. Se deben crear documentos de ingeniería tales como planos de componentes, planos de conjuntos y diagramas necesarios.

Con la información procedente del diseño detallado se debe solventar todo lo necesario para la fabricación, por este motivo es importante presentar en planos de ingeniería la lista completa de materiales. Un buen mecanismo para esto es generar estas listas para cada módulo y señalar la dependencia de los módulos con el diseño final.

Todas las tareas para lograr el diseño final son incluidas en el diseño al detalle, tales como memoria de cálculo, verificación del prototipo en programas CAD¹, estimación del costo final y datos de los procesos de manufactura. Se debe entender que este proceso es el que relacionará el diseño con los fabricantes, y para facilitar la comprensión de la información es importante revisar la claridad de esta información.

1.4 Ensayos in-vitro

Los ensayos mecánicos clásicos como ensayos de tracción, compresión y fatiga se realizan en laboratorio bajo condición ambiente, lo cual en general es correcto pues

¹ CAD son las siglas inglesas para diseño asistido por computadora. Estos programas son herramientas de diseño 2D y modelado 3D. También tienen la capacidad de generar pruebas mecánicas, eléctricas y térmicas.

estos materiales trabajarán en estas condiciones. Sin embargo, la necesidad de caracteriza distintos biomateriales y tejidos que trabajaran en ambientes agresivos, como lo es el interior del cuerpo humano y que además estarán sometidos a cargas genera la necesidad de realizar ensayos mecánicos in-vitro, esto es simulando las condiciones del ambiente al interior del cuerpo humano.

Los ensayos in vitro tienen distintas finalidades dependiendo del motivo de la investigación, son de especial interés los ensayos de compresión y tracción en fluidos fisiológicos simulados. En estos ensayos se busca caracterizar las propiedades mecánicas de elementos compuestos tales como espumas metálicas y compuestos de resina. Estos materiales son utilizados dentro del cuerpo humano por periodos de tiempo prolongados, por lo que interesa además de caracterizar los materiales ver su comportamiento frente a corrosión y a generación de sustancias propias del cuerpo humano.

Dada la composición de los fluidos fisiológicos simulados, estos suelen ser salinos y muy corrosivos, dañando al contacto los circuitos electrónicos y corroyendo los componentes no aptos, por esto, es de suma importancia mantenerlos al margen las partes que puedan ser dañadas de las máquinas de ensayos.

1.4.1 Fluidos fisiológicos simulados (SBF)

Los fluidos fisiológicos simulados se realizan con la intención de aproximar el ambiente al plasma de la sangre humana. Estos son utilizados en la realización de ensayos in vitro en los cuales se prueban biomateriales y se estudian la bioactividad y la interacción de estos en el cuerpo humano.

Entre los usos más comunes se encuentran ensayos odontológicos, ortodónticos y de implantología. En la actualidad también se realizan ensayos con SBF para observar la formación de apatita² [1],[4] y sustratos en biomateriales como cerámicos y titanio.

El plasma de la sangre humana contiene, en distintas concentraciones, iones de sodio e iones cloro, también posee otros iones en menores cantidades. Los SBF intentan generar un fluido que contenga estos iones para lograr las características del plasma, no obstante, existen diversas preparaciones de SBF. La preparación convencional presentado por Kokubo [5] y sus colegas, que actualmente es el más utilizado en los ensayos, para alcanzar un pH de 7.25 a los 36.5°C requiere la inclusión de 50mM de tris(hydroxymetil)aminometano y 45 mM de HCl aproximadamente.

El SBF propuesto por Kobuto, también llamado SBF convencional no es la única alternativa ya que existen otras preparaciones de SBF donde se modifican las concentraciones de iones. En la Tabla 1-2 se muestra la concentración total de iones en el plasma sanguíneo, la concentración de iones en el modelo convencional y las distintas configuraciones de fluidos fisiológicos simulados propuestos por Oyane y otros [6].

Tabla 1-2: Concentraciones de los distintos iones del plasma sanguíneo en distintos tipos de SFB.

Ion	Concentración [mM]				
	Plasma sanguíneo	Kokubo	r-SBF	i-SFB	m-SBF
Na⁺	142.0	142.0	142.0	142.0	142.0
K⁺	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
Mg²⁺	1.5	1.5	1.5	1.0	1.5
Ca²⁺	2.5	2.5	2.5	1.6	2.5
Cl⁻	103.0	147.8	103.0	103.0	103.0
HCO₃⁻	27.0	4.2	27.0	27.0	10.0
HPO₄²⁻	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0

² Apatita es un mineral de color predominante parduzco y verdoso cuya composición química aproximada es Ca₅(PO₄)₃(F, Cl, OH). De este mineral está compuesto el esmalte de los dientes y parte de los huesos. En los implantes del ser humano es necesario que se forma una capa de apatita.

Ion	Concentración [mM]				
	Plasma sanguíneo	Kokubo	r-SBF	i-SFB	m-SBF
SO_4^{2-}	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5

Uno de los problemas al utilizar SBF para ensayos es la poca durabilidad de estos. El SBF convencional tiene una caída de 5% de pH y concentraciones de iones en un periodo de 8 semanas.

Al momento de preparar un SBF se deben seguir una serie de pasos con tal de obtener un SBF con las concentraciones adecuadas y no contaminado.

- El primer paso es limpiar todos los recipientes con solución de ácido clorhídrico durante 3 a 4 horas, luego aplicar un agente esterilizante toda la noche y finalmente lavar con agua ultrapura³ los recipientes.
- El segundo paso es la disolución de los químicos, para esto en un vaso de polietileno de 1000ml agregar 750ml de agua ultrapura, luego elevar la temperatura a 36.5°C con un agitador magnético. Agregar cada concentración de químico, uno por uno después de que este disuelto totalmente, según el SBF que se desea. Agregar el buffer⁴ poco a poco para incrementar el pH. Se debe calibrar el pH del SBF hasta alcanzar un valor estable de 7.25 (o el requerido)
- El tercer paso es el almacenamiento, para esto se debe tener un recipiente de polietileno de 1000 [ml] y mantenerlo a 5-10°C

1.5 Ensayos de tracción y compresión

Los ensayos de tracción consisten en someter una probeta a una carga uniaxial, generada por la máquina de ensayos y transmitida por las mordazas utilizadas. Las

³ El agua ultrapura es un componente que solo contiene H₂O junto con iones de H⁺ y de H⁻ en equilibrio. Es un producto comercial utilizado principalmente en la industria de los semiconductores y en la industria farmacéutica.

⁴ Un buffer químico o solución amortiguadora es una solución con altas concentraciones de un ácido débil y una base conjugada que es utilizada para regular y normalizar el pH en disoluciones.

mordazas en ensayos de tracción varían según el material a trabajar y a la geometría de esté. Las máquinas para ensayar en tracción deben cumplir los requerimientos de la norma ASTM E4 [8].

Los ensayos de tracción proveen información sobre las fuerzas y ductibilidad bajo esfuerzos uniaxiales en tensión. De esta información se pueden obtener indicadores del material utilizados para comparar materiales, desarrollar aleaciones, controlar la calidad y diseñar bajo condiciones específicas.

En los ensayos de compresión, la probeta es sometida a una carga axial de creciente. Durante el ensayo se registra el incremento de carga y la deformación, luego se pueden determinar las propiedades del material.

Las propiedades cuantitativas que se pueden obtener durante el comportamiento elástico de los materiales son:

Módulo de Young: es la relación entre la tensión y la deformación unitaria en la dirección donde se aplica la fuerza. Esta es una constante que depende del material y se puede calcular de la forma

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{F/A}{\Delta L/L} = \frac{FL}{A\Delta L}$$

Coefficiente de Poisson: es la relación entre deformaciones unitarias en direcciones ortogonales, normalmente se relaciona la deformación longitudinal con la deformación transversal. En el análisis plano de materiales, se calcula de la forma

$$\nu = -\frac{\varepsilon_{transversal}}{\varepsilon_{longitudinal}}$$

De forma indirecta se pueden obtener otras constantes de los materiales, como el módulo de compresibilidad (K), módulo de rigidez (G) y los coeficientes de Lamé.

Estas propiedades son de interés en estructuras que son sometidas a compresión, cargas de flexión o ambas y en procesos de manufactura y fabricación en que se involucran grandes cargas provocando deformaciones como la forja y la laminación.

Las máquinas utilizadas en ensayos de compresión deben estar conforme con la norma ASTM E4. La superficie de los platos utilizados en el ensayo de compresión deben ser paralelos a lo largo del ensayo según lo indica el inciso 6 de la norma ASTM E9 [9].

De los datos obtenidos en ambos ensayos se pueden determinar el límite de elasticidad, el punto de fluencia, el módulo de Young, la curva esfuerzo-deformación y la fuerza compresiva. De estos datos, el más representativo en la curva esfuerzo-deformación de la cual se pueden concluir las propiedades del material y generar análisis de estos.

Capítulo 2: Diseño conceptual

Durante este capítulo se abordarán las primeras etapas del diseño, que contemplan la definición del problema y la generación de conceptos. En la primera parte de este capítulo se establecerá el contexto del problema y sus atributos, así como se analizan las funciones que debe solventar y las restricciones a respetar. La segunda parte del capítulo busca establecer el modelo en el cual se basará el diseño, su arquitectura y su modo de operar. La metodología a utilizar es la descrita en el Capítulo 1: Marco Teórico.

2.1 Contexto y definición del problema

Las propiedades mecánicas de los materiales dependen, entre otras condiciones, de la temperatura a la que se encuentran. Además, su resistencia puede ser afectada por el estado de corrosión del material, es por esto que cuando se diseña es necesario estudiar el ambiente al que estará expuesto el producto para poder elegir materiales acorde a las condiciones. En el ámbito de los biomateriales, estos se encuentran expuestos, normalmente, a 37°C y a condiciones muy corrosivas, es por esto que al momento de realizar ensayos de materiales como titanio (utilizado en prótesis) y aleaciones de mercurio con plata, estaño, cobre y zinc (utilizado en las restauraciones odontológicas) se deben realizar en un ambiente in-vitro, igualando condiciones como temperatura ambiental, condiciones corrosivas y erosivas.

Entre los ensayos que normalmente se realizan a biomateriales se encuentran ensayos de tracción y compresión. En el caso de tejidos biológicos, se utilizan ensayos de tracción, puesto que estos solo pueden desgarrarse por este tipo de esfuerzo. Los materiales para prótesis óseas normalmente se ensayan a compresión, ya que en condiciones normales el cuerpo humano solo se encuentra bajo este tipo de carga, sin embargo, debido a trabajos con alta carga física y a la práctica de deportes, es muy común que el sistema óseo se vea afectado por cargas de flexión, las cuales normalmente ocasionan fracturas.

Debido a las condiciones de trabajo de los biomateriales, se hace necesario evaluar sus propiedades mecánicas bajo ambientes simulados. Es por esto, que se quiere diseñar un dispositivo para realizar ensayos mecánicos simulando las condiciones antes mencionadas.

Los materiales a ensayar son acero inoxidable, titanio y sus aleaciones, magnesio, cobre, espumas metálicas y algunos polímeros. Es por esto que el acople para realizar estos tipos de ensayos debe tener una capacidad modular, para lograr adaptarse de forma rápida a los distintos requerimientos.

Debido a la naturaleza altamente corrosiva del fluido fisiológico simulado (SBF) es necesario proveer una protección adecuada a la máquina de trabajo, para evitar así daños en las partes mecánicas de la máquina de trabajo de forma permanente por efectos de corrosión y daño en los circuitos electrónicos o producir accidentes al entrar en contacto con sustancias salinas. También es importante considerar que lograr los ambientes agresivos para ensayos especiales no basta solo con el líquido a utilizar, también es necesario un control de temperatura idóneo, con lo cual puede verse comprometido el correcto funcionamiento de la máquina de ensayos al estar expuesto a cambios de temperatura.

La empresa Zwick/Roel, ofrece entre sus productos de la línea "Sistemas para la industria medicinal" un acoplamiento para realizar ensayos a temperatura controlada, este producto cubre las principales características requeridas para ensayos en condiciones adversas, sin embargo, el elevado costo y el modelo de diseño no apto para modificaciones impide que este producto sea el óptimo para aplicar en el laboratorio metal mecánico.

2.2 Definición del problema en términos de ingeniería

El objetivo de este trabajo es diseñar un dispositivo de acoplamiento de fácil montaje que permita realizar ensayos in-vitro a temperatura controlada en una máquina

universal de ensayos, permitiendo modificaciones con tal de adaptarse a distintos tipos de ensayos de materiales a trabajar en condiciones adversas.

Debe permitir ensayos de tracción y compresión de duración prolongada manteniendo íntegra la máquina. Se debe realizar el desmontaje y el montaje de modo que sea seguro para el usuario y para la máquina, además de permitir realizar cambios en módulos para realizar variedad de ensayos. El equipo está previsto para ser de uso educacional.

2.2.1 Atributos del diseño

Los atributos a considerar en el diseño se han definido considerando las funciones que ofrecen los acoples ya existentes en el mercado, los ensayos que se realizan actualmente en la máquina de ensayos en la universidad e investigaciones de docentes relacionadas con el comportamiento mecánico de biomateriales bajo efecto de un SBF [2]. A continuación, se realiza un listado con los atributos

- Permitir realizar ensayos de compresión de probeta tipo estándar
- Permitir realizar ensayos de tracción de probeta tipo estándar
- Permitir realizar ensayos de tracción de probetas tipo Dog bone
- Acoplable a máquina Zwick Roell Z100
- Montaje sencillo
- Desmontaje sencillo
- Mantenimiento fácil de realizar
- Bajo costo de fabricación
- Bajo costo de mantenimiento
- Fácil de operar
- Seguro para el usuario
- Seguro para la máquina Zwick Roell Z100
- Realizar ensayos bajo condiciones simuladas por soluciones salinas
- Ensayos visibles

- Controlar la temperatura de trabajo
- Sistemas modificables
- Repuestos de fácil adquisición
- Resistente a líquidos salinos
- Trabajo en cargas altas
- Componentes livianas, peso máximo individual 15 Kg.
- No superar un volumen de: largo 500 [mm], ancho 500 [mm] y alto 1000 [mm]
- Permitir variabilidad de los tamaños de probetas
- Evitar uniones propensas a atrapamientos
- No derramar el contenido al momento de desmontar

2.2.2 Clasificación de los atributos

La clasificación de los atributos según como afectaran en el proceso de diseño será en forma de objetivos, funciones y restricciones. Cada clasificación tendrá una forma distinta de influencia en el diseño; los objetivos representan las características que el diseño debe considerar al momento de seleccionar concepto, materiales y subconjuntos, las funciones son las tareas que el equipo tiene que ser capaz de realizar, y las restricciones son los parámetros que limitarán el diseño y los que dan las condiciones mínimas de este. En la Tabla 2-1 se enlistan los atributos según su categoría.

Tabla 2-1: Clasificación de los atributos según el tipo de influencia en el diseño

Objetivos	Funciones	Restricciones
<p>Bajo costo de materiales</p> <p>Bajo costo de mantenimiento</p> <p>Bajo costo de manufactura</p> <p>Fácil de operar</p> <p>Seguro para el usuario</p> <p>Seguro para la máquina</p> <p>Zwick Roell Z100</p> <p>Ensayo visibles</p> <p>Controlar la temperatura de los ensayos</p> <p>Acoplable a la máquina</p> <p>Zwick Roell Z100</p> <p>Desmontaje sencillo</p> <p>Mantenimiento fácil de realizar</p> <p>Sistema modificable</p> <p>Repuestos de fácil adquisición</p> <p>Resistente a líquidos salinos</p> <p>Permitir variabilidad de los tamaño de probetas</p> <p>Evitar uniones propensas a atrapamientos</p> <p>No derramar líquidos al desmontar</p>	<p>Permitir realizar ensayos de compresión de probeta tipo estándar</p> <p>Permitir realizar ensayos de tracción de probeta tipo estándar</p> <p>Permitir realizar ensayos de tracción de probeta tipo Dog Bone</p> <p>Realizar ensayos bajo condiciones simuladas por soluciones salinas</p>	<p>Trabajo en cargas altas</p> <p>Componentes livianos, peso máximo 15[Kg] por subsistema</p> <p>Caber en un volumen de largo 500[mm], ancho 500[mm] y alto 1000[mm]</p>

2.2.3 Categorización de los atributos

Los atributos se pueden dividir en grupos según la similitud de estos para posteriormente darles una relevancia mayor al grupo con más influencia en el diseño, para esto se realiza la categorización de los atributos en las categorías; Costo, Seguridad, Ejecución y Prestación. Costo se refiere directamente al precio monetario relacionado al diseño, tanto a nivel de materiales como de procesos de manufacturación. Seguridad es todo lo referente a la utilización del dispositivo sin generar ningún evento perjudicial al usuario o a la máquina. La categoría Prestación engloba las operaciones y las características propias del diseño. Ejecución es lo referente a las acciones a realizar una vez que el dispositivo esté operando para asegurar su correcto funcionamiento.

Algunos atributos están muy relacionados con dos o más categorías, sin embargo, se le atribuye una única categorización según el enfoque del atributo.

- ❖ Costos
 - Bajo costo de materiales
 - Bajo costo de manufactura
 - Bajo costo de mantenimiento
- ❖ Seguridad
 - Fácil de operar
 - Seguro para el usuario
 - Seguro para la máquina Zwick Roell Z100
 - Desmontaje sencillo
 - Resistente a líquidos salinos
 - Evitar uniones propensas a atrapamientos
- ❖ Ejecución
 - Acoplable a la máquina Zwick Roell Z100
 - Sistemas modificables
 - Mantenimiento fácil de realizar

- No derramar líquido al desmontar
- ❖ Prestación
 - Ensayos visibles
 - Repuestos de fácil adquisición
 - Controlar la temperatura de los ensayos
 - Permitir variabilidad de los tamaños de probetas

Para mejor visualización, se prepara la Tabla 2-2 con los objetivos del diseño en sus respectivas categorías.

Tabla 2-2: Categorización de los objetivos del diseño

Costo	Seguridad	Ejecución	Prestación
Bajo costo de materiales	Seguro para el usuario	Mantenimiento fácil de realizar	Repuestos de fácil adquisición
Bajo costo de manufactura	Desmontaje sencillo	Sistemas modificables	Ensayos visibles
Bajo costo de mantenimiento	Evitar uniones propensas a atrapamientos	No derramar líquidos al desmontar	Controlar la temperatura de los ensayos
	Seguro para la máquina Zwick Roell Z100	Acoplable a la máquina Zwick Roell Z100	Permitir variabilidad de los tamaños de probetas
	Resistente a líquidos salinos		
	Fácil de operar		

2.2.4 Ponderación de los objetivos

Las categorías poseen distintos grados de relevancia según el enfoque del diseño y criterios del diseñador, para lograr realizar una diferenciación más objetiva entre dos categorías y entre los distintos objetivos de estas, es necesario realizar una ponderación propia para cada categoría y para los objetivos. Para esto se utiliza un método de proceso de jerarquía analítico apoyado por las escalas de relevancia relativa propuesta por Thomas L. Saaty en 1986 [11].

La relevancia de cada categoría está representada por su porcentaje, mostrada en la columna ponderación de la Tabla 2-3.

Tabla 2-3: Proceso de jerarquía para las categorías de los atributos

Criterios	Seguridad	Prestación	Ejecución	Costo	Total	Ponderación
Seguridad	1	3	3	5	12,0	51,72%
Prestación	1/3	1	1	3	5,33	22,99%
Ejecución	1/3	1	1	1	3,33	14,37%
Costo	1/5	1/3	1	1	2,53	10,92%
Total					23,2	100%

Las tablas de ponderación de los objetivos de cada categoría se encuentran en el Anexo B. Ponderación de los objetivos del diseño por categoría

En función del peso que tendrá cada objetivo y cada categoría en el diseño, se genera la Tabla 2-4 con los objetivos, mostrando su orden de relevancia y sus pesos en el diseño.

Tabla 2-4: Listado de objetivos con ponderación absoluta

1. Seguridad (51,72%)	2. Prestación (22,99%)
1.1 Seguro para la máquina Zwick Roel Z100 (21,64%)	2.1 Controlar la temperatura de los ensayos (9,91%)
1.2 Seguro para el usuario (12,57%)	2.2 Ensayos visibles (5,95%)
1.3 Evitar uniones propensas a atrapamientos (10,65%)	2.3 Permitir variabilidad de los tamaños de probetas (5,29%)
1.4 Resistente a líquidos salinos (3,64%)	2.4 Repuestos de fácil adquisición (1,85%)
1.5 Desmontaje sencillo (2,27%)	
1.6 Fácil de operar (0,95%)	
3. Ejecución (14,37%)	4. Costo (10,92%)
3.1 Acoplable a la máquina Zwick Roell Z100 (6,39%)	4.1 Bajo costo de materiales (4,68%)
3.2 Sistemas modificables (5,18%)	4.2 Bajo costo de manufactura (4,68%)
3.3 No derramar líquidos al desmontar (2,01%)	4.3 Bajo costo de mantenimiento (1,56%)
3.4 Mantenimiento fácil de realizar (0,79%)	

2.2.5 Listado de atributos argumentados

Se realiza la Tabla 2-5, en la cual se muestra toda la información de los atributos, es decir; objetivos priorizados, funciones y restricciones. El listado de atributos argumentados es útil para generar una idea general del enfoque del diseño y para relacionar todos los parámetros a incluir en el diseño.

Tabla 2-5. Listado de atributos argumentados. La letra F representa funciones y R representa restricciones.

1. Seguridad	2. Prestación
1.1 Seguro para la máquina Zwick Roel Z100 1.2 Seguro para el usuario 1.3 Evitar uniones propensas a atrapamientos 1.4 Resistente a líquidos salinos 1.5 Desmontaje sencillo 1.6 Fácil de operar	2.1 Controlar la temperatura de los ensayos 2.2 Ensayos visibles 2.3 Permitir variabilidad de los tamaños de probetas 2.4 Repuestos de fácil adquisición <hr/> F1. Permitir realizar ensayos de compresión a probetas tipo estándar F2. Permitir realizar ensayos de tracción a probetas tipo estándar F3. Permitir realizar ensayos de tracción a probetas tipo Dog-Bone
3. Ejecución	4. Costo
3.1 Acoplable a la máquina Zwick Roell Z100 3.2 Sistemas modificables 3.3 No derramar líquidos al desmontar 3.4 Mantenimiento fácil de realizar <hr/> R1. Trabajo en cargas X R2. Peso máximo de subsistemas 15[Kg] R3. Caber en un volumen de largo 500[mm], ancho 500[mm] y alto 1000[mm]	4.1 Bajo costo de materiales 4.2 Bajo costo de manufactura 4.2 Bajo costo de mantenimiento

2.3 Análisis funcional

Ya definido el problema y sus atributos, es necesario realizar un análisis funcional del diseño tanto interno como externo. En estos se observaran las funciones que desempeñan y como lo realizan, considerando las entradas y salidas de energía y material al dispositivo, y lo que se obtiene como resultado del proceso.

También se realiza una comparación del diseño con otros productos similares que ofrece el mercado, con tal de analizar los puntos fuertes y débiles de estos, para lograr una ventaja estratégica sobre ellos.

2.3.1 Análisis interno

Como primer paso para el desarrollo funcional del producto, se establecen los flujos de energía y materia que utilizará el diseño como insumo. Luego es necesario establecer la función global que realizará. Para definir la función principal del dispositivo, se intenta englobar todas las funciones y los objetivos descritos en la Tabla 2-1. Finalmente se representan los flujos de salida del proceso.

A modo de representar el análisis interno, se utilizan los modelos funcionales caja negra y caja transparente o de funciones.

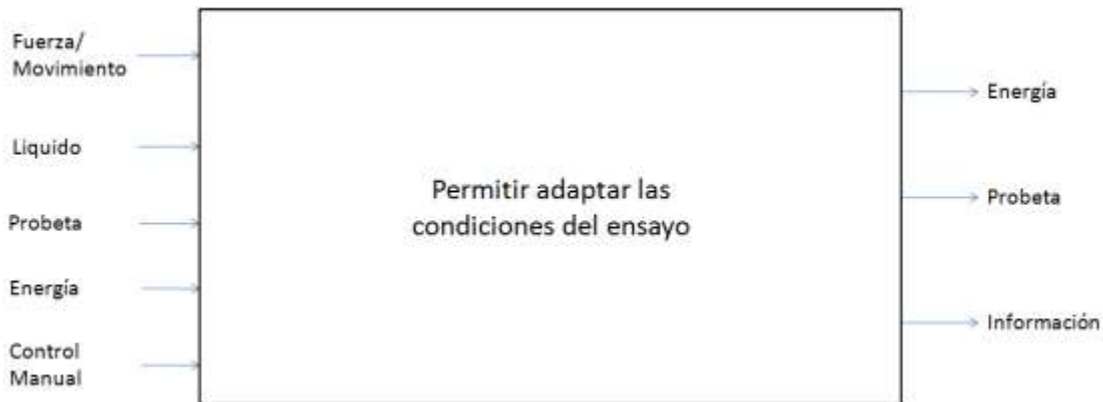


Figura 2-1. Modelo funcional caja negra

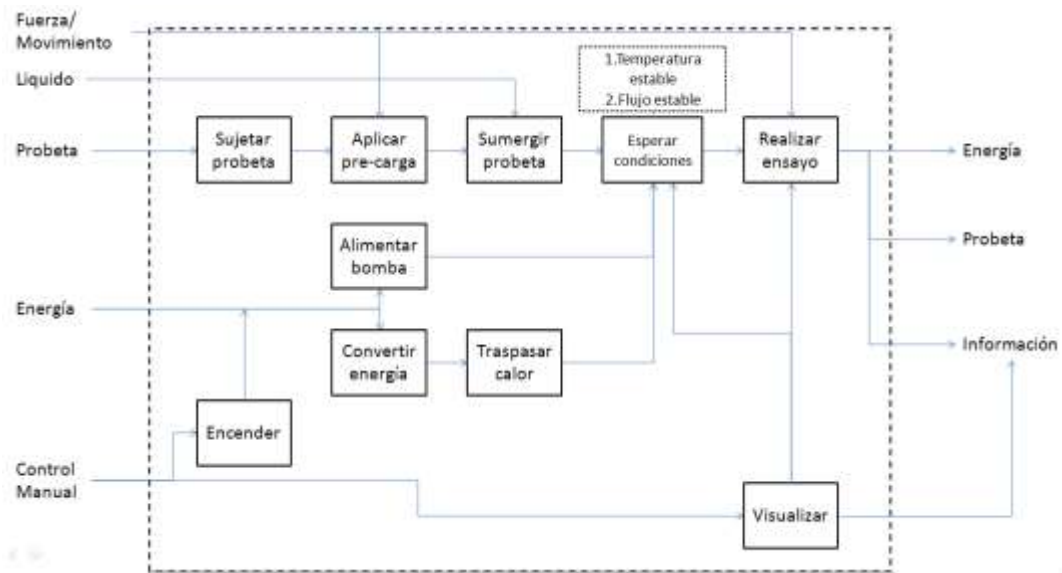


Figura 2-2. Modelo funcional caja transparente

Del modelo caja negra representada en la Figura 2-1 se puede observar los flujos de entrada y salida, y la función principal a realizar.

El modelo caja transparente que se puede observar en la Figura 2-2 agrega como información adicional las relaciones de los flujos de entrada en cada paso o subproceso, para finalmente lograr los flujos de salida.

3.3.2 Análisis externo

El análisis externo relaciona y compara los objetivos del diseño con los modelos disponibles en el mercado que tengan por función principal la misma del producto a diseñar. Como objetivo se busca mostrar las falencias y los puntos fuertes del producto con respecto a la competencia funcional directa.

El caso del acople a diseñar es un modelo único, este diseño no busca como objetivo un producto comercial a producir masivamente, por lo tanto, el análisis con la competencia se realizará con el fin de fortalecer el diseño y medir su desempeño.

La Figura 2-3 muestra una comparación del producto con la competencia. El primero es un producto de la empresa Zwick Roell diseñado para realizar ensayos en el área medicinal, este dispositivo cumple con las funciones principales propuestas en el diseño, sin embargo, posee una desventaja notoria en los objetivos relacionados al costo y a la adaptabilidad del producto, ya que este dispositivo está hecho para un mercado específico y no posee un diseño modular.

El segundo producto en comparación es un dispositivo de la empresa Instron denominado "ensayo de dispositivo médico a temperatura corporal". Este producto está diseñado para ser acoplable a las máquinas de ensayos Instron modelo 5500, 3300 y 5900 mono columna de altura estándar, las funciones que ofrece son las mismas a abordar en el producto a diseñar, sin embargo, al comparar los objetivos, este tiene las mismas falencias que el acople comercial de la empresa Zwick Roell además de tener mala disposición en cuanto a compatibilidad y seguridad para la máquina, puesto que para poder utilizarla habría que diseñar un dispositivo externo que permita su acoplamiento.

Más detalles de ambos dispositivos en el Anexo C. Equipo Zwick Roell médico para ensayos in vitro y en el Anexo D. Equipo Instron para ensayos médicos a temperatura corporal



	Equipo en diseño	Equipo para ensayos medicos Zwick Roell	Dispositivos Médicos a Temperatura Corporal Instron
	EN DISEÑO		
Bajo costo de materiales	10	6	6
Bajo costo de manufactura	8	6	6
Bajo costo de mantenimiento	10	8	8
Fácil de operar	9	10	8
Seguro para el usuario	10	10	10
Seguro para la maquina Zwick Roell Z100	10	10	6
Desmontaje sencillo	10	10	6
Resistente a líquidos salinos	10	10	10
Evitar uniones propensas a atrapamientos	10	10	10
Acoplable a la maquina Zwick Roell Z100	10	8	4
Sistema modificable	10	4	4
Mantenimiento fácil de realizar	10	8	8
No derramar líquido al desmontar	9	10	10
Ensayos visibles	10	10	10
Repuestos de fácil adquisición	10	6	6
Controlar la temperatura de los ensayos	10	10	10
Permitir variabilidad de los tamaños de probetas	10	10	10
PROMEDIO	9,8	8,6	7,8

Figura 2-3. Comparación del producto a diseñar con dos productos de funcionalidad equivalente.

2.4 Generación de conceptos

En esta etapa se busca el concepto del diseño, esto es una idea clara de las tecnologías, materiales, insumos y funcionamiento que tendrá el diseño. Con este fin, se realiza una búsqueda de información con tal de poder abastecer los atributos en la categoría Prestación de la Tabla 2-5. En el proceso se busca más de una alternativa para satisfacer cada función, con tal de tener diferentes opciones que serán evaluadas en base a los ponderadores que se pueden observar en la Tabla 2-4

Se debe tener presente que cada alternativa puede realizar una o más funciones, por esto se realiza un agrupamiento de las prestaciones con tal de tener la menor cantidades de sistemas individuales.

2.4.1 Alternativas propuestas

Las presentes alternativas, que buscan solventar las funciones y los materiales del diseño, fueron obtenidas de conversaciones con los encargados de los laboratorios de la universidad, conversaciones con los usuarios del producto y con observaciones de los productos similares disponibles en el mercado.

2.4.1.1 Anclaje

Con estas alternativas se busca definir y operar los tipos de probetas a ensayar en ensayos tanto de tracción como compresión.

Anclaje mecánico: Sistema compuesto por un cuerpo superior y un cuerpo inferior, para ensayos de tracción se utiliza un sistema de anclaje mediante un sistema de cuñas, las cuales suelen poseer un ángulo en el rango 10° a 15° , de tal forma que la fuerza de roce entre las cuñas y las probetas siempre sea mayor a la fuerza ejercida axialmente sobre esta. Para estos sistemas el posicionamiento inicial de la probeta es manual ejerciendo una precarga, de tal forma que se asegure el correcto anclaje. El tamaño y forma de las probetas a trabajar en este sistema depende de la forma de la cuña y de su tamaño.

Para el caso de ensayos en compresión se utiliza un sistema de platos centrados y paralelos, algunos poseen un pequeño agujero de tal forma que la probeta quede alineada de mejor manera. Ambos tipos de ensayos requieren alineamiento entre el soporte superior e inferior, sin embargo, dado el fenómeno de pandeo en compresión, se le da mayor relevancia al alineamiento en este tipo de ensayos.

Mordazas de la máquina: La máquina Zwick Roell Z100 posee un sistema de anclaje mecánico que se utiliza para realizar ensayos de tracción, estas mordazas son de Zwick/Roell y fueron adquiridas por el laboratorio junto con la máquina de ensayos universales.

Para análisis posteriores, se considerarán estas mordazas como parte de la máquina de ensayos universal, ya que no son reproducibles ni modificables, y este sistema de acoplamiento permite poder utilizar el máximo potencial de la máquina.

Anclaje hidráulico: Los anclajes por medio de sistemas hidráulicos generan una sujeción de mayor fuerza mediante movimiento de pistón y un sistema de cuñas. Este tipo de sujeción genera una gran fuerza en el anclaje permitiendo una seguridad mayor en los ensayos, además de poseer una doble función ya que el mismo sistema puede ser utilizado para ensayos de tracción y compresión. Para el uso de este sistema es necesario tener un sistema de elevación de presión hidráulica para alimentar el anclaje de las mordazas.

2.4.1.2 Control de temperatura

Las alternativas que se presentan buscan cumplir con la necesidad de controlar la temperatura del fluido con el que se realizará el ensayo, con tal de realizar una simulación más completa en los ensayos in-vitro

Control encendido-apagado: Es un método de control con solo dos estados que controlan la señal de encendido y apagado, sin permitir un estado intermedio. El funcionamiento básico consta de dos ajustes, el superior que envía la señal de apagado y el inferior que envía la señal de encendido, controlando así la temperatura entre los

dos ajustes, produciendo ciclos continuos de temperatura. Cuando estos ciclos ocurren muy rápidos, se puede producir una falla en los conectores. Dentro de los métodos de control de temperatura automáticos, el control encendido-apagado es de los más sencillos y no permiten una regulación precisa. Mientras mayor sea el calor requerido por el sistema para aumentar la temperatura, mayor será la utilidad de este sistema ya que los ciclos disminuyen y se pueden generar regulaciones más precisas.

Control proporcional: Sistema de regulación encendido-apagado pero diseñado con un sistema de regulación que controla los ciclos. El sistema de regulación disminuye la potencia promedio suministrada a la fuente de calor a medida que la temperatura se acerca al punto de ajuste. Este ajuste de regulación de potencia funciona en un rango alrededor del ajuste, fuera de este rango el sistema es idéntico a la regulación encendido-apagado. En términos prácticos este sistema regula el tiempo en que el sistema está proporcionando potencia al suministrador de calor, de tal forma que los saltos de temperatura sean más suaves.

Control PID: Este sistema funciona a base del error obtenido al comparar la señal recibida con el ajuste establecido. Este error pasa por las tres componentes de sistema PID; control proporcional, acción integral y acción derivativa. Las señales de los tres componentes de este sistema son las que crearan una nueva señal para realizar el control de la temperatura. Existe una variación de este sistema llamado PI, que elimina la acción derivativa, ya que está en algunas ocasiones puede generar mucho ruido de datos y generar efectos negativos en el control. El sistema PID y sus derivados funcionan de mejor manera cuando el sistema a controlar posee un volumen reducido

Todas las alternativas propuestas en esta sección requieren para su utilización un sensor para obtener el estado del sistema y un actuador que genere los cambios en el sistema cuando sea necesario. Los controladores que se pueden encontrar en el mercado son compatibles con termocuplas, sistemas resistivos, RTD y otros sistemas capaces de obtener el estado del sistema o modificarlo.

2.4.1.3 Visibilidad de los ensayos

Las presentes alternativas buscan facilitar la visualización del ensayo a realizar.

Acrílico: Existe una gama de materiales de ingeniería del tipo polímeros que son utilizados en la construcción de dispositivos y que a su vez son transparentes, dentro de estos se encuentra el polimetilmetacrilato conocido como acrílico o PMMA. Este material, dentro de la gama de los termo plásticos transparentes destaca por su resistencia a condiciones adversas y por su dureza. Dada sus propiedades es utilizado en la medicina como material para prótesis dentales, estando en contacto con las condiciones adversas del cuerpo humano, esto sumado a su facilidad de maquinado lo convierte en la mejor alternativa de los termoplásticos para el dispositivo a diseñar.

Cámara: Para la captura de ensayos a nivel visual existe una gran cantidad de cámaras capaz de capturar más de quinientas imágenes por segundo en alta calidad, esto sumado a las técnicas y software de análisis de imágenes da la posibilidad de un análisis exhaustivo sobre fenómenos analizados mediante observación. Sin embargo, no es un sistema de costo bajo por lo que requiere un nivel de seguridad extra al ser utilizado tanto fuera de la cámara de ensayos como dentro de esta.

2.4.1.4 Circulación del líquido

Dado el enfoque del producto a diseñar, es necesario hacer circular el líquido que simulara el ambiente hostil, ya que los ensayos suelen ser de larga duración.

Bombas de baja capacidad: El requerimiento es hacer circular el líquido, no es necesario entregar cantidades considerables de caudal ni tampoco elevar el líquido a grandes alturas, por esto una alternativa viable es utilizar una bomba de baja capacidad. En el mercado es posible encontrar bombas de uso general de baja capacidad tal como las bobas centrifugas de 0.5 [HP]. También en esta categoría se analiza el uso de bombas utilizadas en los procesos químicos, donde el rodete viene con recubrimientos especiales dado las sustancias de trabajo, se debe evaluar esta alternativa considerando que son de costo elevado.

Bombas de pecera: Estas bombas son de baja capacidad, pero se evaluará como un caso especial, pues las similitudes entre las necesidades de circular líquidos sucios (ácidos) de las peceras, son similares a los requerimientos que tendrá el diseño, además de contar con un bajo costo y fácil acceso.

Circulación manual: También se debe considerar la alternativa de no utilizar un sistema automático para la circulación del líquido. En cambio, el encargado de realizar el ensayo, de ser necesario, cambiará manualmente el líquido en los periodos de tiempos necesarios. Esta alternativa no requiere costos en la inversión, pero conlleva un costo en tiempo para los usuarios, además de poder dificultar la utilización nocturna del dispositivo.

2.4.1.5 Material

Si bien ya se mencionó en esta sección la necesidad de que el ensayo sea visible y para esto se propusieron materiales acorde a esta necesidad, no necesariamente se utilizara solo este material, ya que el diseño puede necesitar una base más resistente para realizar correctamente la unión mecánica con la máquina de ensayos generales.

Aluminio: La necesidad mínima que debe solventar el material en el diseño es que posea resistencia a la oxidación, es por esto que el aluminio es una opción plausible, ya que este genera de forma espontánea una capa de óxido de aluminio la cual le confiere defensa a la oxidación y a la corrosión. Esta defensa puede hacerse más fuerte mediante el proceso químico anodizado. Lo que tiene de particular el aluminio es su baja densidad, por lo que esta elección apoya tanto la funcionalidad del diseño como la maniobrabilidad de este.

Acero inoxidable: El punto fuerte de esta opción es el fácil acceso de este material al ser altamente comercial, además su alta maquinabilidad. Si bien es un material más pesado que el aluminio, este posee mayor resistencia y facilidad la manufactura del diseño.

Acrílico: Si bien se mencionó que puede requerirse un material extra más resistente, puede ser que no sea necesario. En este escenario el acrílico u otro material que facilite la visibilidad del ensayo puede ser suficiente para la realización del diseño.

2.4.2 Carta morfológica

Con las alternativas previamente mostradas se construye la Tabla 2-6, la cual es una carta morfológica, donde se ilustran de forma clara las alternativas previamente descritas.

Tabla 2-6: Carta morfológica

Función	Concepto		
Anclaje	Anclaje mecánico 	Mordazas de la máquina 	Anclaje hidráulico 
Control de temperatura	Control encendido/apagado 	Control proporcional 	Control PID 
Visibilidad de los ensayos	Acrílico 	Cámara 	
Circulación del líquido	Bomba de baja capacidad 	Bomba de pecera 	Circulación manual 
Material	Aluminio 	Acero inoxidable 	Acrílico 

2.4.3 Conceptos

Con las alternativas físicas para la realización de funciones, se generan conceptos del diseño, agregando alternativas a la forma y tamaño del contenedor.

Concepto 1: óptimo

El contenedor de acrílico posee, en sus paredes forma de cilindro y una base plana de mayor espesor, la unión de estas se realiza con procesos químicos o adhesivos especiales. En la parte inferior se conecta con el plato de compresión mediante un hilo cónico para aumentar la fricción entre los contactos y generar mayor estanqueidad. Para el control de temperatura se utiliza un sistema PID optimizando la exactitud del control, y la circulación del fluido se realiza con una bomba de baja potencia. En la Figura 2-4 se puede apreciar la representación del concepto mencionado.

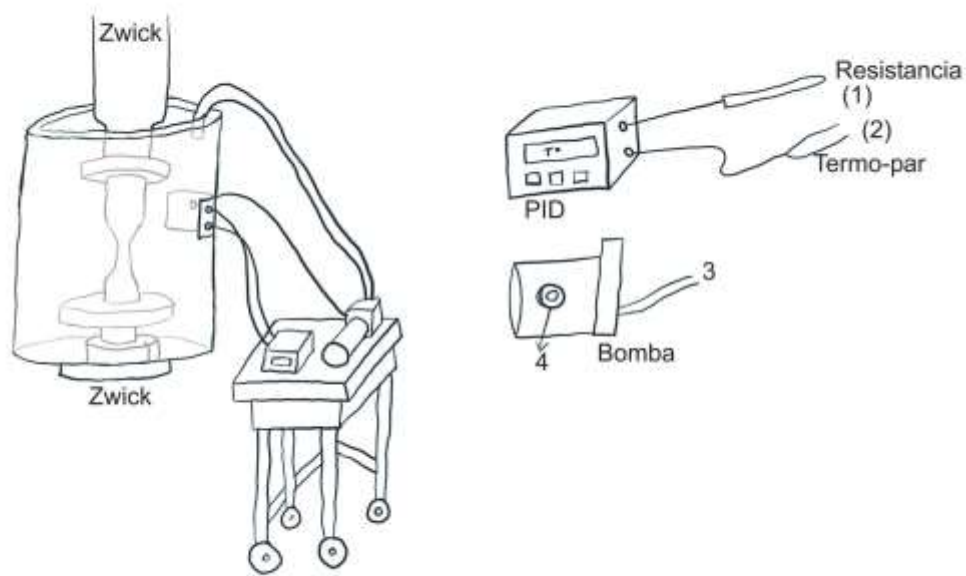


Figura 2-4: Concepto 1, ilustrando un diseño que toma en consideración lo óptimo para el ensayo

Concepto 2: Funcionamiento modular

En este concepto se privilegia tanto en los componentes como en la forma las propuestas modulares, generando así un concepto apto para cambios y adaptarse a futuras funciones. La forma de las paredes del contenedor son rectangulares uniéndose al cuerpo de acero inoxidable mediante uniones mecánicas y juntas de estanqueidad, permitiendo cambiar las paredes ya sea por mantenimiento o por requerimientos del ensayo de forma fácil y económica. Las uniones tanto de la mordaza como con la máquina Zwick son mediante tuercas-tornillos con los sellos respectivos para generar estanqueidad. El control de temperatura es un sistema PI universal y la circulación del fluido es mediante una bomba. En la Figura 2-5 se puede apreciar la representación del concepto mencionado.

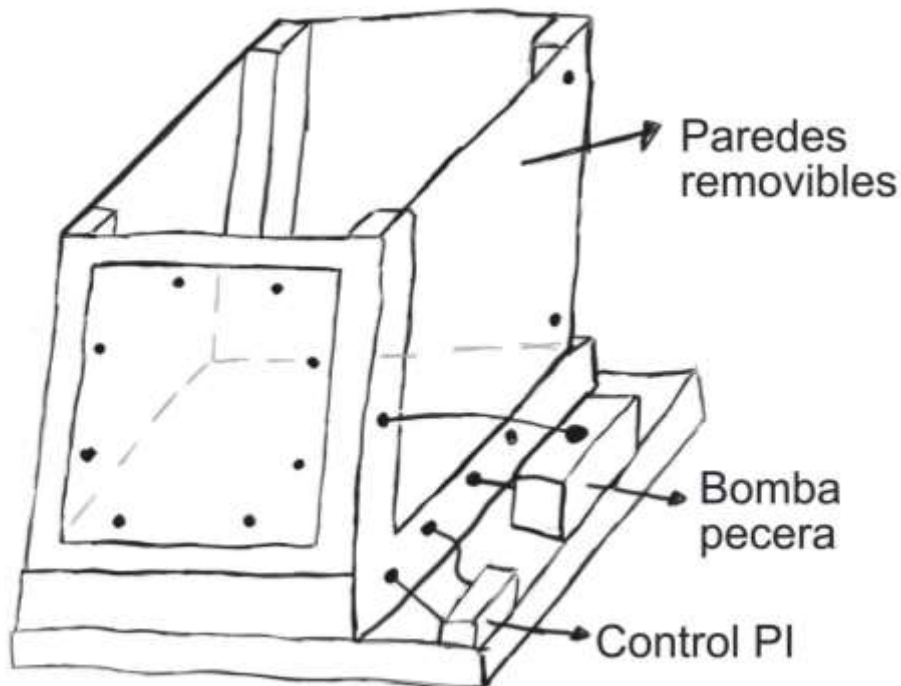


Figura 2-5: Concepto 2, ilustrando un diseño considerando un sistema modular para la mayor parte de sus componentes

Concepto 3: Modelo compacto y adaptable

Este concepto es realizado con el fin de generar un diseño compacto y adaptable a cualquier situación, sin importar la máquina de ensayos a utilizar. Con este concepto se cambia la idea básica utilizado hasta el momento de acople a la máquina Zwick, por una nueva idea de acople a la probeta de ensayo. La geometría del contenedor dependerá del tipo de probeta y del tipo de ensayo a realizar, minimizando el espacio y la cantidad de fluido a utilizar. La recirculación del fluido se realizará mediante un sistema de inyección y evacuación de fluidos, pudiendo este ser realizado de forma manual o automático. El control de la temperatura se realizará por un sistema PI para reducir los costos, sin embargo, para ensayos que requieran pocas fluctuaciones de temperatura será necesario un sistema PID, ya que el volumen de fluido es pequeño lo que facilita el cambio de temperatura del sistema. En la Figura 2-6 se puede apreciar la representación del concepto mencionado.

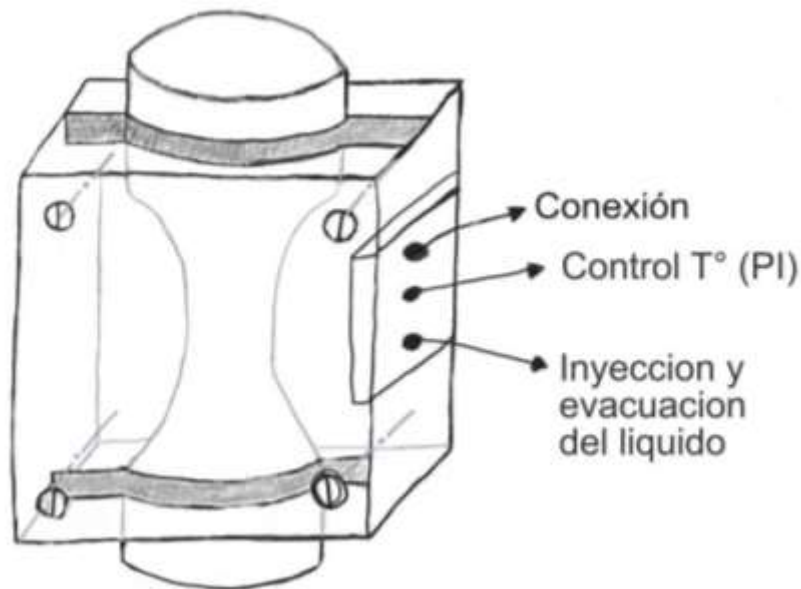


Figura 2-6: Concepto 3, ilustrando un diseño compacto y adaptable a las mayores circunstancias posibles.

2.4.4 Selección de conceptos

El método para la selección de conceptos a utilizar es el de objetivos ponderados, se considerará los objetivos y las ponderaciones de la Tabla 2-4. A partir de la evaluación se selecciona el concepto que más se adecua a los objetivos propuestos para el contenedor. En la Tabla 2-7 se muestra la selección de conceptos y el método utilizado

Tabla 2-7: Selección de conceptos, utilizando el método de pesos ponderados empleando los objetivos de diseño como criterio de selección. La evaluación de cada objetivo es según la capacidad de realizar el objetivo. Mal: 1, Medio: 3, Bien: 5. De ser necesario se utilizarán valores numéricos intermedios.

Criterios	Peso	Concepto 1		Concepto 2		Conceptos 3	
		evaluación	Peso	evaluación	Peso	evaluación	Peso
Seguro para la maquina Zwick Roell Z100	0,2164	5	1,082	5	1,082	3	0,649
Seguro para el usuario	0,1257	5	0,629	5	0,629	5	0,629
Evitar uniones propensas a atrapamientos	0,1065	5	0,533	3	0,320	5	0,533
Controlar la temperatura de los ensayos	0,0991	5	0,496	5	0,496	5	0,496
Acopiable a la maquina Zwick Roell Z100	0,0639	5	0,320	5	0,320	5	0,320
Ensayos visibles	0,0595	5	0,298	5	0,298	5	0,298
Permitir variabilidad de los tamaños de probetas	0,0529	5	0,265	5	0,265	3	0,159
Sistema modificable	0,0518	1	0,052	5	0,259	3	0,155
Bajo costo de materiales	0,0468	1	0,047	5	0,234	5	0,234
Bajo costo de manufactura	0,0468	1	0,047	5	0,234	3	0,140
Resistente a líquidos salinos	0,0364	5	0,182	5	0,182	5	0,182
Desmontaje sencillo	0,0227	3	0,068	1	0,023	5	0,114
No derramar líquido al desmontar	0,0201	5	0,101	5	0,101	3	0,060
Repuestos de fácil adquisición	0,0185	1	0,019	5	0,093	3	0,056
Bajo costo de mantenimiento	0,0156	3	0,047	3	0,047	5	0,078
Fácil de operar	0,0095	5	0,048	1	0,010	5	0,048
Mantenimiento fácil de realizar	0,0079	3	0,024	3	0,024	5	0,040
Puntaje total			4,25		4,61		4,19
Ranking			2		1		3

A partir de los resultados obtenidos, es posible observar que la alternativa que mejor cumple con los criterios del cliente y del diseñador, es la alternativa 2. Por ello, se obtiene que el concepto mejor evaluado es el segundo, este fue titulado como "funcionamiento modular" y en base a este se diseñara el contenedor para ensayos in-vitro. Se debe mencionar que la selección del concepto 2 no significa que sea un mejor

contenedor que los otros conceptos, ya que esta selección solo es válida para este diseño con un enfoque particular.

Capítulo 3: Diseño básico

En este capítulo, recogeremos la información del concepto escogido en el Capítulo 2: Diseño conceptual y lo transformaremos a partes físicas. El capítulo parte con la selección del tipo de arquitectura que se utilizará en el diseño, en esta sección se divide el producto en partes físicas llamadas módulos, que se encargarán de realizar las funciones del producto. Como segundo punto se realiza la configuración del diseño, en esta sección evalúan y presentan las partes y componentes estándar del diseño, además de la determinación de valores, dimensiones y tolerancias de componentes críticos para el diseño.

3.1 Arquitectura del diseño

El siguiente paso en el diseño es elegir el tipo de arquitectura a utilizar. Como se puede observar tanto en la carta morfológica como en los conceptos propuestos, las funciones que debe desarrollar el dispositivo a diseñar pueden realizarse por componentes independientes que trabajan en conjunto, este tipo de funcionamiento es el idóneo para trabajar con un sistema de arquitectura modular. Dentro del sistema modular existe una serie de variaciones dependiendo de cómo se relacionan los módulos y como operan en conjunto. En el presente caso, el que mejor se adapta es el tipo "slot", ya que cada módulo tiene un lugar propio de operación y no es intercambiable con otro.

3.1.1 Diagrama esquemático del sistema

Para definir la arquitectura del diseño, como primer paso se realiza la Figura 3-1, la cual representa un diagrama esquemático del funcionamiento del producto, y en este se dividen los procesos con cajas segmentadas, de tal forma que cada segmento conforme un módulo independiente.

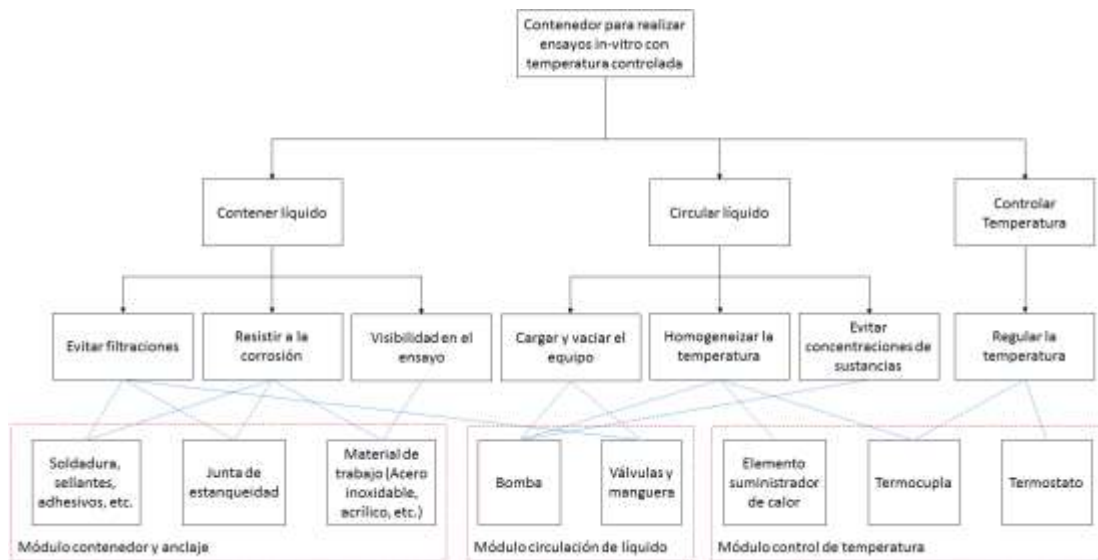


Figura 3-1: Diagrama de componentes y funciones de la arquitectura del diseño.

Con los módulos definidos es necesario tener una idea clara de la distribución física de los elementos en el espacio y cómo se conectarán entre ellos. Para esto se realiza el layout (Figura 3-2) donde se señalan los diferentes módulos, sus lugares físicos y las conexiones entre ellos.

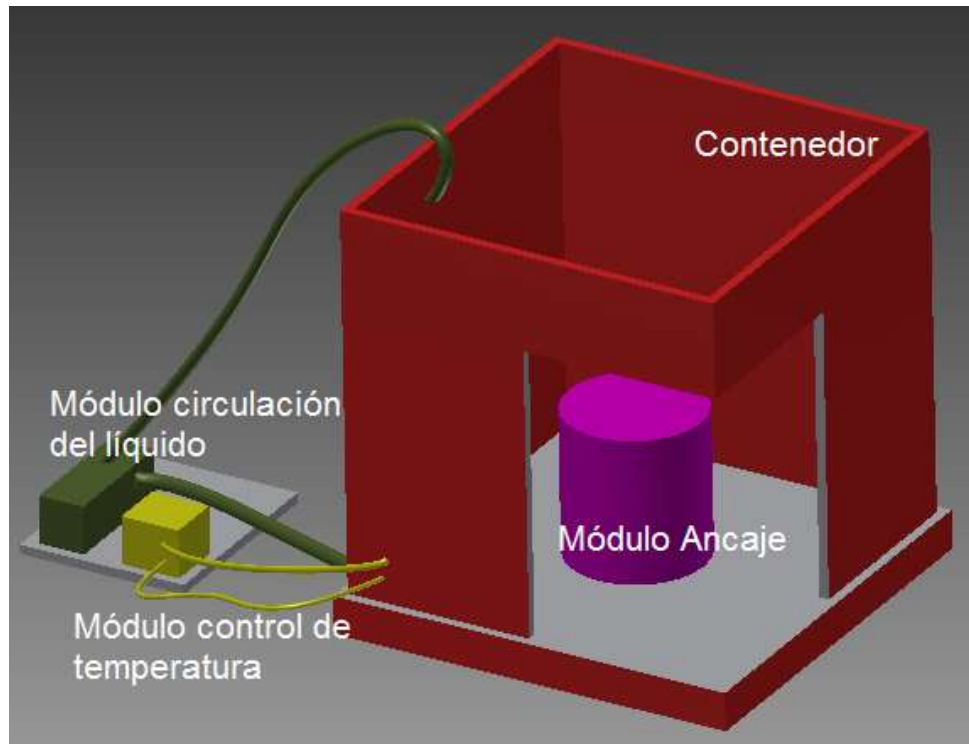


Figura 3-2: Esquema propuesto que representa la distribución de los módulos en el contenedor para ensayos in-vitro.

En la Figura 3-2 se puede ver la distribución física de los módulos que componen al sistema y sus interacciones, los cuales son principalmente el contenedor, el módulo de anclaje, el módulo de circulación del líquido y el sistema de control de temperatura. Los dos últimos en conjunto representan el módulo y el lugar físico del panel de control. Es necesario tratar con mayor detalle las conexiones entre módulos puesto que estos pueden llegar a requerir tratamiento específico dado su complejidad. A continuación, se describen los distintos módulos y ensambles.

Sistema de anclaje: El sistema de anclaje es el único que se conecta de forma directa con la máquina Zwick Roell Z100, tanto en su anclaje superior e inferior. En el sistema superior se conectan mediante un pasador liso utilizado para el acople de cualquier mordaza superior en la máquina. En el anclaje inferior se utiliza una pieza

existente en el laboratorio que se monta sobre la mordaza inferior de la máquina y permite el acople de cualquier dispositivo sobre esta. En esta conexión existe un riego para la máquina de ensayos puesto que bajo esta mordaza existen circuitos eléctricos que pueden ser dañados por el líquido a utilizar. Este módulo está compuesto por ambas mordazas y por la probeta a ensayar.

Acople-contenedor: Este módulo es el encargado de ofrecer las condiciones para realizar un ensayo in-vitro, ofreciendo control de temperatura y circulación de líquidos salinos que simulen las condiciones ambientales del ensayo. El sistema de anclaje se comunica mediante uniones mecánicas con las mordazas inferiores de la máquina de ensayos. El módulo que controla la circulación del fluido fisiológico simulado está en contacto con el este módulo mediante válvulas simples. Con el módulo que regula la temperatura se comunican mediante la termocupla y la fuente suministradora de calor. Este sistema entrega información en forma de datos al personal encargado mediante imágenes y la probeta ensayada.

Regulador de temperatura y circulación de líquido: ambos sistemas se comunican con el módulo acople-contenedor de la forma ya descrita, proporcionando las condiciones necesarias para lograr un ensayo in-vitro. Además, ambos se conectan con el módulo control con interfaz propia y aquí son alimentados con corriente para lograr funcionar.

Módulo de control: este módulo energiza y controla las funciones de los módulos que regulan la temperatura y que circulan el líquido, este módulo tiene contacto directo con el operador ya que es este de forma manual quien lo opera.

3.2 Configuración del diseño

Luego de definir el concepto en módulos y sus interacciones, es necesario definir los componentes básicos y tener una primera aproximación a los componentes finales, de igual forma se debe establecer los componentes estándar del mercado que tendrá el diseño y cuáles serán los criterios para elegirlos.

3.2.1 Acople mordaza superior

La máquina Zwick Roell Z100 posee un sistema de acople en la parte superior que es utilizado en todas las mordazas utilizadas en el laboratorio actualmente, esta corresponde a una sección circular con un agujero cercano al extremo donde mediante un pasador liso se genera el acople. En la Figura 3-3 se pueden observar el plano representativo del acople.

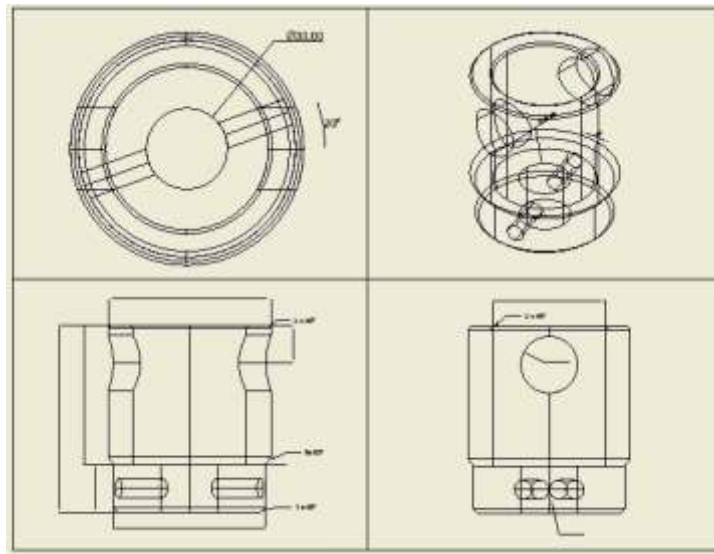


Figura 3-3: Planos representativos del sistema de acople superior de la máquina Zwick Roell Z100

Al diseñar la mordaza superior se debe tener en cuenta que este acople es el a utilizar, y se debe tener precaución con las fuerzas en la unión de la mordaza y el acople, ya que estos deben ir soldados.

El pasador a utilizar será el mismo que se utiliza actualmente en el laboratorio, ya que este no estará en contacto con el ambiente simulado por lo que no corre riesgo de oxidación inducida.

3.2.2 Acople mordaza inferior

El acople inferior es realizado sobre la mordaza inferior de la máquina Zwick. Para realizar este montaje se utilizan dos piezas auxiliares. La primera, mostrada en la Figura 3-4 es un acople directo a la mordaza de la máquina, la cual se fija a está permitiendo en su parte superior una serie de conexiones para instalar dispositivos sobre este.

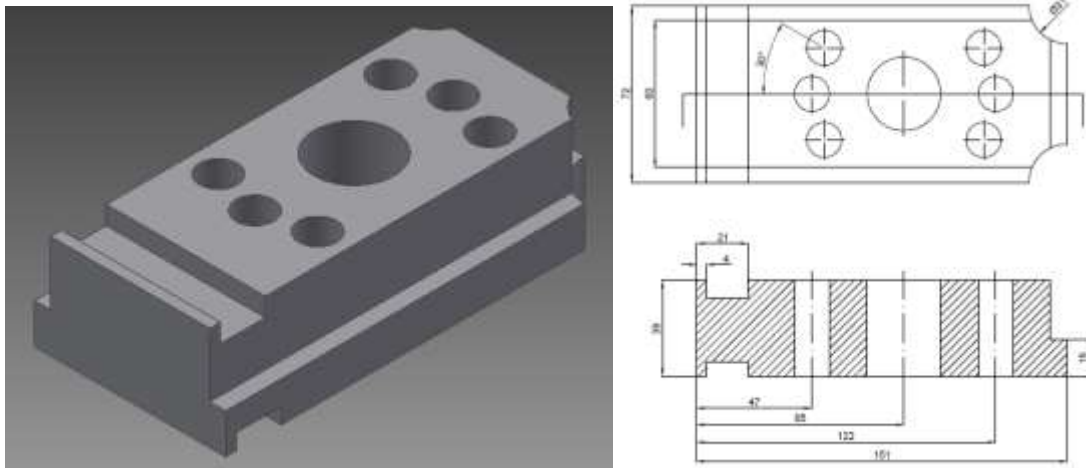


Figura 3-4: Representación CAD y planos del acople inferior que permite utilizar dispositivos sobre la mordaza inferior.

La segunda pieza a utilizar, es la mostrada en la Figura 3-5. Esta pieza es montada en la sobre el acople utilizado en la mordaza inferior, y permite el acoplamiento de dispositivos de tamaños más grande y con distintas características.

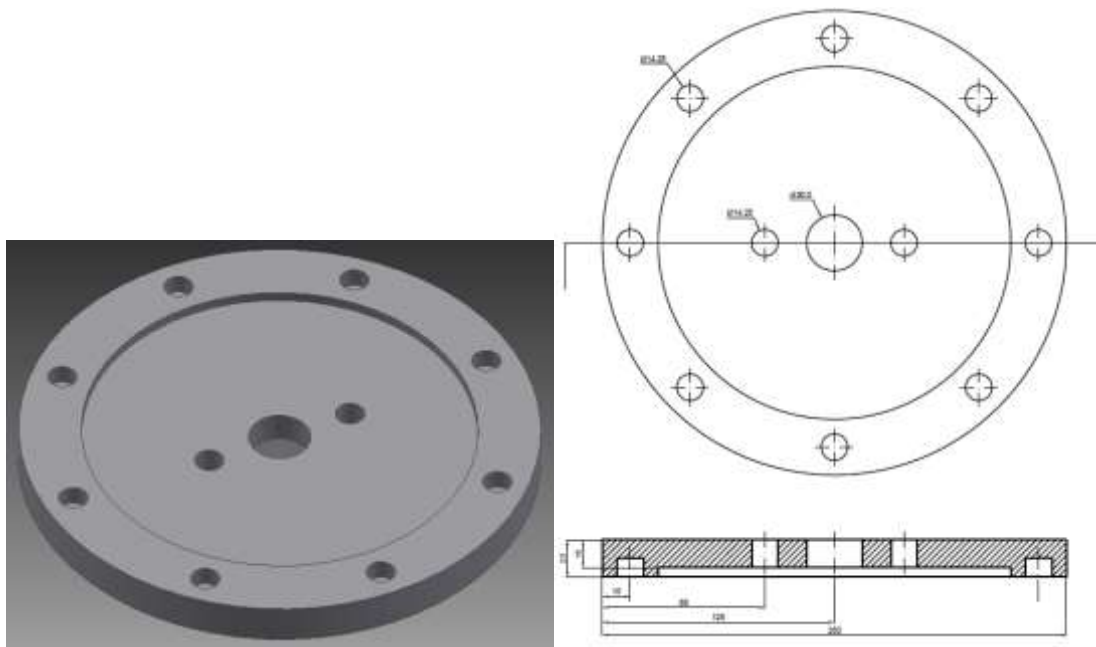


Figura 3-5: Representación CAD y planos del disco de acople para montar dispositivos en la máquina Zwick

Ambas piezas a utilizar se encuentran disponibles en el laboratorio de tecnología mecánica de la universidad. Estas piezas actualmente se utilizan en distintos montajes tal como el de ensayo de flexión, donde se utiliza el mismo montaje que utilizará el dispositivo a diseñar. La pieza representada en la Figura 3-5 será la que establece las condiciones de borde para el soporte inferior y se debe tener en cuenta en el diseño de las conexiones.

En la Figura 3-6 se representa el montaje y la disposición de la mordaza inferior de la máquina de ensayos, las piezas ya existentes a utilizar en el ensamble y el contenedor.

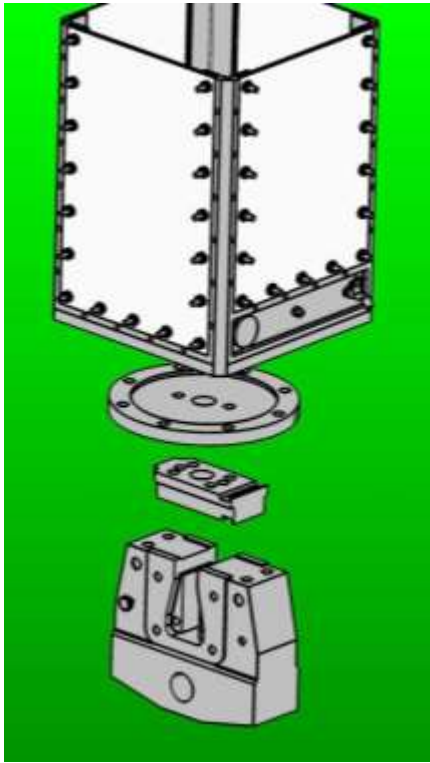


Figura 3-6: Representación del montaje y la disposición de las piezas involucradas.

3.2.3 Sellos

Dadas las condiciones de trabajo del acople y los riesgos que supone una mala estanqueidad, se emplearán sellos en las uniones mecánicas donde eventualmente podría haber algún tipo de filtración del líquido salino a la máquina de trabajo. Estos sellos podrían no necesitarse si en el diseño detallado se exigen mecanizados de alta precisión y calidad superficial, pero este tipo de mecanizados aumentan el costo de las piezas, mucho más que el costo de sellos.

Se utilizarán sellos o-ring de caucho fluorado (FPM 75 en norma ISO/DIN) para las uniones mecánicas, donde también podrían emplearse golillas de goma y sellos de neopreno en estas uniones y juntas de estanqueidad para la unión de las paredes y los apoyos del contenedor. En la conexión del contenedor con el disco presentado en la Figura 3-5 se utilizarán o-ring comerciales de 14,1[mm].

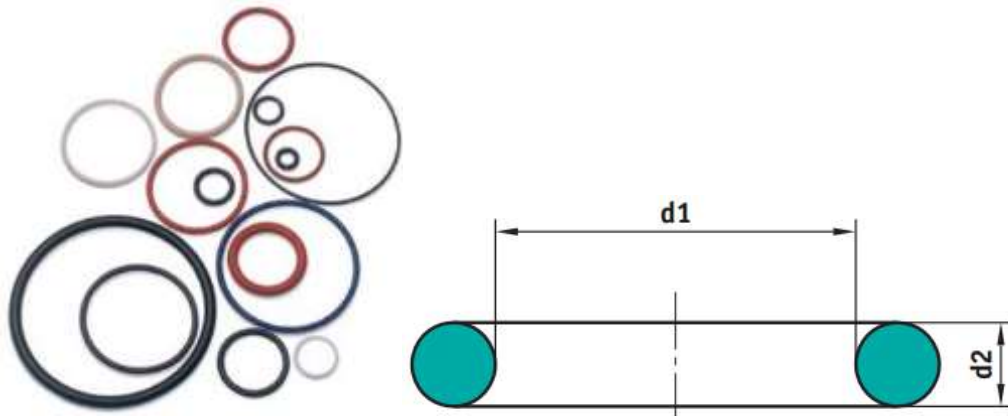


Figura 3-7: o-rings comerciales y diámetros con los cuales se dimensionan.

3.2.4 Bomba y tanque

Como se menciona en los atributos del diseño, el acople estará restringido por el espacio que permite la máquina de ensayos Zwick y el laboratorio. Considerando el caso en el que se utiliza todo el espacio permitido, es necesario implementar una bomba con la capacidad de circular este volumen de líquido y un tanque para generar la carga y descarga de este. Sin considerar el volumen utilizado por las mordazas y por la probeta, el volumen total es

$$V_t = 0,5 \times 0,5 \times 1,0 = 0,25 [m^3]$$

Los ensayos de compresión en materiales biomédicos requerirán una circulación lenta del fluido al igual que los ensayos de tensión de tejidos, estos requerimientos se expresarán como una circulación total del líquido cada media hora, esto genera un caudal promedio de

$$Q_p = \frac{0,25}{30} \cong 0,0084 \left[\frac{m^3}{min} \right] = 8,4 \left[\frac{L}{min} \right]$$

Por lo tanto, la capacidad mínima que deberá tener inicialmente el contenedor será V_t y la bomba debe ser capaz de circular un caudal de Q_p .

3.2.5 Regulación de temperatura

La regulación se realizará mediante un sistema PI simple. Estos sistemas ofrecen una regulación de temperatura tanto en frío como en caliente, dependiendo del sistema que se le acople y a la configuración utilizada. La precisión de estos equipos varía de $0,5^{\circ}\text{C}$ a $1,5^{\circ}\text{C}$ dependiendo del producto, y pueden trabajar en condiciones normales de temperatura permitiendo regular la temperatura entre -50°C y 100°C .

Con este tipo de controlador se podrá lograr asimilar a temperatura en el interior del cuerpo humano además de ofrecer regulaciones a otro tipo de ensayos, como el funcionamiento en compresión de un material en frío.

3.2.2 Tamaño de probeta

El diseño de las mordazas a utilizar en conjunto con el contenedor debe considerar un estilo modular, de tal forma que el tamaño de las probetas a ensayar pueda variar según el inserto que se utilice en las mordazas, sin embargo, como mínimo debe poder realizar ensayos con probetas tipo Dog bone de tamaño estándar según la norma ASTM E8 [13] y con probetas tipo estándar de tamaño pequeño según la misma norma. En el diseño, si bien el producto es tipo modular para poder realizar una alta variedad de ensayos, se considerará como mínimo el ensayo de la norma ASTM E9-89a para metales a temperatura controlada.

Capítulo 4: Diseño detallado

Esta etapa del diseño comienza con los componentes y condiciones establecidas en el capítulo anterior y se le comienza a formar el diseño final. Como primera parte de este capítulo se realiza el argumento numérico del contenedor, de tal forma que este cumpla con los atributos y condiciones del diseño. El tipo de argumento varía según la necesidad, ya sean cálculos geométricos, de esfuerzos y selección de tablas comerciales según se requiera. Se debe recordar que el diseño sentara sus bases sobre un concepto modular, seleccionado en el Capítulo 2: Diseño conceptual.

4.1 Contenedor

En esta sección se realizará un análisis de las dimensiones y componentes fundamentales, tales como material, tipo de uniones mecánicas y soldaduras.

Adicionalmente se establecerán los límites a los que el contenedor trabajará y se presentarán los planos finales del cuerpo del contenedor.

El punto de partida del contenedor es el volumen interior que poseerá. La restricción volumétrica que impone la máquina de ensayos es una base cuadrada de $0,25 [m^2]$ y una altura de $1 [m]$, mientras más de este espacio se utiliza permite más comodidad en el montaje y desmontaje de las partes interiores de está, como los platos de compresión y las probetas. Esto, sin embargo, aumenta la cantidad de suero fisiológico a utilizar en los ensayos y alcanzar la temperatura apta del ensayo requiere más tiempo. Considerando estas condiciones se opta por un volumen preliminar de

$$V_{inicial} = 0,3 \times 0,3 \times 0,5 = 0,045 [m^3]$$

Recordando el concepto seleccionado, las paredes del contenedor tendrán una estructura modular; separándolas en un esqueleto y paredes removibles. Si bien los sueros fisiológicos tienen una densidad cercana a la del agua, no se debe descartar en un futuro la adaptación del contenedor a ensayos bajo presión, debido a esto se optará

a una unión entre el esqueleto y las paredes de forma que un posible ensayo a altas presiones beneficie la estanqueidad.

Los tornillos a utilizar serán métricos M8x1.25 de 30[mm] de largo de acero inoxidable AISI 304 [20]. Sobre el material del esqueleto del diseño también será realizado en acero inoxidable AISI 304 por su facilidad de maquinar, de soldar y de adquirir. Para saber la cantidad de tornillos a utilizar de forma que no se filtre el líquido por las uniones, se utilizarán para el cálculo las dimensiones de las bridas como referencia.

El cálculo y el concepto se apoya en las normas DIN 2573 [14] y ASME B16.5 [15] y en los textos Montaje, ajuste y verificación de elementos de máquinas [16] y Diseño en ingeniería mecánica [17]. Para realizar este cálculo primero es necesario tener claridad de los elementos a unir. La Figura 4-1 muestra el modelo preliminar del esqueleto y de las paredes del contenedor.

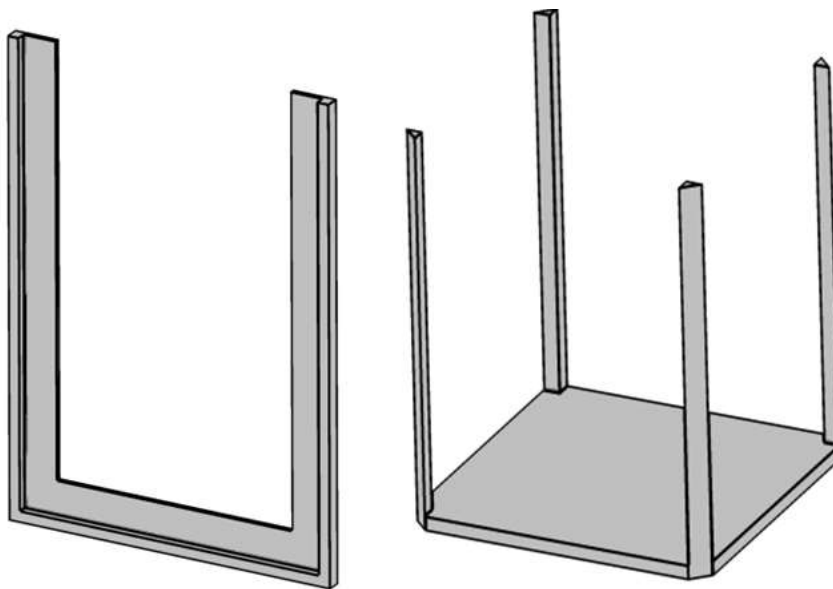


Figura 4-1. Modelos preliminares del esqueleto y las bases de las paredes del contenedor

Las dimensiones generales de este modelo armado son 316x316x416 [mm³] y el largo total de la pared, en donde se dispondrán los pernos, es 985,3 [mm]. Para esto

la norma aconseja utilizar una distribución de 12 pernos M20. El máximo esfuerzo en precarga para pernos de acero inoxidable es un 60% del límite elástico del material del cual están hechos, en este caso 210[MPa] por lo tanto, la fuerza de precarga para pernos M20 de este material es

$$F = 0,75 * (0,6 * 210) * A_t \quad (1)$$

Donde A_t es el área de rosca unificada y 0,75 es el factor para conexiones no permanentes.

$$d_t = \frac{(d - 1,299038p)(d - 0,649519p)}{2} = 17,5643 \quad (2)$$

$$A_t = \frac{\pi d_t^2}{4} = 242,2991 \quad (3)$$

Finalmente $F = 23$ [kN]

Dado el valor de la fuerza de precarga y la cantidad de pernos aconsejada por la norma, la fuerza máxima de precarga es 275[kN] lo cual equivale a soportar una presión de 21[bar]. Esta presión está totalmente fuera de los rangos a utilizar el contenedor, hay que recordar de una caldera de vapor de 3200kg/h no debiera trabajar más allá de los 16 [bar].

Como se comenta anteriormente, se utilizarán pernos M8. Se realiza nuevamente el cálculo previo ahora con 12 y con 18 pernos M8x1,25 para observar si estas configuraciones se adaptan de mejor forma a lo requerido por el diseño. En la Tabla 4-1 se muestran los resultados

Tabla 4-1: Resultados del cálculo de precarga para configuraciones de 12 y 18 pernos M8x1,25

Configuración	Área unificada [mm ²]	Fuerza total de precarga [ken]	Presión máxima soportada [bar]
12 pernos M8x1,25	36,13	49	3,7
18 pernos M8x1,25	36,13	73	5,6

La configuración de 12 pernos M8x1,25 puede soportar una presión de 3,7[bar] lo cual, para las aplicaciones pensadas para el contenedor, es suficiente. Sin embargo, para realizar el modelo de forma más conservadora⁵ y dado la metodología utilizada (estanqueidad en base a presión), se optará por la configuración de 18 pernos.

A modo de tener una mayor certeza en el modelo diseñado, se realiza el análisis MEF⁶ a una pared del contenedor con la configuración de 18 pernos M8x1,25. La carga utilizada en este análisis es la calculada y presentada en la Tabla 4-1. En la Figura 4-2 se muestra el resultado del ensayo

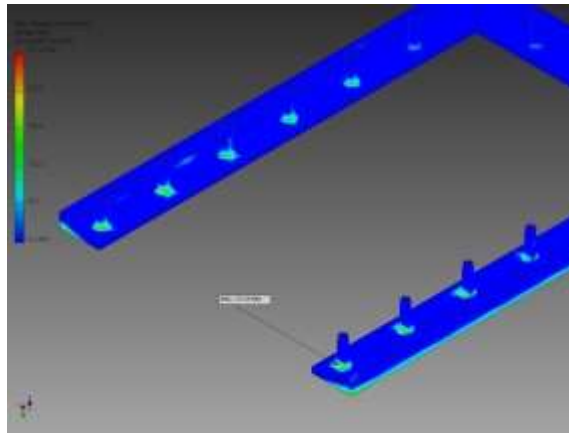


Figura 4-2. Esfuerzos de Von Mises en una pared del contenedor sometido a una presión de 5,6 [bar] mediante método MEF

⁵ Se utilizó un cálculo de presión de tal forma que no se produzcan filtraciones por un despliegue de las partes unidas, sin embargo esto no asegura que a calidad superficial de las piezas sea la correcta para evitar filtraciones. Para esto se utilizará junta de estanqueidad y adhesivo de juntas.

⁶ MEF: Método de elementos finitos, método para resolver problemas complejos discretizando el modelo y utilizando aproximaciones numéricas mediante el uso de computadoras.

Como resultado de la simulación, se obtiene que el mayor esfuerzo se produce en uno de los pernos superiores, coincidentes con la sección libre de la pared. El esfuerzo es de 277,8[MPa], el cual es 132% mayor al esfuerzo de fluencia del acero utilizado. Mediante iteraciones del modelo MEF, se obtienen los valores de presión de trabajo a los cuales los esfuerzos igualan el 60% del límite elástico y el límite elástico completo. El detalle del modelo utilizado en la simulación se encuentra en el Anexo G. Parámetros y modelo del ensayo MEF.

Tabla 4-2 Presión de trabaja a la cual la pared del contenedor alcanza el limite elástico y el 60% de este. Valores obtenidos mediante método de elementos finitos

Presión de ensayo (MEF)	Esfuerzo Von Misses máximo [MPa]	Desplazamiento máximo [mm]	Limite elástico del material (60% del límite elástico)
4,20 [bar]	208,4	0,18	210 (126)
2,54 [bar]	126	0,11	210 (126)

El espesor de las paredes debe considerar costo y la resistencia a la deformación por unión con soldadura. Como se aprecia en la Tabla 2-4: Listado de objetivos con ponderación absoluta, el requerimiento costo tiene poca importancia comparada con el requerimiento seguridad, es por esto que el costo se asumirá según el espesor que entreguen el análisis de deformación. En el diseño se utilizará soldadura tipo filete y tipo ranura

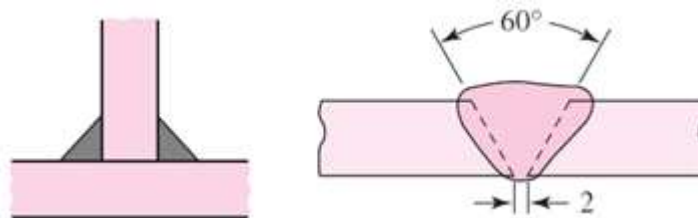


Figura 4-3. Esquema de soldadura tipo filete (izquierda) y tipo ranura (derecha)

Para evitar la deformación en el proceso de soldadura tipo ranura V se recomiendan espesores sobre los 10[mm]. Esta recomendación aplica también al uso

de soldadura de filete. Se debe tener cuidado en el proceso de soldar para evitar perder integridad del material, es por esto que se recomienda utilizar electrodos tipo 3/32. 308L ya que está diseñado exclusivamente para aceros inoxidable y posee una gran resistencia a la corrosión.

Si bien, para las condiciones básicas de trabajo del contenedor, las conexiones tanto contenedor-bomba como contenedor-controlador de temperatura puede efectuarse por la parte libre superior del contenedor, es necesario plantear los futuros usos del contenedor, por lo que una de las paredes tendrá una sección de acero más grande que las demás para facilitar futuras modificación a esa. Como se comentó, en esta sección de pared se instalará inicialmente prensaestopas plásticas tipo ISO 20 IP 68 o PG10 para que, en caso de que las conexiones antes mencionadas sean con cordones simples, puedan efectuarse fácilmente. En el Anexo E. Características prensaestopa de glándula se pueden ver más detalles de las prensas estopas y en la Figura 4-4 se muestran los dos tipos de paredes.

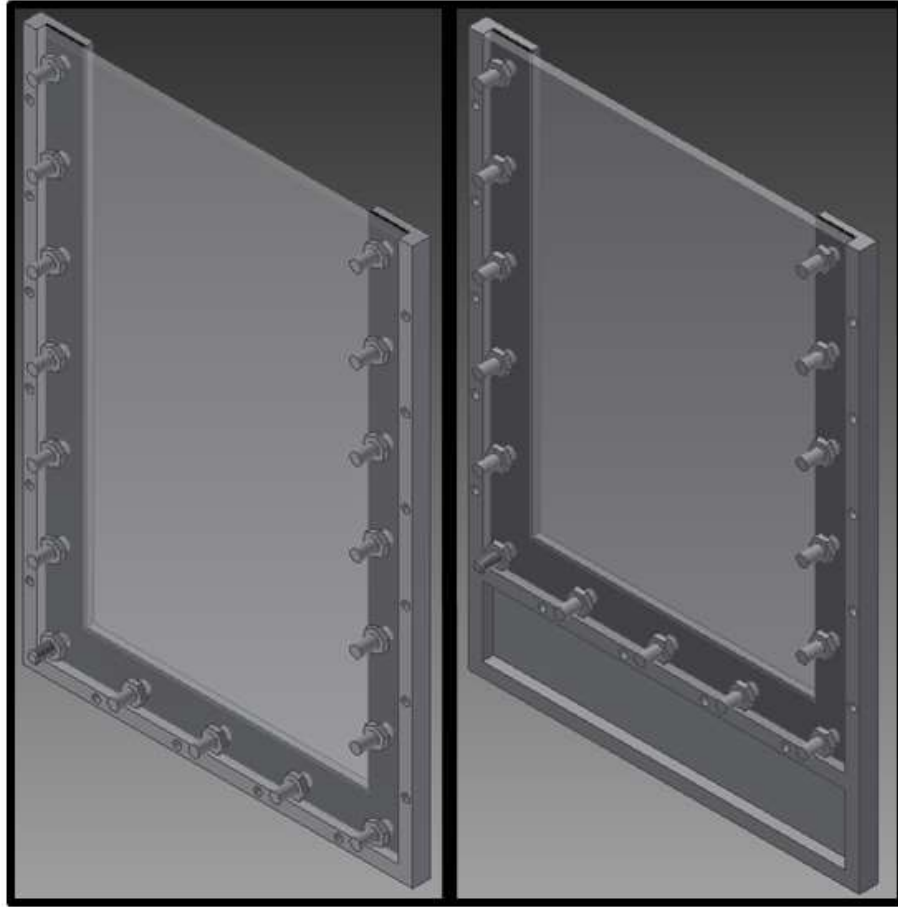


Figura 4-4. Distintas paredes del contenedor. La pared de la izquierda tiene como función solo retener el líquido (se utilizarán 3 de estas). La pared de la derecha tiene como función contener el líquido además de generar opciones para realizar las conexiones.

El esqueleto tendrá una base metálica de 16 [mm] y en el centro de esta tendrá soldada una placa de 10[mm] de alta calidad superficial, para cumplir con la sección de la normal ASTM E9 sobre el paralelismo en los ensayos de compresión. La base tendrá dos perforaciones para realizar la unión con las piezas comentadas en el apartado 3.2.2 Acople mordaza inferior y la placa tendrá cuatro perforaciones para poder montar el elemento de ensayo ya sea en el plato de compresión o mordaza de tracción. En la Figura 4-5 se muestra una previa del cuerpo y de su plano respectivo

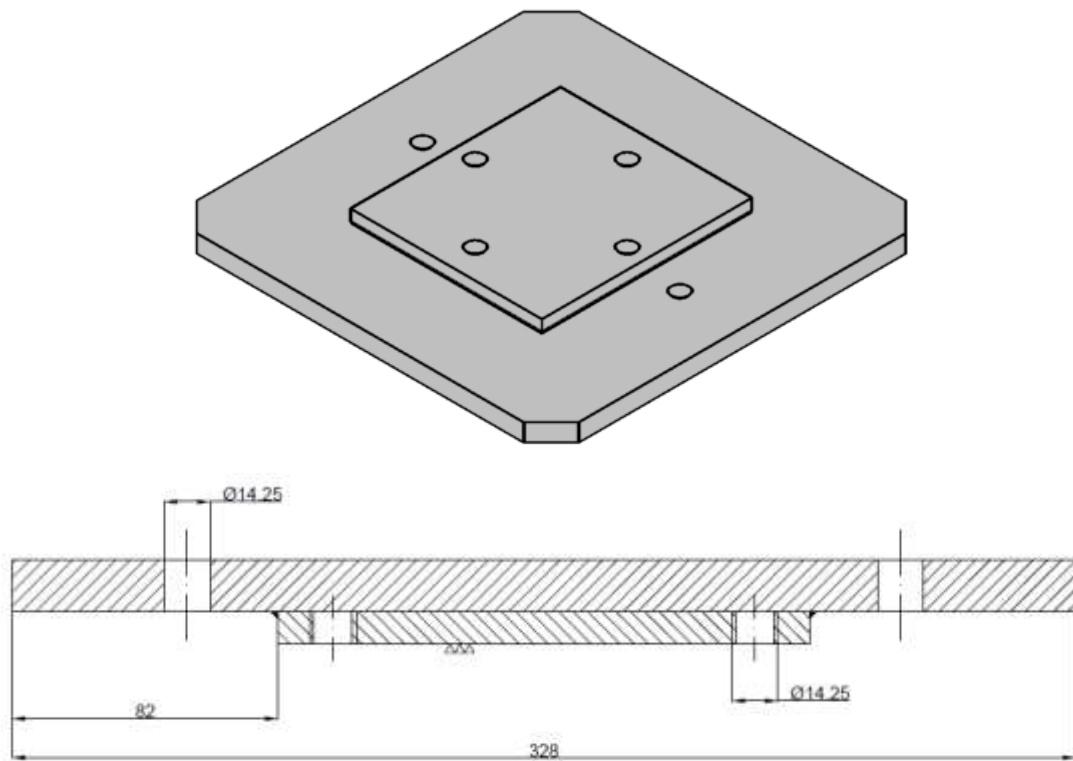


Figura 4-5. Representación 3D de la base del contenedor y el plano del perfil de esté.

Finalmente, para conectar la base con las paredes se dispondrán de cuatro columnas, a las cuales se soldarán las paredes del contenedor. En la Figura 4-6 se muestra el contenedor final con y sin paredes montadas.

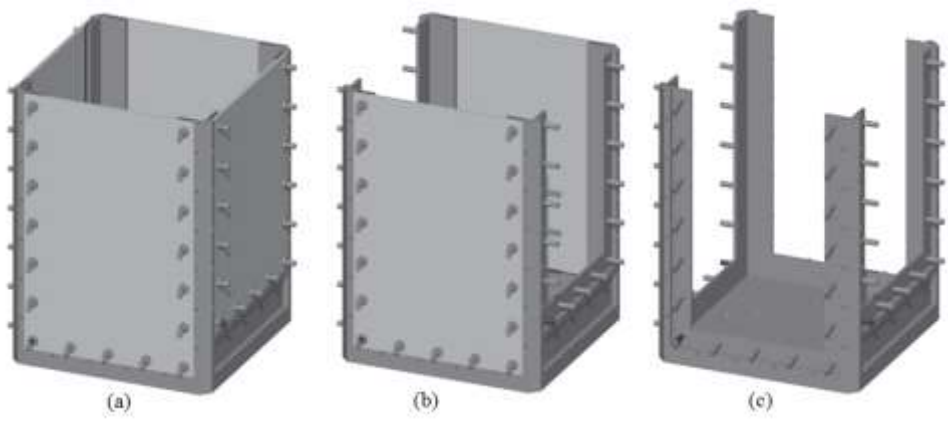


Figura 4-6. (a) Contenedor con las 4 paredes de acrílico montadas. (b) contenedor con dos paredes montadas. (c) contenedor sin las paredes montadas

El contenedor tiene los pernos soldados en la parte interior, de tal forma el montaje se efectuó de la mejor manera posible. Las paredes tienen 16 agujeros con hilo M6x1,00 para una puerta exterior en caso de ser necesario en otros tipos de ensayos. El modelo final posee una válvula manual simple para la descarga en la parte inferior del contenedor.

El material de las juntas de expansión, los sellos o-ring y las bolillas a utilizar para evitar filtraciones del líquido dependerá del tipo de ensayo. Para ensayos del tipo biomecánico donde el fluido a utilizar es altamente corrosivo se debe utilizar caucho de butilo [18], este material es utilizado para resistir la mayoría de los ácidos orgánicos y químicos y su rango de trabajo es -40°C a 135°C. Otra buena opción es el caucho estireno butadieno, aunque tiene menor resistencia y una menor elongación. Estos materiales tienen comportamiento hiperelásticos y para obtener la deformación de estos se utiliza el modelo de Mooney-Rivlin [19]. Sin embargo, para el uso práctico de estos materiales se aconseja que sea entre 0,5 [mm] a 2,5[mm] más grande que la cota nominal. Para el caso del contenedor, la cota nominal son 2 [mm] y se utilizara sellos de 3 [mm], dejando un espacio para paredes de 6 [mm] de espesor.

Las características generales del contenedor se presentan en la Tabla 4-3

Tabla 4-3. Características generales de contenedor diseñado. No considera pernos ni elementos de sello.

Características generales del contenedor	
Material	Acero inoxidable AISI 304
Hilo en paredes	M8x1,25
Material de sellos	IIR (Caucho de butilo)
Material o-ring	Caucho Fluorado
Espesor de paredes	6 [mm]
Peso	24,7 [kg]
Densidad (ASTM A276)	7,8 [g/cm ³]
Volumen interior	31360 [cm ³]

Dimensiones [mm]			
Largo	Ancho	Alto	
306	306	416	
Volumen y Masa			
Parte	Cantidad	Volumen [cm ³]	Masa [Kg]
Base	1	1909,8	14,9
Pared simple	3	372,8	2,9
Pared para conexiones	1	292,8	2,3
Total	-	3161,1	24,7

4.2 Controlador de temperatura

El sistema para controlar y estabilizar la temperatura es un termostato modelo F121975K. La alimentación es 220V y posee un relé de 220V/16A con lo cual se puede acoplar un equipo para calentar/enfriar de hasta 3,5[kW]. La precisión del equipo es 0,5°C y el rango de temperaturas que puede manejar es de -50°C a 105°C. La potencia del equipo es inferior a los 4[W]. En la Figura 4-7 se observa el termostato y en la Figura 4-8 el esquema de cómo realizar las conexiones.



Figura 4-7. Imagen del controlador de temperatura utilizado en el montaje del contenedor.

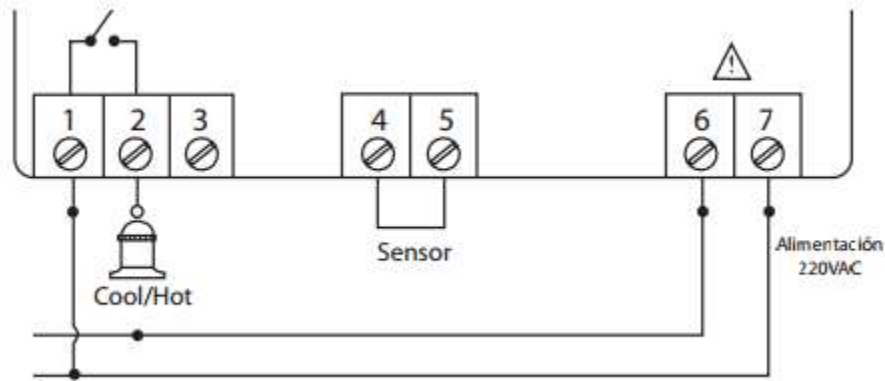


Figura 4-8. Esquema del circuito con el que se monta el termostato, el equipo calentador/enfriador y el sensor.

Como fuente de calor se utiliza una resistencia de una fase de acero inoxidable de tipo tubular de $15[\Omega]$ con terminales de tornillo e hilo, generando una circulación de $14[A]$ por la resistencia, la cual está bajo del relé mencionado anteriormente

De la Tabla 4-3 se tiene que el volumen interno es $0,03136[m^3]$, utilizando como referencia el agua como líquido a utilizar, cuya densidad es $1000[kg/m^3]$ y calor específico es $1 [kcal/kg^{\circ}C]$, considerando temperatura ambiente promedio $12,64^{\circ}C^7$ y cuyo objetivo es alcanzar los $37^{\circ}C$, tenemos que la energía requerida es

$$Q = mc\Delta t = (0,03136 \cdot 1000) \cdot 1 \cdot (37 - 12,64) \quad (4)$$

$$Q = 763,93[kcal]$$

lo que equivale a

$$Q = 3196,3[kJ]$$

La resistencia a utilizar de $15[\Omega]$ y conectada a $220[V]$ proporciona una potencia de $3,4[kW]$ aproximado. Por lo que el tiempo empleado para calentar el agua es

⁷ Dato obtenido promediando la temperatura mensual del aire entre los meses de marzo y noviembre del año 2014 registrado por la estación La Platina en Santiago de Chile.

$$t = \frac{3196,3}{3,4 \cdot 60} = 15,67[\text{min}] \quad (5)$$

Se debe recordar que los valores presentados son una aproximación ya que se realizaron utilizando los parámetros del agua, también se debe mencionar que se utilizó el volumen real del contenedor, siendo que en la práctica un porcentaje de este volumen será utilizado por los platos de ensayo y la probeta.

4.3 Bomba recirculadora

El sistema que hace recircular el fluido de ensayo, está conformado por una bomba sumergible de baja capacidad en conjunto de una válvula de estrangulación. Se debe recordar que también es posible utilizar una bomba de pecera o una bomba de infusión médica, sin embargo, se presenta la bomba sumergible ya que es fácil de obtener y amplía las posibilidades de trabajo.



Figura 4-9. Bomba sumergible Comet Elegant de 18W para recircular el fluido de ensayo.

La bomba seleccionada se puede observar en la Figura 4-9. La conexión de la bomba es a 12 [V] por lo que se requerirá el uso de un transformador comercial 220[V]/12[V]. Las dimensiones de la bomba son 104[mm] de largo y 38[mm] de diámetro. El caudal máximo que proporciona son 8 litros/minutos. El caudal requerido es

$$\text{Caudal} = \frac{\text{volumen}}{\text{tiempo}} = \frac{31,36 \text{ litros}}{30 \text{ minutos}} = 1 \frac{\text{litro}}{\text{minuto}}$$

Con este caudal se recircula el volumen total en media hora. La bomba tiene una capacidad mayor a la requerida, por lo que es necesario el uso de una válvula de estrangulación. Cabe mencionar que esta bomba hecha para trabajar en agua potable y su vida útil son 1000 horas, al utilizar esta bomba en fluidos más agresivos que el agua, su vida disminuirá.

Capítulo 5: Diseño final, Costo y montaje

En este capítulo se presenta, en primera instancia, el modelo del diseño final. Luego se detallan los costos de este, tanto estimados como cotizados. Y finalmente se realiza una lista de pasos a modo de manual sobre el montaje y el uso del equipo.

5.1 Presentación del diseño final

En la presente sección se presenta el diseño final. Primero se mostrará un esquema del circuito eléctrico seguido de esquemas y planos del contenedor. También se realizará una evaluación del resultado del diseño comparado con el diseño conceptual, en específico con los atributos del diseño.

Circuito eléctrico y caja de control

En la Figura 5-1 se muestra el circuito eléctrico encargado de energizar la bomba y el termostato. El termostato se alimenta de 220[V] y transfiere este voltaje a la resistencia, la bomba se alimenta de 12[V] por lo que es necesario el uso de un transformador. Tanto el termostato como la bomba cuentan con un interruptor para la alimentación, de tal manera que puedan ser apagados y encendidos de forma independiente.

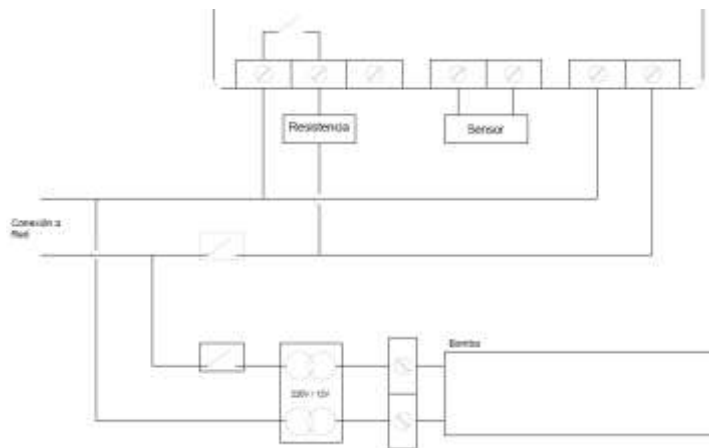


Figura 5-1. Esquema del circuito eléctrico utilizado para controlar la temperatura y para recircular el fluido.

El relé del termostato es de 16[A], siendo este su máximo consumo eléctrico mientras que la bomba requiere para su máxima potencia 0,8[A], de esta manera el circuito completo tiene un consumo eléctrico de 16,8[A] en su máxima capacidad, lo que significa una potencia instalada de 3,7[kW]. Si bien la bomba se utilizará en todo el transcurso del ensayo, el termostato se usará de forma alternada, siendo utilizado un 30% del tiempo aproximadamente. De esta forma el consumo energético del dispositivo, en una hora de trabajo, será aproximadamente

$$\text{Consumo} = 16[\text{A}] \cdot 220[\text{A}] \cdot 0,3 + 0,8[\text{A}] \cdot 220[\text{A}] = 1,232[\text{kWh}]$$

Contenedor

En la Figura 5-2 se muestra el conjunto del contenedor. En este modelo, en la parte posterior de la Figura, se encuentra la conexión de la resistencia, la válvula de escape y la prensaestopa para las mangueras, la cual se detalla en la Figura 5-3.

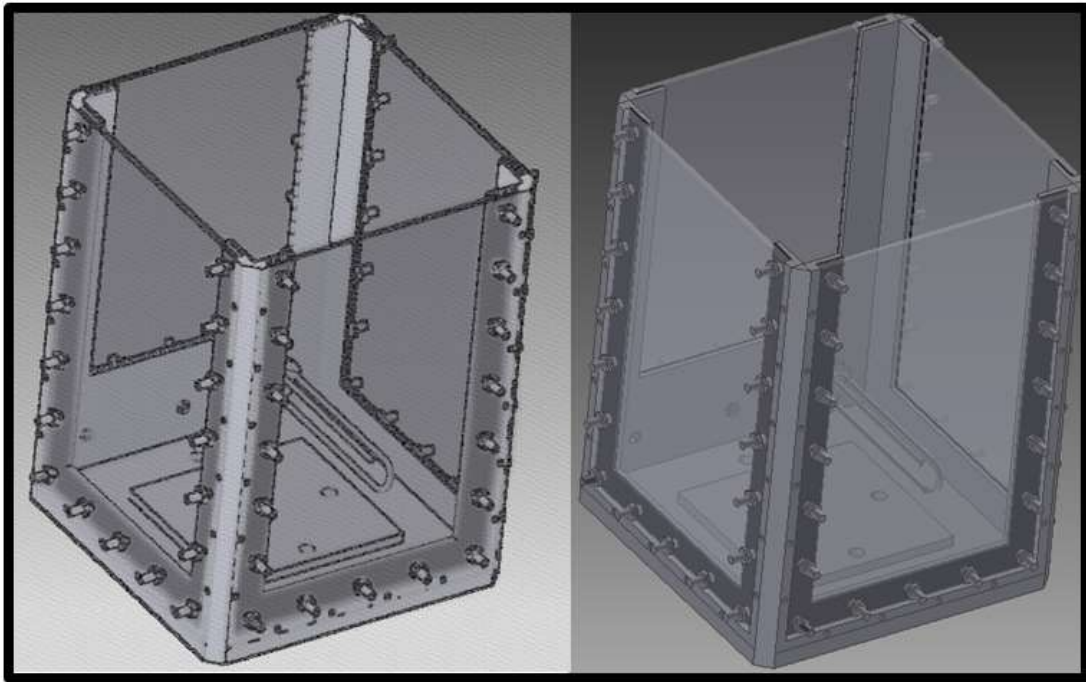


Figura 5-2. Modelo final de contenedor, con las paredes y la resistencia instaladas.

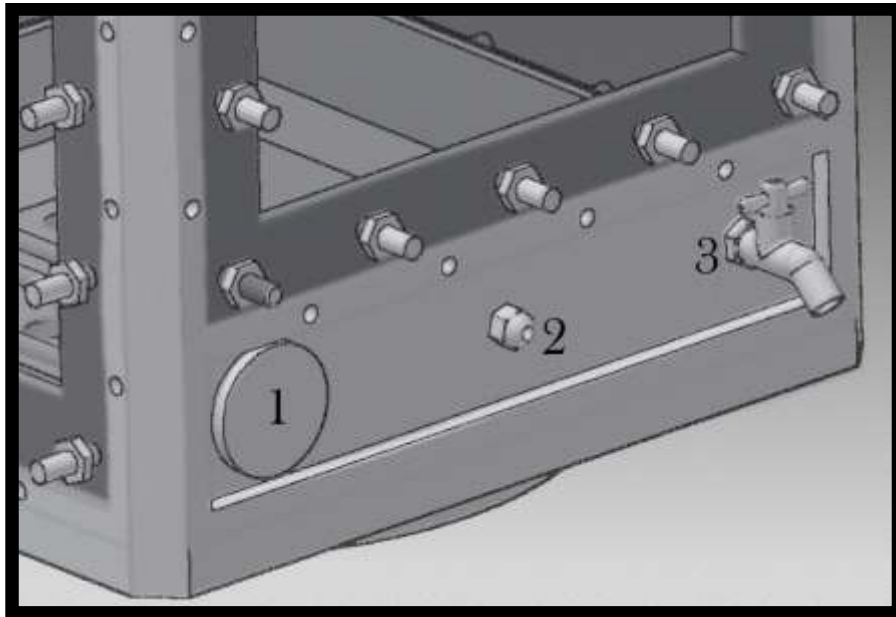


Figura 5-3. Parte lateral del contenedor, donde se realizan las conexiones con la resistencia (1) y la salida de líquido (2). Además, se encuentra la válvula de descarga (3).

Los planos del contenedor se adjuntan a la memoria impresos en formato ISO A1 e ISO A2. En las Figura 5-4 y Figura 5-5 se pueden apreciar ejemplos de los planos para poder entender de mejor manera el conjunto contenedor.

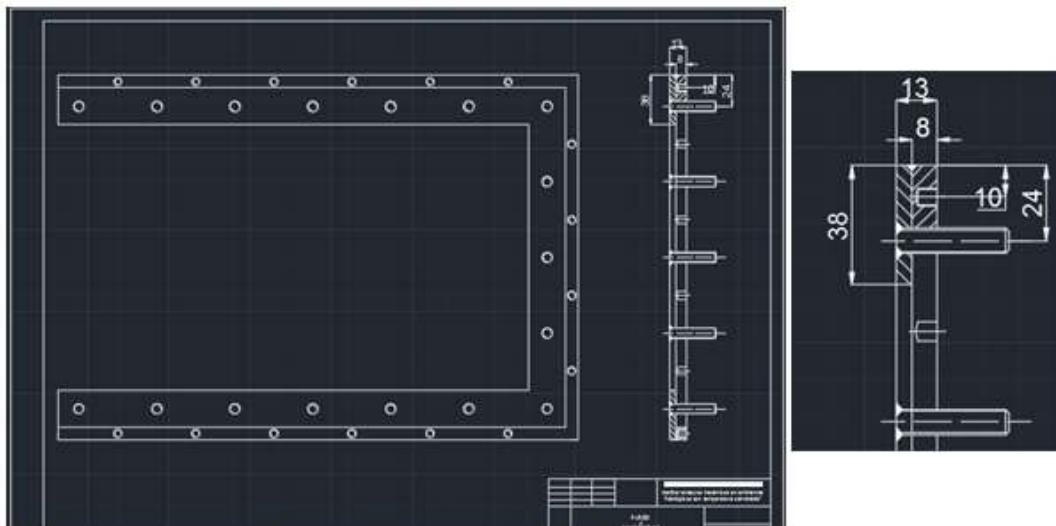


Figura 5-4. Ejemplo de los planos del contenedor.

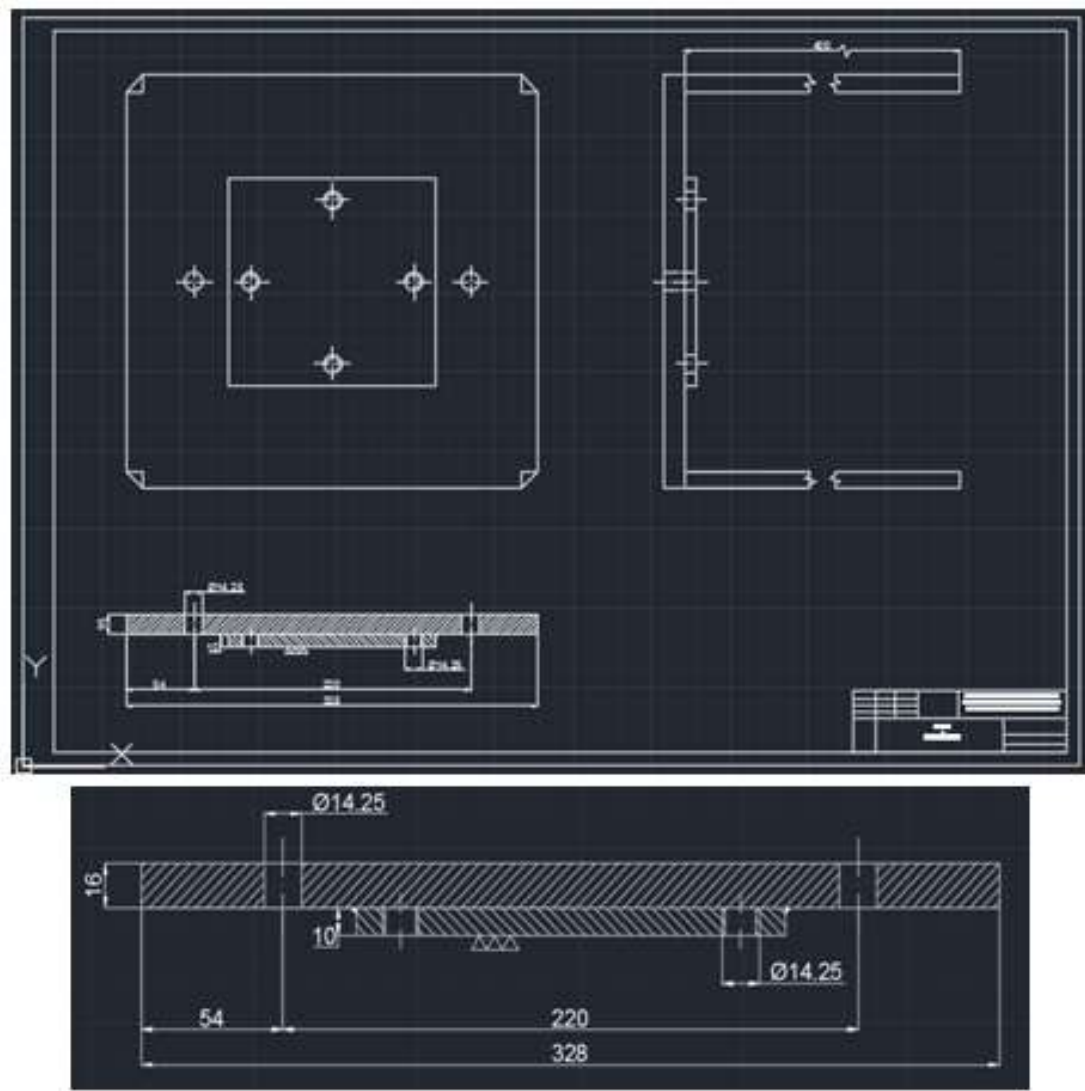


Figura 5-5. Ejemplo de los planos del contenedor.

Evaluación del diseño

A modo de evaluación, se realiza un listado de los atributos presentados en el Capítulo 2: Diseño conceptual y se analiza cómo se comporta diseño final con cada, uno evaluando con un porcentaje de cumplimiento (0%: no se consideró en el diseño, 20%: no se consideró pero la decisión tomada aporta beneficios, 40%: se consideró en el diseño pero no fue prioridad, 60%: se consideró en un grado alto, 80%: se consideró y fue una prioridad y 100% cumple a la perfección lo solicitado por el atributo) . Luego

se ponderan estas evaluaciones con el peso de cada atributo, para así, obtener una evaluación final del diseño.

Seguridad: Seguro para la máquina Zwick Roel Z100 (21,64%)

El primer punto a evaluar es la seguridad para la máquina de ensayos, lo que se traduce en alcanzar una alta estanqueidad. Para poder lograrlo, se utiliza bolillas de caucho de butilo en las cuatro conexiones inferiores, que son las únicas en contacto directo con el contenedor, y se utiliza este mismo material en las juntas de estanqueidad de las paredes del contenedor. Esta medida en conjunto con una precarga media en las uniones proveen una estanqueidad muy alta dadas las solicitudes de trabajo. Además, las paredes del contenedor son unidas mediante soldadura, para evitar así posibles fugas. Como consideración final, se disponen de una serie de agujeros en el exterior de las paredes para poder utilizar una contra compuerta para generar una respuesta a grandes presiones y así no perjudicar la estanqueidad.

La evaluación en este punto es un 95%, considerando que las medidas tomadas son suficientes, sin embargo, el factor error humano al montar las paredes puede eventualmente provocar un error.

Seguridad: Seguro para el usuario (12,57%)

Para generar una mejor estanqueidad, la conexión de las puertas de acrílico debería ser interior, de tal forma que la presión comprima el sello de estanqueidad contra las paredes y así impedir una caída de estanqueidad, sin embargo, esto dificultaría el montaje y la seguridad durante este proceso, ya que en el interior se tendrá que montar, además de platos/mordazas los pernos, y esto podría ocasionar accidentes. Con respecto a los circuitos eléctricos, están todos completamente aislados y el usuario solo debe presionar un interruptor para encender los equipos.

La evaluación en este punto es un 100%.

Seguridad: Evitar uniones propensas a atrapamientos (10,65%)

Las medidas utilizadas para resguardar este punto son las mismas mencionadas en el punto anterior.

La evaluación es un 100%

Seguridad: Resistente a líquidos salinos (3,64%)

Este punto considera una resistencia a la oxidación y a la corrosión del contenedor, para esto se seleccionaron materiales con propiedades adecuadas para estas condiciones. Sin embargo, existen materiales que resisten de mejor manera estas condiciones, pero poseen un costo más alto y tienen menos maleabilidad. Además, la bomba seleccionada, si bien para las condiciones consideradas cumple su cometido, una bomba con recubrimiento en el rodete u otro mecanismo de protección prolongaría la vida útil del sistema que realiza la circulación del líquido, sin embargo, en el balance de costo contra utilidad, este último no es viable.

La evaluación en este punto es un 40%, ya que, si bien cumple las condiciones mínimas, no es óptimo.

Seguridad: Desmontaje sencillo (2,27%)

El desmontaje del equipo no debiera conllevar mayores problemas, sin embargo, es un procedimiento de dificultad media, ya que el fluido debe ser retirado abriendo la válvula de escape, luego se debe desmontar la bomba y el sensor y posteriormente se debe retirar el equipo.

La evaluación en este punto es un 60%, ya que, si bien cumple las condiciones mínimas, no es óptimo.

Seguridad: Fácil de operar (0,95%)

La operación del equipo una vez montado es mediante dos interruptores, uno para la bomba y uno para el termostato, lo demás es controlado directamente por la máquina de ensayos. Este punto fue considerado al momento de crear el circuito eléctrico.

La evaluación es un 100%

Prestación: Controlar la temperatura de los ensayos (9,91%)

Este punto fue considerado en la elección del dispositivo controlador de temperatura, se debe aclarar que este punto no solo considera si se puede o no controlar la temperatura del ensayo, sino que también considera que tan bien la controla, considerando esto último, la elección del termostato fue altamente influenciado por el costo de este y no fue la elección óptima.

La evaluación en este apartado es 70%, ya que fue considerado en un grado muy alto en el diseño, sin embargo la elección no fue la óptima.

Prestación: Ensayos visibles (5,95%)

Este atributo fue considerado en la selección de material de las paredes, para este caso se utilizó acrílico en primera instancia, el cual posee una transparencia alrededor del 93%, siendo así de las mejores alternativas en el mercado.

La evaluación en este punto es un 100%.

Prestación: Permitir variabilidad de los tamaños de probetas (5,29%)

Este punto, si bien fue considerado, terminó siendo independiente del contenedor ya que este no posee sistema de sujeción propio para las probetas.

La evaluación en este punto es un 50%, ya que fue considerado pero no terminó siendo parte del diseño.

Prestación: Repuestos de fácil adquisición (1,85%)

La elección de arquitectura modular además de piezas y materiales comunes en el mercado fueron influenciados por este punto, ya que al ser un diseño modificable, los materiales deben ser sencillos de encontrar y de igual manera los repuestos son de sencilla adquisición.

La evaluación en este punto es un 100%.

Ejecución: Acoplable a la máquina Zwick Roell Z100 (6,39%)

Este punto fue considerado en todo el diseño, siendo el punto de inicio en el diseño de detalle, ya que influencio en la conexión del montaje y las dimensiones máximas del contenedor.

La evaluación en este punto es un 100%.

Ejecución: Sistemas modificables (5,18%)

La decisión de una arquitectura modular fue una decisión enfocada en este atributo, ya que con este modelo de diseño la modificación post diseño es sencilla y altamente permisible.

La evaluación en este punto es un 100%.

Ejecución: No derramar líquidos al desmontar (2,01%)

En este punto fue considerado y ya explicado en el atributo Seguridad: Desmontaje sencillo.

La evaluación en este punto es un 60%, ya que si bien cumple las condiciones mínimas, no es óptimo.

Ejecución: Mantenimiento fácil de realizar (0,79%)

El mantenimiento en productos con arquitectura modular es sencillo y de fácil acceso al poder realizar control sobre sistemas independientes. Además, las fallas son fácilmente identificables, ya que cada módulo realiza una función en específico.

La evaluación en este punto es un 100%.

Costo: Bajo costo de materiales (4,68%)

Como ya se mencionó, este punto fue considerado al seleccionar los materiales de construcción y los elementos del contenedor. La elección del material acero inoxidable AISI 304, al ser una gran cantidad de material, genera una gran variación en los costos, y la tecnología y prestaciones del termostato tienen una alta influencia en el costo de este.

La evaluación en este punto es un 100% ya que influyó en alto grado el resultado del diseño.

Costo: Bajo costo de manufactura (4,68%)

Si bien este atributo fue considerado se dio prioridad a otros, como la seguridad del equipo de ensayos. Por esto, en el diseño hay una gran cantidad de elementos soldados a pesar del costo que conlleva esto.

La evaluación en este punto es un 60%.

Costo: Bajo costo de mantenimiento (1,56%)

Este apartado no fue considerado directamente, sin embargo la arquitectura modular beneficia el costo de mantenimiento.

La evaluación en este punto es un 60%, ya que, si bien el diseño posee bajo costos de mantenimiento, este no fue crucial en las decisiones.

A continuación, en la Tabla 5-1, se muestra un resumen de la evaluación y el porcentaje total de cumplimiento del diseño final.

Tabla 5-1. Evaluación del diseño final en función de los atributos del diseño mediante pesos ponderados.

Atributo	Evaluación	Peso relativo	Evaluación relativa
Seguridad	91,93%	51,72%	47,55%
Seguro para la máquina Zwick Roell Z100	95%	21,64%	20,56%
Seguro para el usuario	100%	12,57%	12,57%
Evitar uniones propensas a atrapamientos	100%	10,65%	10,65%
Resistente a líquidos salinos	40%	3,64%	1,46%
Desmontaje sencillo	60%	2,27%	1,36%
Fácil de operar	100%	0,95%	0,95%
Prestación	75,61%	22,99%	17,38%
Controlar la temperatura de los ensayos	70%	9,91%	6,94%
Ensayos visibles	100%	5,95%	5,95%
Permitir variabilidad de los tamaños de probetas	50%	5,29%	2,65%
Repuestos de fácil adquisición	100%	1,85%	1,85%
Ejecución	94,41%	14,37%	13,57%
Acoplable a la máquina Zwick Roell Z100	100%	6,39%	6,39%
Sistemas modificables	100%	5,18%	5,18%
No derramar líquidos al desmontar	60%	2,01%	1,21%
Mantenimiento fácil de realizar	100%	0,79%	0,79%
Costo	77,14%	10,92%	8,42%
Bajo costo de materiales	100%	4,68%	4,68%
Bajo costo de manufactura	60%	4,68%	2,81%
Bajo costo de mantenimiento	60%	1,56%	0,94%
Total			86,92

5.2 Costo

Para el determinar el costo del contenedor se puede realizar una aproximación mediante la cantidad de kilos de acero, la longitud de las juntas y la complejidad de las operaciones. Los valores a utilizar en esta aproximación son valores estimativos obtenidos de distintas fuentes de internet, tiendas comerciales del rubro y foros de ingeniería. En la Tabla 5-2 se muestra el detalle.

Tabla 5-2. Detalle del precio estimado del contenedor según material. Costo de mano de obra incluido en el costo de material.

Contenedor				
Elemento	Peso [kg]	Costo por kilo	Factor complejidad	Total
Acero inoxidable AISI 304	24,7	\$8.000	1,20	\$237.120
Elemento	Largo [m]	Costo por metro	Factor complejidad	Total
Electrodo 3/32. 308L	3,65	\$17.520	1,20	\$76.738
Elemento	Cantidad	Costo por unidad	Factor cantidad	Total
Perno M8	72	\$1.200	0,95	\$82.080
Total				\$395.938

Los costos presentados en la tabla se comparan con la cotización realizada del contenedor por la empresa EMEM Ltda, la cual tiene un costo de \$320.000 neto (IVA no incluido), por lo que el costo real es \$380.800. La cotización incluye la construcción

del contenedor en acero inoxidable AISI 304 con decapado y pasivado. La cotización se presenta en detalle en el Anexo F. Cotización de contenedor.

De los elementos del diseño, el contenedor es el único que incluye un costo por mano de obra ya que el resto del montaje se puede realizar de manera local. En la siguiente tabla se detallan los costos totales del diseño, esto incluye todos los componentes a utilizar.

Tabla 5-3. Costo total del diseño, considerando materiales y mano de obra. Las fuentes de los costos son cotizaciones o casas comerciales.

Costos			
Unidad	Cantidad	Costo unitario	Costo total
Contenedor	1 unidad	\$380.800	\$380.800
Paredes de acrílico	4 unidades	\$3.500	\$14.000
Bomba sumergible	1 unidad	\$12.900	\$12.900
Transformador 220V/12V	1 unidad	\$9.990	\$9.990
Conexión tubular $\varnothing 10$ [mm]	6 metros	\$1.200	\$7.200
Balde plástico 20 litros	1 unidad	\$3.490	\$3.490
Válvula simple	2 unidades	\$4.000	\$8.000
Cordón 2x1,5	3 metros	\$450	\$1.350
Termostato	1 unidad	\$21.590	\$21.590
Resistencia de acero inoxidable	1 unidad	\$25.000	\$25.000
Total			\$484.320

5.3 Montaje y desmontaje

A continuación, se presentan los pasos para instalar el equipo junto a algunos consejos en el uso de este, enfocado en ensayos biomecánicos.

1. Preparar el fluido a utilizar para simular el ambiente biológico, tomando las precauciones presentadas en el apartado 1.4.1 Fluidos fisiológicos simulados (SBF). Para calcular la cantidad se recomienda 1.2 veces el volumen del contenedor.
2. Precalentar el SBF a la temperatura deseada del ensayo (en el mismo sitio donde fue preparado) utilizando el sistema de control de temperatura del contenedor.
3. Montar el plato de compresión, la mordaza o el elemento para poder realizar el ensayo. En caso de ensayos de compresión, verificar con un reloj comparador el paralelismo, para poder realizar el ajuste, se debe pre cargar o soltar los pernos de la base.
4. Montar tres paredes del contenedor, con adhesivo y junta de estanqueidad. Verificar que todo este correcto, instalar la resistencia y ubicar la bomba sumergible. Luego montar la última pared.
5. Realizar la precarga en la máquina Zwick
6. Ingresar el líquido en el contenedor con la bomba, una vez que el contenedor contenga líquido suficiente, modificar la instalación bomba para que realice la circulación del fluido. Es recomendable tener la válvula abierta hasta alcanzar el nivel requerido
7. Encender el controlador de temperatura y mantener la bomba encendida, esperar a que se alcance la temperatura deseada.
8. Regular el flujo con la válvula estranguladora, asegurar que la válvula de descarga este totalmente cerrada y que no exista ningún tipo de filtración.
9. Comenzar el ensayo.
10. Una vez terminado el ensayo, conectar la manguera a la válvula de descarga para vaciar el contenedor.
11. Quitar una pared, desmontar la probeta y sacar el contenedor de a máquina de ensayos.
12. Quitar las paredes y secar el contenedor con un paño seco. Guardar el contenedor.

Capítulo 6: Conclusiones

El proceso de diseño comienza con el diseño conceptual, definiendo el problema a solucionar en términos ingenieriles, es decir, en objetivos, restricciones y funciones. Esta metodología de diseño permitió evaluar más de una alternativa dando relevancia a atributos de mayor importancia.

La generación y selección de conceptos se realizó en base a los atributos y esto permitió la creación de tres enfoques para los conceptos, donde luego de evaluar con los pesos ponderados se seleccionó uno, lo que no significa que sea mejor a los otros, ya que el enfoque de cada concepto es distinto. No obstante, el concepto seleccionado es el que más se adaptó a las necesidades el cliente.

En la selección de conceptos y componentes se buscó variedad de equipos comerciales que cumplieran las funciones, a pesar de que la categoría de atributos "costos" tiene poca relevancia, muchas veces influencio la toma de decisiones, este también se puede observar en la evaluación del diseño final realizado en el Capítulo 5: Diseño final, Costo y montaje.

Sobre los costos de fabricación, el método de estimación fue muy aproximado al cotizado, esto demuestra que estimaciones en procesos del diseño, siempre y cuando se hagan con buenos criterios, pueden ser una muy buena referencia.

Referencias

- [1] Ullman, David G. The mechanical desing process. McGraw-Hill. 1997. 104-108p. ISBN 007-065756-4

- [2] C. Aguilar, D. Guzmán, F. Castro, V. Martínez, F. de las Cuevas, S. Lascano, T. Muthiah: Fabrication of Nanocrystalline Alloys Cu-Cr-Mo Supersaturated Solid Solution by Mechanical Alloying. 2014.

- [3] Dieter, George E.;Linda C. Schmidt. Engineering Desing. 4ta ed. New York: The McGrawn-Hill Book Co, 2009. ISBN 978-0-07-283703-2

- [4] R. Venugopalan and J. Gaydon. A review of corrosion behaviour of surgical inplant alloys. Perkin Elmer instrument: Princeton, 2001.

- [5] T. Kokubo, H. Kushitani, S. Sakka, T. Kitsugi, T. Yamamuro, J. of Biomedical Materials. 1990.

- [6] Ayako Oyane, Hyun-Min Kim. Preparation and assessment of revised simulates body fluids. Mayo 2002.

- [7] Swati Gaur, R.K.Singh Raman, A.S. Khanna. In vitro investigation of biodegradable polymeric coating for corrosion resistance on Mg-6Zn-Ca alloy in simulates body fluid. Mayo 2014. p. 1-8.

- [8] ASTM E4, "Standard practices for force verification of testing machines", ASTM, American Society for Testing Materials.

- [9] ASTM E9, "Standard test methods of compression testing of metallic materials at room temperature", ASTM, American Society for Testing Materials.
- [10] ISO 14556:2000, "Charpy V-notch pendulum impact test". International Organization for Standardization.
- [11] Saaty, Thomas L. Conflict Resolution: Analytic Hierarchy Approach. Praeger Pub. 1989. ISBN 9780275932299
- [12] Zwick Roell. Testing Machines and Systems for the medical industry. [en línea]. Zwick international, aplicaciones [Consulta: 09-May-2014]. Disponible en: http://www.zwick.com/no_cache/en/applications.html?tx_z7treedependingdownloads_pi1%5Bfile%5D=296
- [13] ASTM E8, "Standard test methods for tension testing of metallic materials", ASTM, American Society for Testing Materials.
- [14] DIN 2573, " Flat flange for welding", DIN, Instituto Alemán de Normalización.
- [15] ASME B16.5 (2003), "Pipe flanges and flanged fittings", ASME, American Society of Mechanical Engineers.
- [16] J. Schröck. Montaje, ajuste y verificación de elementos de máquinas. Reimpresión, 2003. Reverte S. A. ISBN: 84-291-6075-2
- [17] Shigley, J. E., Budynas, R. G., Mischke, C. R. (2004). Mechanical engineering desing.

- [18] CalvoSealing. Sellado estático, criterios de selección. [Consulta: 28-12-2015]. Disponible en:
http://www.calvosealing.com/documents/catalogues/SELLADOS_ESTATICOS.pdf
- [19] Haupt, P. (2002). Continuum Mechanics and theory of materials. ISBN 978-3-662-04775-0
- [20] Irestal Group. Tablas técnicas del acero inoxidable. . [Consulta: 28-12-2015]. Disponible en:
<http://data.irestal.com/files/files/2012030204152933979.pdf>

Anexos

A. Máquina de ensayos generales Zwick Roell Z100

En el presente anexo se extraen y presentan los datos técnicos de la máquina de ensayos obtenidos del manual de la máquina Zwick Roell Proline Z100.

En las figuras Figura A-1 y Figura A-2 se presentan las partes y las dimensiones generales de la máquina y en la tabla se presentan un resumen de los datos técnicos.

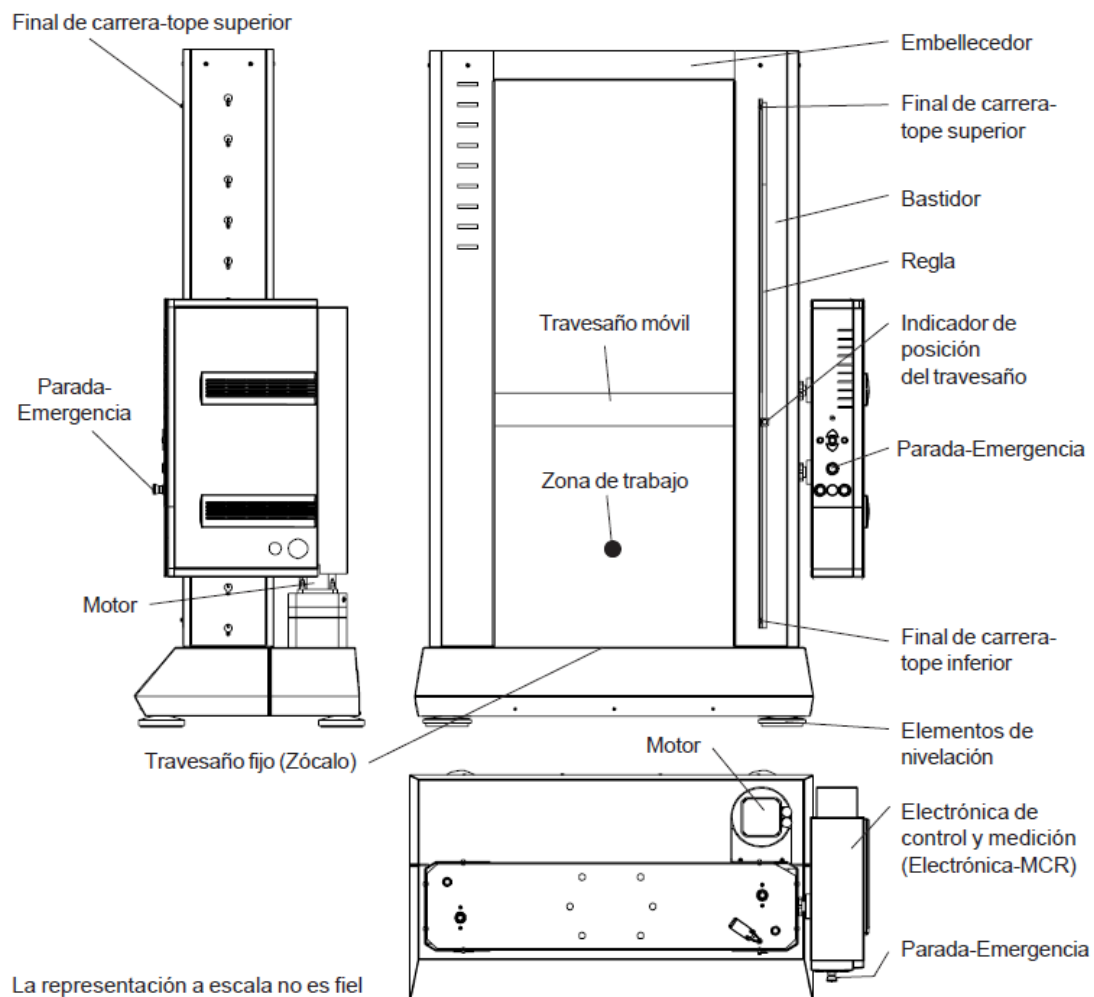


Figura A-1. Resumen de las partes de la máquina de ensayos Zwick Roell Z100.

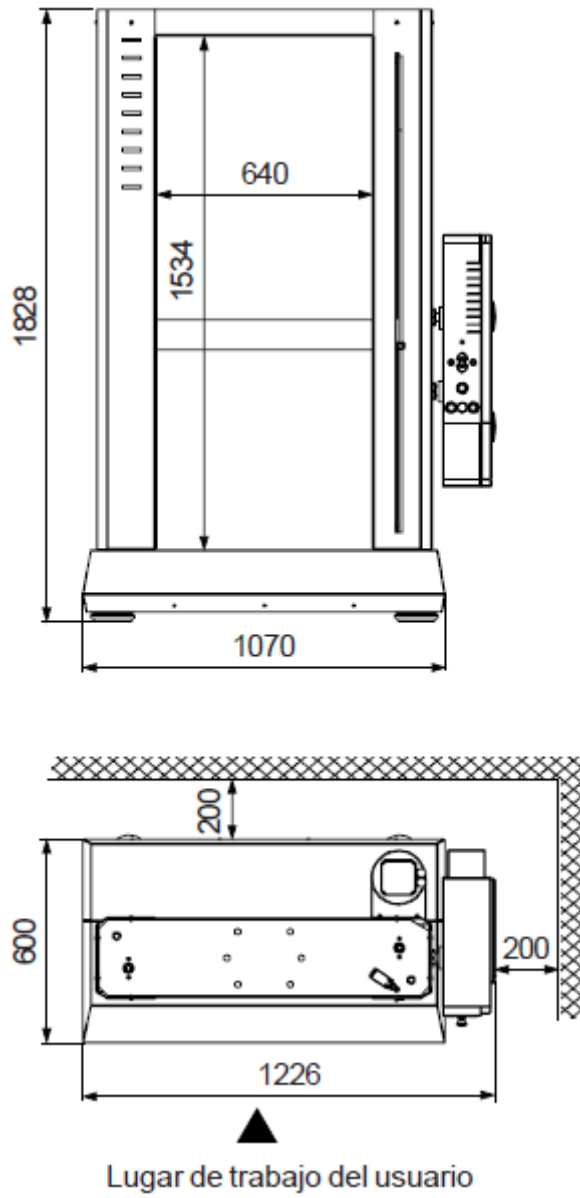


Figura A-2. Dimensiones de trabajo y generales de la máquina Zwick Roell Z100.

Tabla A-1: Resumen de los datos técnicos y eléctricos de la máquina Zwick Roell Z100.

Datos generales	
Fuerza a tracción/compresión	100[kN]
Peso sin accesorios (con accesorios típicos)	530[kg] (680[Kg])
Temperatura de trabajo	+10 a +35 °C
Humedad	20 a 90%
Nivel de ruido	71dB(A)
Accionamiento	
Velocidad del travesaño	0,0005 hasta 300 [m/min]
Precisión de la velocidad	0,037% de V_{nom}
Resolución del recorrido	0,0081 [μ m]
Frecuencia máxima de ensayo	0,5 [Hz]
Valores de conexión	
Conexión eléctrica	230 V (1 Ph, N, PE)
Máxima oscilación admisible de la tensión de red	± 10 %
Potencia absorbida (carga máxima)	3000 [VA]
Frecuencia de red	50/60 [Hz]
Sistema de fusibles de la alimentación (red)	≤ 16 [A]
Zócalo	
Carga máxima	700 [kg]
Dimensión: Ancho	1.130 [mm]
Dimensión: Fondo	696 [mm]
Dimensión: Altura	522 [mm]

La utilización estipulada de la máquina de ensayos es la aplicación de fuerzas cuasiestáticas en procesos continuos, estático, pulsantes o alternantes mediante un accionamiento electromecánico. La máquina está desarrollada para ensayos de tracción, compresión y flexión.

Descripción del funcionamiento.

El bastidor de la máquina de ensayo de ensayos junto con unidad electrónica de medición, control y regulación forman la unidad básica para el ensayo de los más variados materiales.

El bastidor de la máquina de ensayos consiste básicamente en un zócalo con accionamiento por husillos, columnas de guía, husillos de bolas recirculantes, un travesaño fijo y un travesaño móvil así como de embellecedor superior.

El accionamiento mecánico se encuentra en el zócalo. La parte inferior del travesaño móvil dispone de un centraje de 30 [mm] de diámetro. El travesaño zócalo y la parte inferior del travesaño móvil disponen de un centraje de 70 [mm] de diámetro así como de seis agujeros roscados M16 dispuestos concéntricamente a 45° en un círculo graduado de 220[mm] de diámetro. Sirven para la adaptación de captores de fuerza y de conectores o de diversos dispositivos adicionales, como extensómetros. En los agujeros roscados se pueden fijar dispositivos para la sujeción de útiles de ensayo fuera del centro de la zona de ensayo.

El travesaño móvil está guiado en las columnas. Dos husillos de bolas, libres de juego mediante tuercas de husillos pretensados, impulsan el travesaño móvil.

La cubierta de fuelles integrada en la chapa lateral protege a los husillos de la misma guía de los restos de fibras, fragmentos y polvo.

B. Ponderación de los objetivos del diseño por categoría

A continuación se muestran las tablas de ponderación para poder jerarquizar las categorías y objetivos del diseño.

Tabla A-2. Ponderación para la categoría Seguridad, donde los criterios son: (1) Seguro para la máquina Zwick Roell Z100, (2) Evitar uniones propensas a atrapamientos, (3) Seguro para el usuario, (4) Resistente a líquidos salinos, (5) Desmontaje sencillo y (6) Fácil de operar.

Seguridad (51,72%)									
Criterios	1	2	3	4	5	6	Total	Peso Relativo	Peso Absoluto
1	1,0	7,0	7,0	10,0	10,0	10,0	45,0	41,84%	21,64%
2	0,1	1,0	1,0	3,0	7,0	10,0	22,1	20,59%	10,65%
3	0,1	1,0	1,0	7,0	7,0	10,0	26,1	24,31%	12,57%
4	0,1	0,3	0,1	1,0	3,0	3,0	7,6	7,04%	3,64%
5	0,1	0,1	0,1	0,3	1,0	3,0	4,7	4,39%	2,27%
6	0,1	0,1	0,1	0,3	0,3	1,0	2,0	1,83%	0,95%
Total							107,5	100,00%	51,72%

Tabla A-3. Ponderación para la categoría prestación, donde los criterios son: (1) Controlar la temperatura de los ensayos, (2) Ensayos visibles, (3) permitir variabilidad de los tamaños de probetas y (4) Repuestos de fácil adquisición.

Prestación (22,99%)							
Criterios	1	2	3	4	Total	Peso Relativo	Peso Absoluto
1	1,0	1,0	3,0	5,0	10,0	43,10%	9,91%
2	1,0	1,0	1,0	3,0	6,0	25,86%	5,95%
3	0,3	1,0	1,0	3,0	5,3	22,99%	5,29%
4	0,2	0,3	0,3	1,0	1,9	8,05%	1,85%
Total					23,2	100,00%	22,99%

Tabla A-4. Ponderación para la categoría prestación, donde los criterios son: (1) Acoplable a la máquina Zwick Roell Z100, (2) Sistemas modificables, (3) No derramar líquidos al desmontar y (4) Mantenimiento fácil de realizar.

Post Diseño (14,37%)							
Criterios	1	2	3	4	Total	Peso Relativo	Peso Absoluto
1	1,0	3,0	5,0	5,0	14,0	44,49%	6,39%
2	0,3	1,0	5,0	5,0	11,3	36,02%	5,18%
3	0,2	0,2	1,0	3,0	4,4	13,98%	2,01%
4	0,2	0,2	0,3	1,0	1,7	5,51%	0,79%
Total					31,5	100,00%	14,37%

Tabla A-5. Ponderación para la categoría costo, donde los criterios son: (1) Bajo costo de materiales, (2) Bajo costo de manufactura y (3) Bajo costo de mantenimiento.

Costo (10,92%)						
Criterios	1	2	3	Total	Peso Relativo	Peso Absoluto
1	1,0	1,0	3,0	5,0	42,86%	4,68%
2	1,0	1,0	3,0	5,0	42,86%	4,68%
3	0,3	0,3	1,0	1,7	14,29%	1,56%
Total				11,7	100,00%	10,92%

C. Equipo Zwick Roell médico para ensayos in vitro

En el presente anexo se extraen las principales características del equipo del catálogo de Zwick productos medicinales.

En la Figura A-3 se muestra el dispositivo de la empresa Zwick que da solución a ensayos médicos. Este equipo ofrece un sistema de control durante ensayos médicos, controlando el fluido y la temperatura de este. Los principales atributos de este equipo se pueden observar en la Tabla A-6



Figura A-3. Dispositivo de la línea médica Zwick para ensayos in vitro, con control de líquidos y temperatura.

Tabla A-6. Atributos principales del equipo para ensayos in vitro de la empresa Zwick.

Principales atributos de trabajo	
Fuerza a tracción/compresión	2.5[kN]
Velocidad de ensayo	0.001-1000 [mm/min]
Control de temperatura con circuito independiente de calor	
Pre acondicionamiento de la muestra en baño térmico	

D. Equipo Instron para ensayos médicos a temperatura corporal

En el presente anexo se extraen las principales características del equipo BioBox para máquinas de ensayos mono columna Instron. En la Figura A-4 se muestra el dispositivo cuyas principales características son el control de temperatura está diseñado para alcanzar los 37°C con una precisión $\pm 2^\circ\text{C}$ y el control de ambiente mediante fluidos.



Figura A-4. Dispositivo de la línea medica de Instron para ensayos medicinales.

E. Características prensaestopa de glándula

En el dispositivo se utilizara una prensaestopa para realizar la conexión de la manguera de la bomba u otro tipo de conexiones con el interior del contenedor. Normalmente estos elementos se utilizan para proteger el funcionamiento de gabinetes eléctricos de las condiciones ambientales, en este caso se utilizarán para evitar que el interior del contenido tenga contacto con elementos exteriores. En las figuras Figura

A-5 y Figura A-6 se muestra el desglose y la conexión de estos dispositivos y en la Figura A-7 se muestran las dimensiones y los tipos existentes en el mercado.



Figura A-5. Desglose de las piezas de una prensa estopa tipo

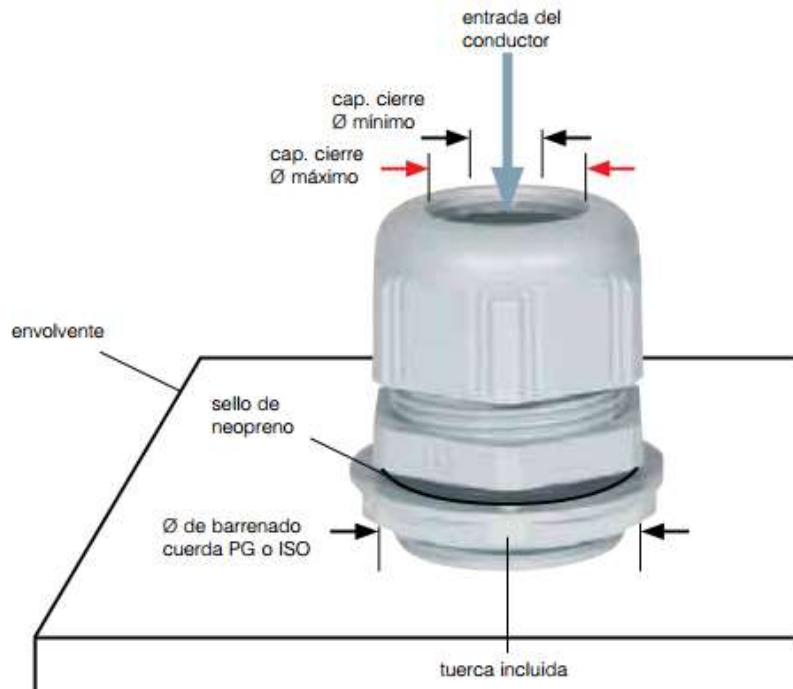
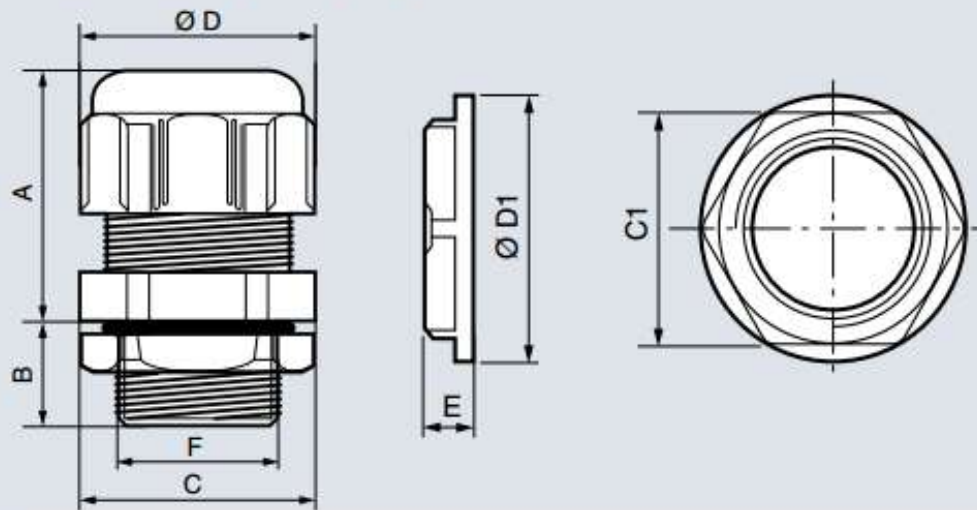


Figura A-6. Esquema de instalación y funcionamiento de una prensa estopa IP 68

■ Dimensiones (mm)

Prensaestopa plástica IP 68



Ref.	Rosca	A	B	Ø D	C Sobre caras	F	Ø de perforación	C1	E	ØD1
980 03	ISO 20	29	12	26,5	24	19,8	20,4	26	6	28
980 05	ISO 25	35	15	36	33	24,8	25,4	32	6	35
980 20	PG 7	22	10	16,8	15	12,5	12,7	19	5	21
980 21	PG 9	26	10	21	19	15,2	15,2	22	5	24
980 22	PG11	27	12	24,5	22	18,6	18,6	24	5	26
980 23	PG 13	29	12	26,5	24	20,4	20,4	26	6	28
980 24	PG 16	30	13	29,5	27	22,5	22,5	32	6	35
980 25	PG 21	35	15	36	33	28,3	28,3	36	7	38
980 26	PG 29	40	15	46,5	42	37	37	46	7	51
980 27	PG 36	49	17	58,5	53	47	47	60	8	66
980 28	PG 42	54	17	66,5	60	54	54	70	8	78
980 29	PG 48	54	18	75	68	60	60	75	8	82

Figura A-7. Dimensiones de prensas estopas tipo IP 68 según norma ISO.

F. Cotización de contenedor

La Figura muestra una cotización realizada por EMET ltda. el día 17 de agosto de 2015. La cotización contempla la fabricación del contenedor según planos.

Señor
Leonardo Delgado
Presente

Referencia : **Estanque Acero inoxidable.**
Proyecto : **Universidad Santa Maria**

Estimado señor:

Por la presente nos es muy grato presentar nuestra oferta por la fabricación de Estanque de acero inoxidable.

1 PRECIO				
Ítem	Cantidad	Descripción	Unitario	Total Neto
1.1	1 un.	Estanque de acero según croquis		\$ 320.000

2 CONSIDERACIONES TÉCNICAS

- 2.1 Acero inoxidable AISI 304
- 2.2 Se considera Decapado y Pasivado.
- 2.3 No se considera confección de Planos de Fabricación.
- 2.4 Solo se despacharan los materiales recepcionados conforme en nuestras instalaciones por personal autorizado del Cliente.

3 CONSIDERACIONES GENERALES

- 3.1 Precio : **Valor neto, no incluye IVA.**
- 3.2 Forma de Pago : **Contado contra entrega**
- 3.3 Plazo de Entrega : **A convenir.**
- 3.4 Lugar de Entrega : **Sobre camión en Bodega del Cliente dentro de la ciudad de Santiago.**
- 3.5 Validez de la Oferta : **15 días.**

En espera de una favorable acogida a la presente, saluda atentamente a Ud.,

Eduardo Montalba Salvadores

Para mayor información, el contacto de la empresa es

Telefono: (56-2) 25 58 26 28

e-mail: INFO@EMET.CL

Dirección: Virgen del Pilar O1163, La cisterna. Santiago, Chile.

G. Parámetros y modelo del ensayo MEF.

La simulación se realizó con el software Autodesk Inventor Professional 2015. Para la prueba se utilizó una de las cuatro paredes del contenedor, ya que dado la configuración del diseño, todas las paredes están sometidas a las mismas cargas. La única carga presente en el modelo es la presión interna, ya sea solo por el líquido al interior o por un sistema que genere presión al interior del contenedor. En las figuras

Figura A-8 y Figura A-9 se presentan las caras donde se aplica una carga en forma de presión, de magnitud 0,254[MPa].

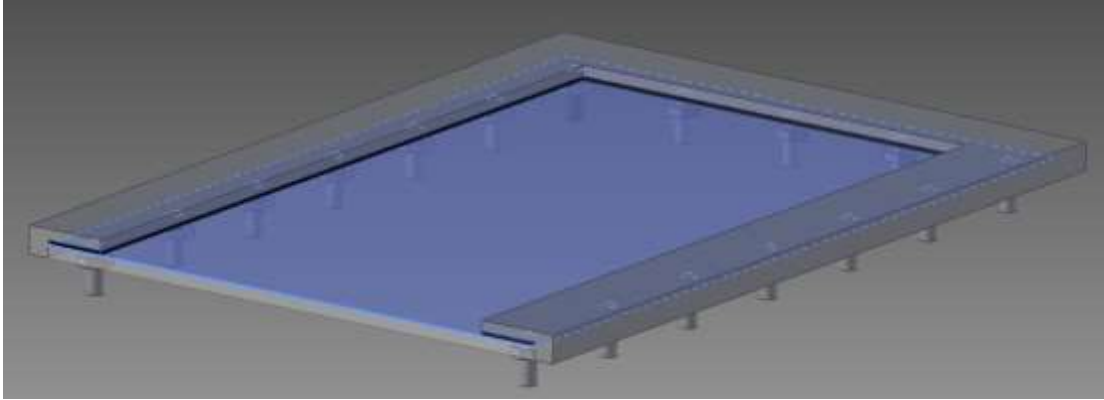


Figura A-8: Cara de la pared del contenedor donde se aplica la carga.

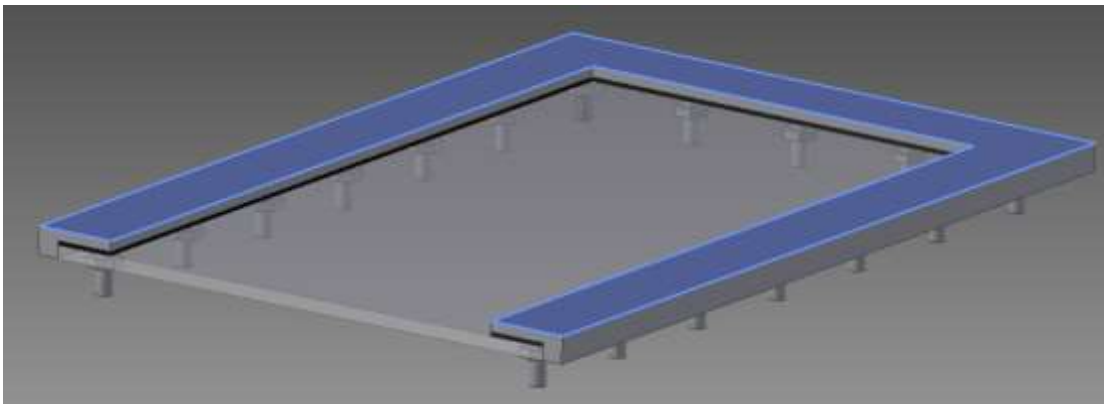


Figura A-9: Cara de la base del contenedor donde se aplica la carga.

El área efectiva donde se aplica la presión es 0,112[m²], lo que genera una carga de 28,45[kN]. Las restricciones aplicadas a la simulación son la fijación de los pernos, que unen la pared y la base del contenedor. Además, a toda la periferia de la base del contenedor se le impide el movimiento lineal en todas las direcciones.

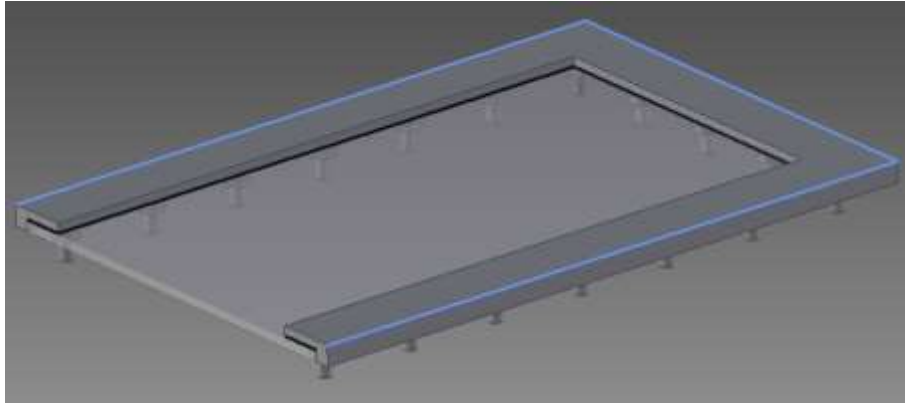


Figura A-10: Restricción de movimiento en la arista de la base del contenedor.

Los materiales utilizados en la simulación son acero inoxidable y plástico ABS. La malla utilizada consta de 34.230 nodos y 17.744 aristas, está se presenta en la Figura A-11.

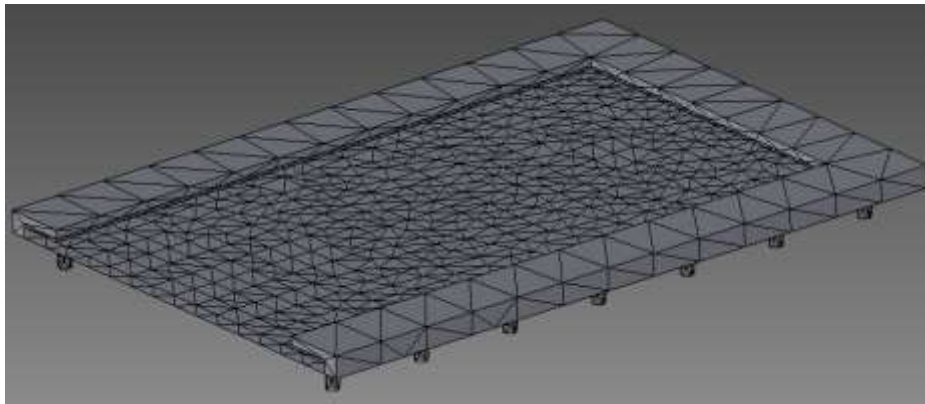


Figura A-11: malla utilizada en la simulación de carga para el contenedor.

De la simulación, es de interés obtener el mayor esfuerzo en la base del contenedor y en la pared, también es de interés la deformación máxima de la pared. En la Figura A-12 se presentan el campo de esfuerzos en la base del contenedor, identificando un máximo de 126[MPa] en la sujeción más al extremo libre. En la pared se identificó un esfuerzo máximo en el mismo sitio que en la base del contenedor, de magnitud 170,6[MPa]. En la Figura A-13 se pueden ver los resultados de esta simulación.

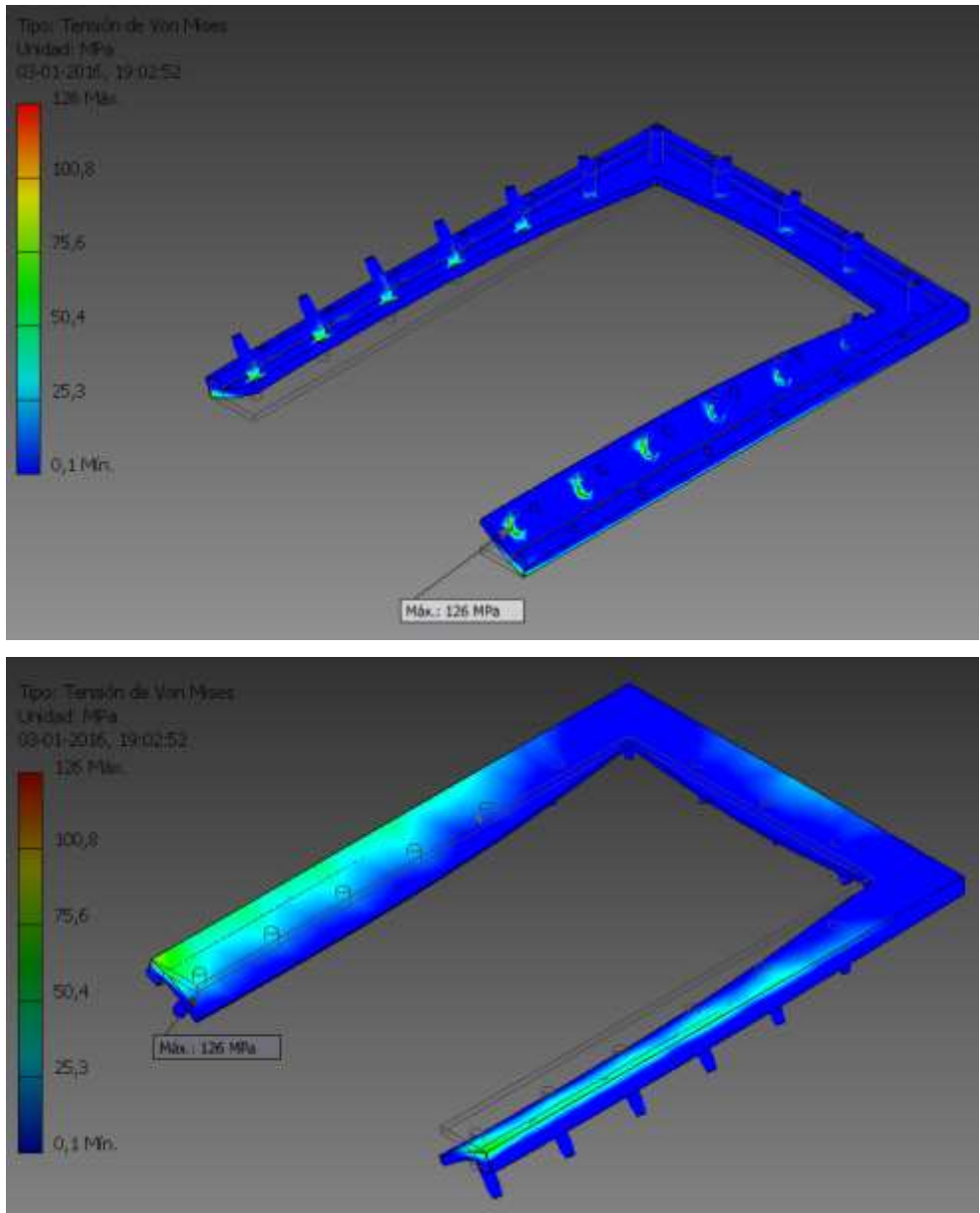


Figura A-12: Esfuerzos en la base del contenedor.

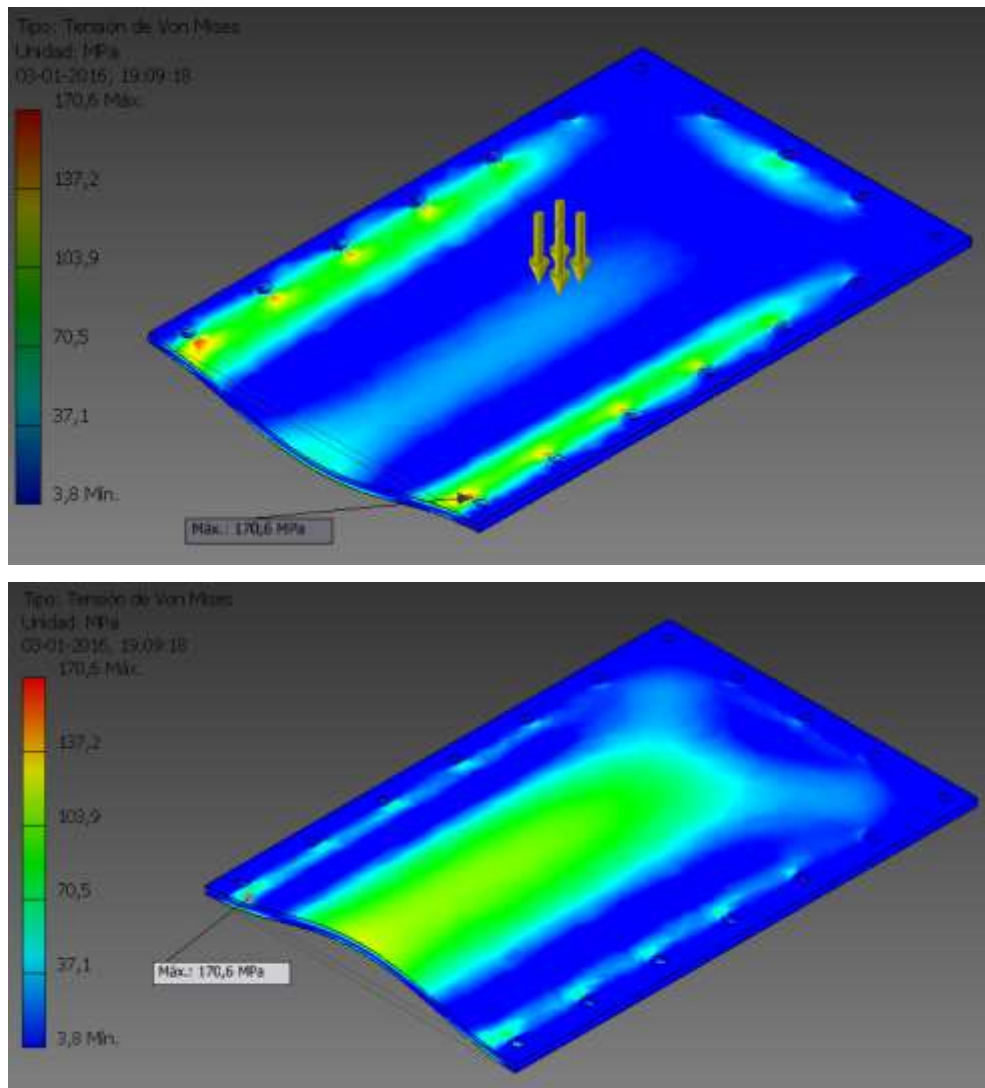


Figura A-13: Esfuerzos sobre una de las paredes del contenedor.