

CENTRO DE ENSEÑANZA TÉCNICA Y SUPERIOR



Colegio de Ingeniería  
Dirección de Posgrado  
Campus Mexicali

Tesis / Proyecto de Ingeniería e Innovación

**Rediseño de componentes para válvulas del sector aeroespacial para  
la reducción del tiempo de respuesta y costo para el mercado de  
refacciones**

Para obtener el grado de

**Maestría en Ingeniería e Innovación**

Presenta

**Erick Eduardo De Santos Arvizu**

Director de Proyecto: Dra. Verónica Rojas Mendizábal

Co-director de Proyecto: Dr. Abiud Flores Valentín

Asesor de la Industria: Rocío Chávez

Mexicali, Baja California. Junio de 2020

CENTRO DE ENSEÑANZA TÉCNICA Y SUPERIOR



Colegio de Ingeniería  
Dirección de Posgrado  
Campus Mexicali

Tesis / Proyecto de Ingeniería e Innovación

**Rediseño de componentes de válvulas del sector aeroespacial para la reducción del tiempo de respuesta y costo para el mercado de refacciones**

Para obtener el grado de

**Maestro en Ingeniería e Innovación**

Presenta

**Erick Eduardo De Santos Arvizu**

Comité evaluador:

---

Miguel Ponce

---

Verónica Rojas

---

Abiud Flores

Mexicali, Baja California. Junio de 2020

## **Agradecimiento y dedicatorias**

En primera instancia doy gracias a Dios y a la vida por darme a mis padres que siempre me han impulsado a seguir adelante en mis estudios, excelentes formadores de educación y carácter. A mi prometida, que siempre me acompaño y que durante toda esta preparación y me alentó a seguir adelante y nunca rendirme. También quiero agradecer a todos los docentes quienes se han esforzado por ayudarme a llegar a este punto, a CONACYT y *Honeywell* que me ayudaron económicamente para poder llevar acabo esta Maestría.

No ha sido sencillo el proceso de llegar hasta aquí, pero gracias a su dedicación a la docencia y a su conocimiento, he podido completar importantes objetivos para culminar con el desarrollo de mi tesis con éxito y obtener el grado de Maestro en Ingeniería e Innovación.

# Carta Institucional

**Honeywell**

Mexicali B.C a 18 de Marzo de 2020

**CETYS UNIVERSIDAD**  
Colegio de Ingeniería  
Dirección de Posgrado  
Campus Mexicali

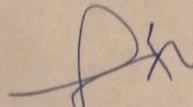
Por medio de la presente, hago constar que el proyecto:

**“Rediseño de componentes para válvulas del sector aeroespacial para la reducción del tiempo de respuesta y costo para el mercado de refacciones”**

Fue realizado y aplicado en la empresa Honeywell Ingeniería y Tecnología Aeroespacial de México, en el departamento de Mechanical Systems & Components, el cual se considera relevante para la empresa, aportando valor al desarrollo de la misma.

Dicho proyecto fue desarrollado por nuestro colaborador: **Erick Eduardo de Santos**, estudiante de la Maestría de Ingeniería e Innovación, con matrícula **M035478**.

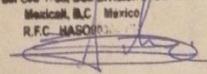
**Atentamente:**



**Rocio Chavez**

Manager  
Mech Design Eng.  
Honeywell Ingeniería y Tecnología  
Aeroespacial de México

**Honeywell**  
HONEYWELL INGENIERIA Y TECNOLOGIA  
AEROSPACIAL DE MEXICO, S. DE R.L. DE C.V.  
Carretera del Oro 1758, Base Division 7 / C.P. 21260  
Mexicali, B.C. México  
R.F.C. HNSO00



**Ernesto Ambriz**

HR Manager  
Honeywell Ingeniería y Tecnología  
Aeroespacial de México

# Índice

Agradecimiento y dedicatorias .....	I
Carta Institucional.....	II
Índice.....	III
Índice de Tablas .....	V
Abreviaturas .....	VI
Resumen .....	VII
Capítulo 1 – Introducción .....	1
1.1 Entorno del Problema.....	1
1.1.1 Proceso General .....	3
1.2 Antecedentes del Problema .....	3
1.3 Justificación .....	5
1.4 Planteamiento del Problema .....	6
1.4.1 Definición del problema .....	7
1.4.2 Enunciado del Problema.....	8
1.5 Pregunta de investigación.....	9
1.5.1 Problemática .....	9
1.6 Objetivos.....	10
1.6.1 Objetivo General .....	10
1.6.2 Objetivos Específicos .....	10
1.7 Hipótesis .....	11
Capítulo 2 – Marco Teórico Referencial .....	12
2.1 Conceptos.....	12
2.1.1 Válvulas .....	12
3.1.2 Aluminio .....	23
3.1.2.1 Propiedades del Aluminio .....	23
3.1.2.2 Aplicaciones del Aluminio.....	24
3.1.2.3 Aleaciones del Aluminio.....	24
3.1.3 Fundición .....	25

2.2	Teoría .....	26
2.3	Investigación Relacionada .....	26
<b>Capítulo 3 – Metodología y Planeación .....</b>		<b>27</b>
3.1	Plan de Trabajo .....	29
3.2	Recursos.....	30
3.3	Entregables.....	31
<b>Capítulo 4 – Resultados.....</b>		<b>32</b>
<b>Capítulo 5 – Conclusiones .....</b>		<b>35</b>
<b>Referencias .....</b>		<b>36</b>

## Índice de Figuras

Figura 1 - Mapa de diferentes plantas de Honeywell en todo el mundo.....	1
Figura 2 - Diferentes Sistemas Mecánicos y componentes fabricados en Honeywell.....	3
Figura 3 - Grafica Histórica del tiempo de entrega vs tiempo estándar.....	6
Figura 4 - Grafica Histórica del costo real vs costo estándar .....	7
Figura 5 - Operación de una válvula de movimiento lineal.....	12
Figura 6 - Arreglo general de una válvula de movimiento rotatorio .....	16
Figura 7 - Válvula de recirculación automática de la bomba .....	20
Figura 8 - Válvula mariposa .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Figura 9 - Esquema de Fases .....	27
Figura 10 – Cronograma. ....	29
Figura 11 – Comparación de Modelos en NX. Elaboración Propia. ....	33
Figura 12 - Grafica Comparativa del Costo Histórico VS Estándar VS Nuevo. ....	34
Figura 13 - Grafica Comparativa del Tiempo Histórico VS Estándar VS Nuevo. ....	34

## Índice de Tablas

Tabla 1 - Esquema para la Definición del Problema .....	7
Tabla 2 - Designaciones para aleaciones de aluminio forjado .....	25
Tabla 3 - Muestra de Base de Datos.....	32

## Abreviaturas

ANSI	-	The American National Standards Institute
ASME	-	American Society of Mechanical Engineers
ASTM	-	American Society of Testing and Materials
C2HO	-	Cast to Hog-out
CAD	-	Computer-aided Design
CONACYT	-	Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología
ECN	-	Engineering Change Notice
ISO	-	International Standards Organization
MIL	-	American Military Specifications
MRTC	-	Mexicali Research and Technology Center
SAE	-	The Society of Automotive Engineers

## Resumen

En este documento muestra como se mejoro el tiempo de respuesta al momento de producir válvulas del sector aeroespacial para el mercado de refacciones actual de la empresa *Honeywell Aerospace*, dando a conocer un poco de los antecedentes de la empresa y como estaba impactando en tiempo y costos el estado actual. También muestra una investigación de cuál es el factor que más está impactando en los métricos, y con eso se definió las alternativas para mejorar el proceso.

También en este documento se muestra una investigación de varios tipos de válvulas, junto sus definiciones y/o funcionamiento para introducir al lector al tema en el que se trabajó; asi como también métodos de manufacturas y materiales.

También en este documento se muestran todas las herramientas y etapas utilizadas para iniciar y llevar acabo el proyecto, como se investigaron los números de parte a evaluar, la creación de el nuevo diseño y la búsqueda de un proveedor alternativo para su manufactura.

# Capítulo 1 – Introducción

## 1.1 Entorno del Problema

*Honeywell* es una empresa que se dedica a la innovación en diferentes sectores empresariales, tales como son los materiales, tecnología para edificios, productos de seguridad y el sector aeroespacial, siendo este último sector el enfoque de este proyecto. *Honeywell* tiene su sede en Charlotte, Carolina del Norte, en los Estados Unidos, además tiene Plantas en todo el Mundo, ya sea de manufactura, de investigación, centros de ingeniería y oficinas de ventas, como se muestra en la Figura 1 (About Honeywell Aerospace, 2020).



Figura 1 - Mapa de diferentes plantas de Honeywell en todo el mundo.  
Imagen recuperada de <https://www.uop.com/about-us/regional-locations/>

En el sector aeroespacial, la tecnología de *Honeywell* ha contribuido por más de 40 años a la exploración y creación de oportunidades en el espacio. Donde, los productos de *Honeywell* han sido esenciales desde el primer paso a la luna por Neil Armstrong, como en cada misión tripulada al espacio desde entonces.

Hoy, el transbordador espacial está equipado con el subsistema de pantalla electrónica multifunción de *Honeywell*, y está llegando al futuro de la tecnología espacial, con su trabajo para el sucesor del transbordador anticipado, el avión espacial orbital, la estación

espacial internacional y otras contribuciones para crear un laboratorio científico y un espacio de trabajo en órbita permanente. A medida que el vuelo motorizado comienza su segundo siglo, *Honeywell Aerospace* continúa haciendo historia con tecnología líder, productos y sistemas confiables, servicio superior y empleados dedicados.

Las contribuciones de *Honeywell*, sus compañías heredadas y cinco generaciones de empleados han avanzado en la ciencia de la aviación para hacer que volar sea la forma de transporte más segura del mundo, al tiempo que ayuda a proteger la nación y explorar el universo. Espera continuar con una larga tradición de desarrollar y entregar sistemas de aviación innovadores que satisfagan las necesidades actuales y futuras del cliente.

Los productos y servicios de *Honeywell Aerospace* se encuentran en prácticamente todos los aviones comerciales, de defensa y espaciales del mundo. Con una herencia inigualable de innovación que abarca más de un siglo, su objetivo es resolver los mayores desafíos que enfrentan los pilotos, operadores, pasajeros, finanzas, mantenimiento y tripulación de cabina, que permita transformar la forma de volar. Ofrece una mayor eficiencia de combustible, vuelos más directos y puntuales, viajes más seguros y cómodos y una mejor planificación de vuelos y gestión del tráfico. Hace esto a través de una de las más amplias y avanzadas variedad de productos de la industria, que incluye motores de clase mundial, cabinas, diseño de cabina, conectividad inalámbrica y servicios de gestión de rendimiento empresarial, incluso para segmentos de mercados emergentes como taxis voladores, al tiempo que brinda un servicio al cliente de clase mundial, reparaciones y soporte técnico.

Los productos que proporciona *Honeywell Aerospace* se dividen en cuatro sectores especializados que son, “*Electronic Solutions*”, “*Services & Connectivity*”, “*Engines & Power Systems*” y “*Mechanical Systems & Components*”, de los cuales el proyecto se enfoca en el sector de “*Mechanical Systems & Components*” que se encarga del diseño y la manufactura de sistemas de control y presión de aire, intercambiadores de calor, válvulas, controladores de combustible, actuadores, revestimientos, sistemas de soporte vital y sistemas de frenado, como se muestra en la Figura 2.



Figura 2 - Diferentes Sistemas Mecánicos y componentes fabricados en Honeywell.  
 Imagen recuperada de <https://aerospace.honeywell.com>

Dentro del sector de válvulas, el centro de Ingeniería de Mexicali (MRTC) se especializa en componentes que van dentro de la válvula trabajando junto con un equipo de ingenieros en Tempe Arizona.

### 1.1.1 Proceso General

Este proyecto se va a enfocar en la manufactura y producción de componentes para válvulas manufacturadas en Tempe Arizona, las válvulas se utilizan en los motores del avión para controlar el flujo de la gasolina, *antifreeze*, así como varios tipos de fluidos necesarios para el funcionamiento del motor.

Actualmente para el proceso de producción de componentes para las válvulas por parte del proveedor está dividida por 2 modelos, el primero es el modelo del *casting* y el segundo el modelo para el maquinado que ayuda a dar ciertas características a la pieza, como lo es el acabado y dimensiones más exactas a la pieza. Ya que son números de parte antiguos y que no tiene una producción continua, esto hace que los moldes del casting se estropeen y que la producción por parte del proveedor sea muy tardada.

### 1.2 Antecedentes del Problema

Históricamente, las piezas fundidas se usan para hardware complejo, con piezas de cavidades internas o piezas aximétricas que no podían girarse fácilmente en un torno. En otros casos, una pieza con complejidad moderada pero que se fabricaba en grandes cantidades estaría hecha de molde. El costo original del molde de fundición se compenso

con los ahorros de lograr la mayor parte de la geometría de la pieza en la operación de fundición inicial.

En los años posteriores al final de la producción, se necesitan menos piezas para respaldar el mercado de accesorios. Además, el mantenimiento de los moldes se vuelve costoso. Esto aumenta significativamente el costo de las piezas fundidas y afecta el tiempo de entrega debido a los pedidos más pequeños y menos frecuentes, que tienen que esperar pausas en los horarios normales de producción.

### **1.3 Justificación**

*Honeywell Aerospace* siempre está en búsqueda de áreas de oportunidad para reducir el costo y/o tiempo de manufactura en los componentes que produce para el mercado aeroespacial. Este proyecto planea ayudar a la empresa a mejorar los métricos de tiempos de entrega y costo de producción para los componentes de válvulas. Esto además ayudara a que en el mercado de refacciones siempre haya componentes disponibles y que no quede detenido un avión por falta de partes. Para ello se evaluarán métodos de manufactura alternos los cuales puedan disminuir el costo de producción y/o el tiempo de respuesta por parte del proveedor para la empresa *Honeywell Aerospace*, y también se buscarán proveedores alternos que puedan cumplir con las especificaciones y requerimientos para la manufactura.

## 1.4 Planteamiento del Problema

El problema se detectó cuando se tenían que producir números de partes de componentes de válvulas para el mercado de refacción a los proveedores, estos requerían hasta un 50% más de tiempo de producción, y esto a su vez nos hacía estar atrasados con entregas, lo que además incrementaba el costo de producción en un 50% ya que multan a la empresa por cada día de retraso. Lo ideal sería que nuestro proveedor no tardara tanto en manufacturar la pieza, y por eso se va a buscar métodos alternos como la manufactura por máquinas de CNC avanzadas.

En la Figura 3 se muestra como los tiempos de entrega sobrepasan al tiempo estándar de producción por más del 50% de un componente para una válvula en específico y en la se puede observar el aumento de costo de este número de parte.



Figura 3 - Grafica Histórica del tiempo de entrega vs tiempo estándar.  
Elaboración Propia.



Figura 4 - Grafica Histórica del costo real vs costo estándar  
Elaboración Propia.

### 1.4.1 Definición del problema

Tabla 1 - Esquema para la Definición del Problema

¿Cuál es el Problema?	Excesivo tiempo de respuesta al abastecimiento de piezas
¿Quién está experimentando el Problema? ¿A quién le afecta?	Afecta directamente a <i>Honeywell Aerospace</i> y el mercado de refacciones
¿Dónde está ocurriendo exactamente el problema?	Con el proveedor de piezas fundidas
¿Cuándo ocurre el problema y/o por cuánto tiempo?	Cada que se tiene que reabastecer un numero de parte del mercado de refacción.
¿Cómo impacta el problema?	Aumenta un 50% en tiempos de entrega y costos
¿Por qué ocurre el problema?	Son números de parte antiguos, y se necesitan menos piezas para respaldar el mercado de accesorios, además del alto costo de mantenimiento de los moldes de fundición.

Fuente: Elaboración Propia.

#### **1.4.2 Enunciado del Problema**

Cuando se tiene que reabastecer un número de parte antiguo del mercado de refacciones número, el antiguo método de manufactura y el mantenimiento de los moldes de fundición provoca que el tiempo de respuesta de abastecimiento del proveedor sea excesivo lo que aumenta un 50% en tiempo de entrega y costo, afectando a *Honeywell Aerospace* no siendo capaz de reabastecer el mercado de refacciones a tiempo.

## **1.5 Pregunta de investigación**

¿Cómo se puede reducir el costo y tiempos de producción en un 35% de los componentes de válvulas de control para refacción dado por proveedores actuales, para poder abastecer el mercado de refacciones en tiempo?

### **1.5.1 Problemática**

- ¿Cuál es la válvula que más está tardando en producción para el reabastecimiento en el mercado de refacciones?
- ¿Cuál es el tiempo estimado de producción de las piezas?
- ¿Cuál es el proceso actual de producción de las partes por medio del proveedor?
- ¿Existen otros procesos más rápidos para la producción de estas piezas?
- ¿Cómo se planea disminuir el tiempo y costo de producción?
- ¿El proveedor actual es la mejor opción, o existen otros que pueden hacer el trabajo en menor tiempo y precio?

## **1.6 Objetivos**

### **1.6.1 Objetivo General**

El Objetivo general de esta tesis es desarrollar un modelo alternativo de los componentes de las válvulas de control del sector aeroespacial por medio del diseño asistido por computadora (CAD) con un método de manufactura alternativo que permitan disminuir el costo y tiempo de respuesta en el abastecimiento de refacciones en el mercado.

### **1.6.2 Objetivos Específicos**

- Identificar un número de parte los cuales se fabrican por medio de fundición y que estén en el mercado de refacciones.
- Obtener el tiempo estándar de producción para el número de parte de refacción.
- Contactar al proveedor para investigar el método de manufactura actual e identificar las áreas de mejora.
- Conocer métodos de manufactura alternos al proceso de fundición que igualen o mejoren las propiedades de la pieza.
- Crear un nuevo modelo del número de parte, que está afectando los métricos, con métodos de manufactura alternos que ayude a reducir el tiempo de producción del número de parte.
- Buscar proveedores que puedan fabricar el número de parte con el nuevo método de manufactura y pueda cumplir con los requerimientos y especificaciones.

## **1.7 Hipótesis**

La creación de métodos de manufactura alternos para componentes de válvulas de control ayuda a reducir en un 35% el costo de producción y el tiempo de respuesta para el mercado de refacciones de *Honeywell Aerospace*, así como se puede encontrar proveedores alternos en caso de ser necesario.

## Capítulo 2 – Marco Teórico Referencial

En este capítulo, se describen los fundamentos teóricos de las diferentes áreas de conocimiento, procedimientos, metodologías y técnicas que sustentan el desarrollo experimental realizado para la obtención de los resultados de este proyecto de tesis.

### 2.1 Conceptos

#### 2.1.1 Válvulas

Según Brian Nesbitt (2007), una válvula de control es un componente que regula la velocidad de flujo en un sistema, para esto debe estar construido de manera en que no se vea afectado por las condiciones de trabajo, sin importar cual difíciles o únicas puedan ser. Según Nesbitt existen 23 tipos de válvulas, las que se dividen en 3 categorías:

##### 2.1.1.1 Válvulas de Movimiento Lineal

La Figura 5 muestra un ejemplo de una válvula de movimiento lineal.

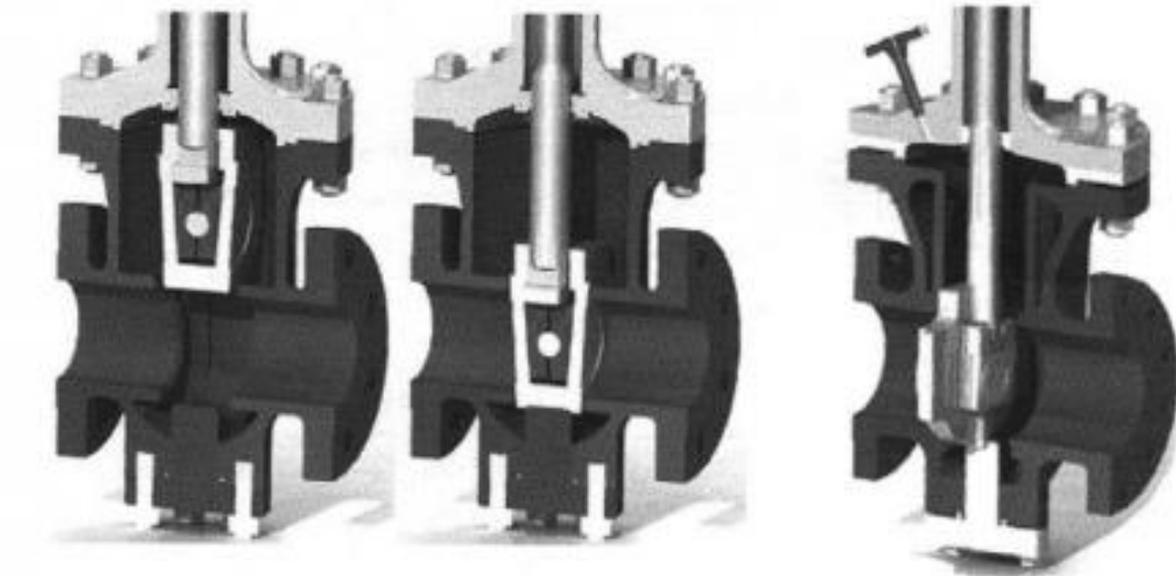


Figura 5 - Operación de una válvula de movimiento lineal  
Imagen obtenida de (Nesbitt, 2007)

#### **2.1.1.1.1 Válvula de globo de asiento Único**

Según Areej (2018), las válvulas de globo de asiento único que son muy comunes y de diseño bastante simple. Estas válvulas tienen pocas partes internas y también son más pequeñas que las válvulas de doble asiento y proporcionan una buena capacidad de cierre. Dice que el mantenimiento de estas válvulas se simplifica debido al fácil acceso con entrada superior a los componentes de la válvula. Debido a su uso generalizado de estas válvulas, están disponibles en una variedad de configuraciones de corte y, por lo tanto, hay disponible una mayor gama de características de flujo. Las válvulas de globo de asiento único producen menos vibraciones debido a la masa reducida del tapón.

#### **2.1.1.1.2 Válvula de globo de doble asiento**

Según Areej (2018), en las válvulas de doble asiento hay dos tapones y dos asientos que operan dentro del cuerpo de la válvula. Estas válvulas utilizan fuerzas opuestas de los dos tapones para minimizar la fuerza del actuador requerida para controlar el movimiento. Equilibrio es el término utilizado cuando la fuerza neta sobre el tallo se minimiza de esta manera. Estas válvulas no están realmente equilibradas. El resultado de las fuerzas hidrostáticas en los tapones puede no ser cero debido a la geometría y la dinámica. Por lo tanto, se denominan semi balanceados. Es importante conocer la carga combinada debido a la cantidad de fuerzas de equilibrio y dinámicas al dimensionar el actuador. El cierre es pobre con la válvula de doble asiento y es una de las desventajas con este tipo de construcción. Aunque las tolerancias de fabricación pueden ser ajustadas, debido a las diferentes fuerzas en los enchufes, no es posible que ambos enchufes entren en contacto al mismo tiempo. El mantenimiento aumenta con las piezas internas adicionales requeridas. Además, estas válvulas tienden a ser bastante pesadas y grandes.

Areej (2018) dice que estas válvulas tienen un diseño más antiguo que tiene menos ventajas en comparación con las desventajas inherentes. Aunque se pueden encontrar en sistemas más antiguos, rara vez se usan en aplicaciones más nuevas.

#### **2.1.1.1.3 Válvula de globo de ajuste de jaula**

Según Sivaranjith (2018), las válvulas de jaula utilizan el principio de guía de la jaula, donde el tapón se coloca dentro de la jaula. Menciona que esto es común en la mayoría de las válvulas. Como el tapón está alineado por una jaula, la válvula se auto alinea de manera efectiva, de modo que, durante el ensamblaje, todas las piezas encajan entre sí. La alineación correcta reduce el problema de la carga lateral. También dice que las válvulas de jaula no se utilizan para fluidos viscosos.

Sivaranjith (2018) menciona en su publicación que la válvula de la jaula se caracteriza por la forma y el tamaño de las ventanas de la jaula y que son populares debido a la variedad de tipos de molduras disponibles. El tipo de recorte se puede seleccionar para diversos rendimientos, como la reducción de la cavitación (recorte anti-cavitación) o para reducir el ruido.

#### **2.1.1.1.4 Válvula de globo de puertos múltiples**

Según Brian Nesbitt (2007), las válvulas de globo de puertos múltiples son una adaptación de la válvula de globo de asiento único para aplicaciones de desviación o mezcla de flujo. Las válvulas siempre tienen dos asientos y pueden tener un tapón simple de dos extremos o dos tapones separados. Los diseños de enchufe guiados por jaula también están disponibles. Las válvulas de tapón guiadas por jaula tienen asientos sujetos con dos jaulas. Las válvulas guiadas por vástago normalmente tienen asientos atornillados. Los asientos de ajuste a presión pueden ser una opción cuando la expansión térmica no es un problema. Las válvulas de tapón guiado por jaula y de tapón guiado por alas generalmente tienen capacidades más altas que las válvulas de tapón perfiladas. Los tapones perfilados de doble extremo pueden requerir guía inferior para evitar la vibración del vástago y mantener la precisión de la válvula.

#### **2.1.1.1.5 Válvula de control de jaula axial**

Según Brian Nesbitt (2007), esta es una válvula de enchufe guiada por fuera o por faldón; el sellado para el cierre se ve afectado por el anillo suave reemplazable en el extremo del tapón. El término "axial" se usa aquí porque la jaula es paralela y concéntrica con la tubería del proceso.

El movimiento del obturador es generado por una manivela en el eje y se transmite a través de una biela. La presión sobre el pistón está equilibrada. La ruta de flujo de fluido para este estilo de diseño se ve mucho más suave, y la simulación demuestra que el flujo es más suave que la válvula de control convencional de globo y cuerpo, pero el fluido aún tiene que negociar dos cambios radiales de dirección, aunque con suavidad.

#### **2.1.1.1.6 Válvula de pinza**

Según Brian Nesbitt (2007), las válvulas de pinza emplean un tubo elástico llamado manguera y un dispositivo que contacta directamente con el tubo que es el cuerpo. Forzar ambos tubos juntos crea un sello que es equivalente a la permeabilidad del tubo.

Menciona Nesbitt (2007) que las válvulas de pinza accionadas por aire consisten en una manguera de goma reforzada elastizada, un tipo de carcasa y dos tapas de extremo. En las válvulas de pinza operadas por aire, las mangueras de goma generalmente se ajustan a presión y se centran en los extremos de la carcasa mediante las tapas de los casquillos. No hay un actuador adicional, la válvula se cierra tan pronto como hay un suministro de aire a presión en el cuerpo. Cuando se interrumpe el suministro de aire y se agota el volumen de aire, la manguera de goma elástica comienza a abrirse debido a la fuerza del flujo del proceso.

#### **2.1.1.1.7 Válvula de compuerta deslizante**

Menciona Nesbitt (2007) en su libro que la válvula de control de compuerta deslizante utiliza puertos coincidentes en dos placas para variar el área de flujo. Una placa se fija en el orificio de la válvula, la otra placa se desliza para cubrir o descubrir los puertos. Los puertos están dispuestos como ranuras horizontales en las placas. Cuando están completamente abiertos, los puertos se revelan completamente al flujo de fluido. Durante el cierre, los puertos se cubren gradualmente hasta lograr un sellado de metal a metal alrededor de cada puerto, lo que resulta en una fuga de cierre muy baja.

#### **2.1.1.1.8 Válvulas solenoides**

Menciona Nesbitt (2007) que las válvulas solenoides generalmente se consideran para el control de encendido y apagado. Pequeñas válvulas solenoides en acero inoxidable y Viton TM están disponibles para aplicaciones de control de modulación. Las válvulas responden linealmente a voltajes de CC entre 0 y 24.

También requieren una fuente de alimentación de CA de 21 a 30 V de onda completa rectificadas y sin tensión.

#### 2.1.1.1.9 Válvulas digitales

Según Brian Nesbitt (2007), una válvula digital puede construirse a partir de componentes estándar. Se pueden conectar varias válvulas solenoides entre un suministro y una demanda. El controlador lógico programable más pequeño, el PLC, tendrá al menos ocho salidas digitales. Es decir, ocho interruptores que se pueden programar para estar encendidos o apagados. Si se usaran ocho válvulas solenoides idénticas, y la presión diferencial permaneciera constante, se obtendría una válvula de control lineal con incrementos de flujo de 12.5%. En la práctica, la característica general no será lineal debido a la influencia de la característica del sistema. Pero se ha producido una válvula de control muy simple y efectiva.

#### 2.1.1.2 Válvulas de movimiento rotatorio

La Figura 6 muestra un ejemplo de un arreglo de una válvula de movimiento rotatorio.

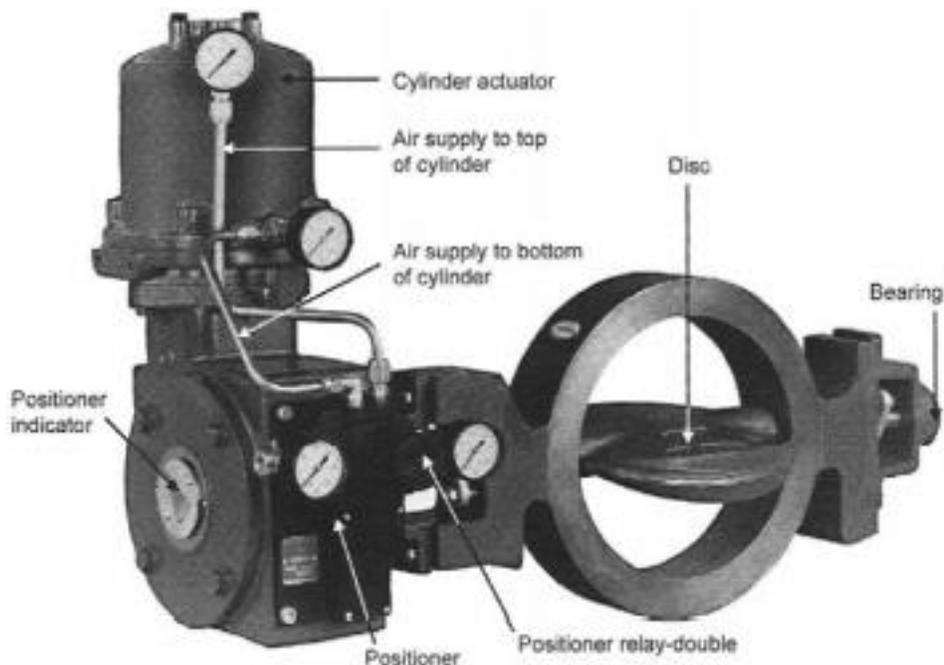


Figura 6 - Arreglo general de una válvula de movimiento rotatorio  
Imagen obtenida (Nesbitt, 2007)

#### **2.1.1.2.1 Válvula de bola**

Según Nesbitt (2007) el diseño del cuerpo de la válvula de bola es convencional y el flujo se controla mediante la posición de un agujero a través de la bola. El dice que este tipo de válvula se utiliza para controlar el flujo, el control de presión en los sistemas de distribución de gas y la reducción de presión en relación con el almacenamiento de gas. Estas válvulas también se usan a menudo como válvulas de aislamiento, ya que dan lugar a una caída de presión muy pequeña en la posición completamente abierta.

Las válvulas de bola pueden ser:

- De paso total
- Puerto reducido

#### **2.1.1.2.2 Válvula de bola caracterizada**

Según Nesbitt (2007) las válvulas de bola caracterizadas son especialmente adecuadas para muchas aplicaciones, no solo combinando las propiedades de la válvula lineal y rotativa, sino que también tienen sus propias cualidades únicas. Este tipo de válvula tiene un amplio rango de control y es muy resistente a la obstrucción, por lo que es especialmente adecuado para papel, material fibroso y mezclas líquido-sólidas. Para aplicaciones donde la erosión puede ser un problema, y se pueden tolerar algunas fugas, los asientos de bola se pueden reemplazar por anillos de flujo.

#### **2.1.1.2.3 Válvulas multidireccionales**

Al igual que con las válvulas lineales, Nesbitt (2007) dice que las válvulas de bola se pueden adaptar para mezclar y desviar. Hay disponibles válvulas de tres vías que tienen conexiones a 90 ~ o 120 ~ Los fabricantes especializados producen válvulas de cuatro y cinco vías.

#### **2.1.1.2.4 Válvula de mariposa**

Este Proyecto de Tesis se enfoca en las válvulas de movimiento rotatorio, específicamente en las válvulas de mariposa, como la que se muestra en la Figura 8, ya que son las que comúnmente trabajan los ingenieros de MS&C del MRTC. Según el Artículo “Modal-based Design Improvement of a Butterfly Valve Disc” (Draghiciu, Korca,

& Gillich, 2017) las válvulas de mariposa son dispositivos de control que se utilizan para regular el flujo de un fluido a través de un tubo, y estas las clasifica Nesbitt (2007) como una de las más simples y que unos de sus primeros usos fue en el acelerador de los motores de gasolina. Actualmente se utilizan como válvula de proceso ya que es más pequeña y ligera que otras.



Figura 7 - Válvula mariposa  
Imagen obtenida de (Draghiciu, Korka, & Gillich, 2017)

#### **2.1.1.2.5 Válvulas Fishtail™**

Nesbitt (2007) han realizado estudios detallados para determinar los efectos de diferentes perfiles de disco en el fluido que fluye a través de las válvulas. Esto ha llevado al desarrollo de perfiles de disco hidrodinámicamente equilibrados. La válvula puede funcionar en todos los ángulos entre 0 y 90°, aumentando considerablemente el rango de control debido a la considerable reducción del par. La característica hidrodinámicamente equilibrada se logra completamente en virtud del perfil del disco. Las velocidades de flujo y las presiones dinámicas por encima y por debajo del disco

también son iguales. Por lo tanto, la válvula siempre está equilibrada y solo se requieren pares de operación bajos.

#### **2.1.1.2.6 Válvulas de tres vías**

El artículo de Yannick (2020) menciona que las válvulas de tres vías están presentes en la mayoría de los sistemas hidráulicos y se dividen en las de mezcla y las de distribución. Por lo general, están controladas por controladores PID, que tienen en cuenta las perturbaciones en forma de temperaturas de entrada solo indirectamente a través de la temperatura de mezcla. Para mejorar el rendimiento del control, es posible monitorear las perturbaciones y usarlas para un control adicional de alimentación, que es la motivación para este trabajo. Esto requiere una representación matemática precisa del comportamiento de la válvula térmica. Además, se puede usar un modelo preciso para ajustar el controlador PID instalado en estudios de simulación o aplicando reglas de ajuste.

#### **2.1.1.2.7 Válvula de tapón giratorio excéntrica**

Según Nesbitt (2007) este diseño de válvula combina las ventajas de una válvula de bola de orificio completo, de un paso sin obstrucciones y, por lo tanto, de una gran capacidad cuando está completamente abierta, con un asiento de metal a metal o un asiento blando para proporcionar un cierre hermético a las burbujas del globo con asiento único válvula.

### 2.1.1.3 Válvulas para un propósito especial

La Figura 8 muestra un ejemplo de una válvula de recirculación automática de la bomba.

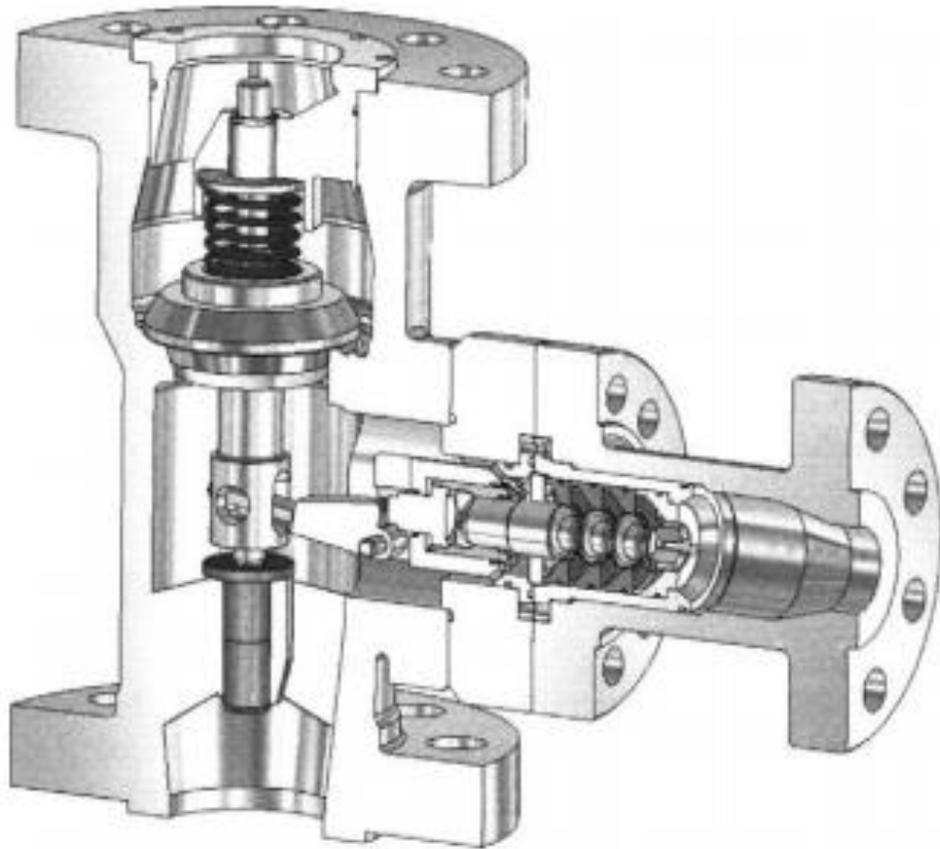


Figura 8 - Válvula de recirculación automática de la bomba  
Imagen obtenida (Nesbitt, 2007).

#### 2.1.1.3.1 Válvula de recirculación automática de la bomba

Para Nesbitt (2007) las bombas centrífugas son el tipo de bomba más popular para aplicaciones industriales y de procesos. Una buena razón por la que estas bombas son tan populares es la facilidad de regulación del flujo. Una válvula colocada en la tubería de salida de la bomba puede acelerar el flujo, es decir, aumentar la presión de funcionamiento de la bomba, de modo que la bomba funcionará más atrás en su curva.

#### **2.1.1.3.2 Válvula de control termostático**

Según el artículo "*Energy and Buildings*" (2016) la válvula de control termostático una válvula autorreguladora que se instala en la entrada de agua de los radiadores de un sistema calefacción de agua caliente para controlar la temperatura de un local o habitación. La válvula regula el flujo de agua caliente al radiador pudiendo llegar a cerrar el flujo cuando se alcanza una determinada temperatura seleccionada en la numeración de la cabeza termostática.

La válvula termostática contiene un material que, dependiendo de la temperatura ambiente, se expande o contrae empujando un perno que cierra o abre el flujo de agua caliente. Si la temperatura ambiente alcanza la temperatura seleccionada la válvula cierra el circuito del radiador.

#### **2.1.1.3.3 Válvulas de presión/temperatura**

Según Nesbitt (2007) las válvulas de control termostáticas se pueden combinar con reguladores de control de presión. El mecanismo de control del regulador de presión se ajusta por el movimiento resultante de los cambios de temperatura de la "carga". Ambos, o cualquiera de los impulsos de control pueden ser amplificadas por piloto. Este tipo de válvula es muy especial, pero puede ser extremadamente útil en situaciones en las que no hay energía externa disponible para una válvula de control.

#### **2.1.1.3.4 Accionamiento biomédico**

Menciona Nesbitt (2007) en su libro que se puede producir un tipo modificado de válvula de control termostático haciendo uso del concepto de expansión diferencial de metales diferentes. Se produce un movimiento lineal conectando una bombilla externa, expuesta al fluido que varía de temperatura, a una varilla interna. Al seleccionar correctamente los dos metales, la varilla puede producir un movimiento positivo o negativo al aumentar la temperatura. Este estilo de válvula solo está disponible en la forma compacta de construcción de la unidad; El sensor, el actuador, el cuerpo de la válvula y el ajuste del punto de ajuste son un solo conjunto. El fluido que se detecta no necesariamente tiene que ser el fluido que se controla.

#### **2.1.1.3.5 Válvulas de control para sólidos secos**

Para Nesbitt (2007) si el control de flujo se puede implementar con éxito depende de la naturaleza de los sólidos secos. El control de flujo de sólidos graduados, sólidos dentro de límites de tamaño ajustados, puede ser muy preciso cuando los sólidos tienen una forma bastante regular. Cuando el tamaño de los sólidos varía en un amplio rango, el control del flujo es difícil y se sacrifica la precisión. Incluso con sólidos graduados, se puede requerir vibración externa de forma regular para garantizar un flujo continuo. Muchos estilos de válvulas de control estándar no son adecuados para sólidos secos. Los mejores resultados se logran con válvulas adaptadas para aplicaciones de sólidos secos.

#### **2.1.1.3.6 Válvulas de control no metálicas**

Según Nesbitt (2007) estas válvulas tienen compuertas de acero inoxidable. Es posible recubrir la puerta con cerámica o un termoplástico como FEP, PFA, PTFE o Rilsan™. Un recubrimiento cerámico probablemente proporcionaría la vida útil más larga, así como la resistencia a la corrosión más amplia. Las válvulas de compuerta con cuerpos de poliuretano están disponibles desde DN100 hasta DN600. Un asiento de poliuretano moldeado de una pieza también forma un revestimiento completo para el cuerpo de la oblea. Los materiales estándar de la puerta son de acero inoxidable AISI 304 o 316.

#### **2.1.1.3.7 Válvulas de control higiénico**

Menciona Nesbitt (2007) que los requisitos de limpieza para aplicaciones higiénicas imponen limitaciones severas en la construcción de la válvula de control. La necesidad de eliminar volúmenes y hendiduras "muertas" donde el material del proceso podría acumularse restringe el estilo de los conjuntos de válvulas que pueden cumplir con las regulaciones legales. La experiencia ha demostrado que algunos diseños de válvulas son eminentemente adecuados. Se utiliza una mezcla de especificaciones de tubos imperiales y métricos para aplicaciones higiénicas.

### **3.1.2 Aluminio**

Según el artículo de *Azo Materials* el aluminio es el metal más abundante en el mundo y el tercer elemento más común. Su versatilidad lo convierte en el metal más utilizado después del acero (Aalco - Ferrous and Non-Ferrous Metals Stockist, 2005).

El aluminio se deriva del mineral bauxita, la bauxita se convierte en óxido de aluminio (alúmina) a través del proceso Bayer, la alúmina se convierte luego en aluminio metálico utilizando células electrolíticas y el proceso Hall-Héroult.

El aluminio tiene una demanda mundial de alrededor de 29 millones de toneladas por año, de los cuales cerca de 22 millones son aluminio nuevo y 7 millones son chatarra de aluminio reciclado. Para producir 1 tonelada de aluminio nuevo se necesitan por lo menos 14,000 kWh, por otro lado, para producir aluminio reciclado solo se necesita el 5% de esa energía. De acuerdo con el artículo "*Aluminium - Specifications, Properties, Classifications and Classes*" (Aalco - Ferrous and Non-Ferrous Metals Stockist, 2005) no existe diferencia con respecto a la calidad de un aluminio nuevo a uno reciclado.

#### **3.1.2.1 Propiedades del Aluminio**

##### **3.1.2.1.1. Densidad.**

El aluminio tiene una densidad alrededor de un tercio del metal o cobre, haciéndolo uno de los metales comerciales más ligeros. El resultado de una alta resistencia contra un peso lo convierte en un material estructural importante en la industria que permite mayores cargas útiles o particularmente ahorros de combustible para las industrias de transporte.

##### **3.1.2.1.2. Resistencia**

El aluminio puro no tiene una alta resistencia a la tensión. Por otro lado, el añadir elementos como manganeso, silicio, cobre y magnesio puede incrementar la propiedad de resistencia del aluminio y producir una aleación con propiedades para particulares aplicaciones. La resistencia del aluminio aumenta en bajas temperaturas, al contrario del metal que se vuelve frágil a bajas temperaturas.

#### **3.1.2.1.3. Resistencia a la Corrosión**

Cuando el Aluminio es expuesto al aire, una capa de óxido de aluminio se crea casi instantáneamente en la superficie del aluminio. Esta capa funciona para proteger el aluminio de la corrosión.

#### **3.1.2.1.4. Conductividad Térmica**

La conductividad térmica del aluminio es 3 veces mayor que la del acero. Esto hace al aluminio un material importante para aplicaciones con climas fríos y calientes, como intercambiadores de calor.

#### **3.1.2.1.5. Conductividad Eléctrica**

Junto con el cobre, el aluminio tiene una alta conductividad eléctrica como para usarse como conductor eléctrico.

### **3.1.2.2 Aplicaciones del Aluminio**

El aluminio puro puede llegar a ser blando, dúctil, resistente a la corrosión y tiene una alta conductividad eléctrica, este es altamente utilizado en cables y conductores. Para proporcionar mayor resistencia para otras aplicaciones se debe de crear una aleación con otros materiales. El aluminio es uno de los materiales más ligeros de la ingeniería, con una relación resistencia/peso superior al acero. (Aalco - Ferrous and Non-Ferrous Metals Stockist, 2005)

### **3.1.2.3 Aleaciones del Aluminio**

Unas de las aleaciones más comunes del aluminio son con los materiales Zinc, Magnesio, Cobre, Silicio, Manganeso y Litio.

Existen más de 300 aleaciones forjadas con 50 de uso común. Estas son normalmente identificadas por un sistema de 4 dígitos que es originario de Estados Unidos y es mundialmente aceptado. La

Tabla 2 describe el sistema para las aleaciones de aluminio forjadas.

Tabla 2 - Designaciones para aleaciones de aluminio forjado

Elemento de Aleación	Forjado
<b>99% Aluminio</b>	1XXX
<b>Cobre</b>	2XXX
<b>Manganeso</b>	3XXX
<b>Silicio</b>	4XXX
<b>Magnesio</b>	5XXX
<b>Magnesio + Silicio</b>	6XXX
<b>Zinc</b>	7XXX
<b>Litio</b>	8XXX

Obtenida de (Aalco - Ferrous and Non-Ferrous Metals Stockist, 2005)

### 3.1.3 Fundición

Fundición según el artículo “Fundición y moldeo. Procesos de manufacturas”, es un proceso que sirve para producir piezas con metal fundido y consiste en vaciar el metal fundido en un molde que tenga la forma que se desea fabricar, para después esperar a que se enfríe (Monzón V., 2017). Este mismo artículo también menciona sobre los moldes metálicos, que son moldes permanentes hechos de metal que se utilizan para la producción masiva de piezas con alta calidad.

Hog-out es el nombre que se le da a partes prototipo de metal que se producen removiendo material de una barra de metal mediante maquinas CNC (Mason, 2014). Manson también menciona que es una excelente opción cuando se busca fuertes y precisas en pequeñas cantidades.

## **2.2 Teoría**

Existe una teoría en la que el proceso de fundición no es recomendado para piezas que se producen con poca frecuencia, ya que los moldes con los que se fabrican pueden llegar a dañarse por el poco uso que tienen, y además la reparación y el mantenimiento de los moldes puede llegar a ser demasiado costoso para tan pocas partes producidas, por eso se recomienda tener algún método de manufactura alternativo, para así reducir el costo de manufactura en piezas que se producen con poca frecuencia.

## **2.3 Investigación Relacionada**

Hog-out puede beneficiar a una empresa de múltiples maneras, el proceso es más eficiente en costo al momento de producir cantidades pequeñas ya que no necesita un patrón o tiempo de fundición. Estas piezas también tendrán una mejor precisión ya que el modelo viene directamente de los archivos CAD (Diseño asistido por computadora) y se pasa a las maquinas CNC (Control numérico por computadora). Las partes por Hog-out dado que vienen directamente de una parte sólida, tienden a tener una mejor fuerza estructural que las piezas fundidas.

## Capítulo 3 – Metodología y Planeación

En esta sección se presenta la metodología utilizada en la elaboración de este proyecto el cual busca desarrollar un método de manufactura alternativo para la fabricación de los componentes de las válvulas de control que permitan disminuir hasta un 35% el costo y tiempo de respuesta en el abastecimiento de refacciones en el mercado.

La metodología utilizada está dividida en 4 fases principales: Identificación de válvulas, Investigación de métodos de manufactura, Búsqueda de proveedores y Creación de modelos. La Figura 9 muestra un esquema de estas fases con las actividades principales.

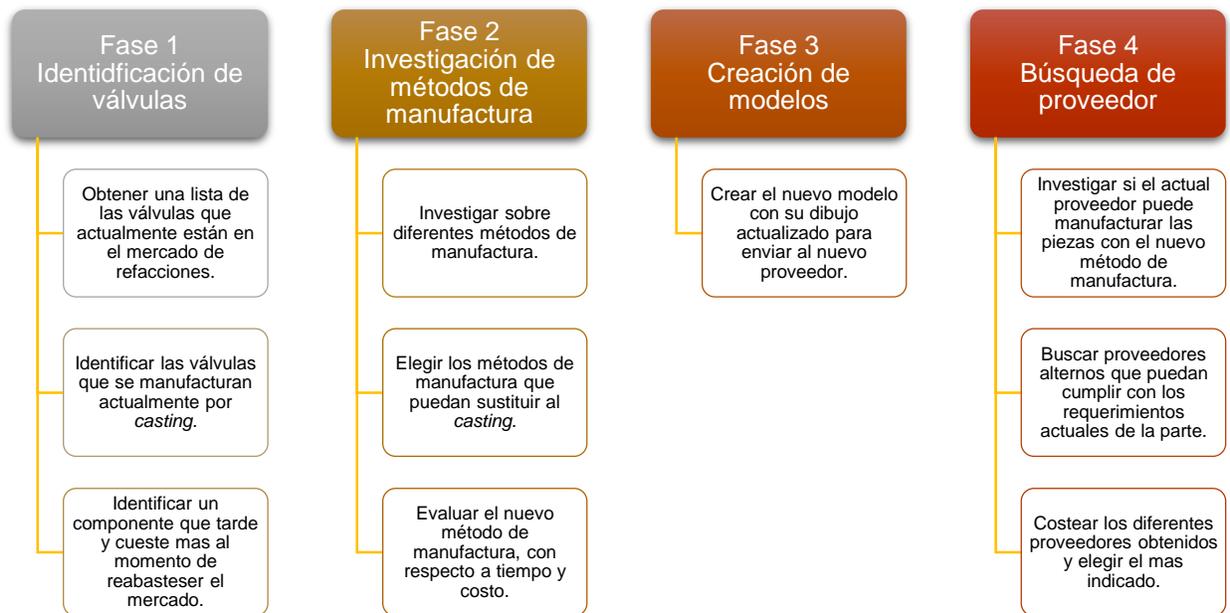


Figura 9 - Esquema de Fases  
Elaboración Propia.

La primera fase Identificación de válvulas, busca conocer las válvulas que están actualmente en el mercado de refacciones que sus componentes se manufacturen por casting, e identificar un componente que este impactando más en el métrico de costo y tiempo de producción.

La segunda fase Investigación de métodos de manufactura, se enfoca en la búsqueda que métodos de manufactura alternos los cuales puedan sustituir al casting sin afectar la calidad y las especificaciones requeridas por *Honeywell Aerospace*, y a su vez pueda disminuir el tiempo y el costo de producción.

La tercera fase es cuando se tiene que crear y libera el modelo actualizado con los métodos de manufactura alternos para después empezar la búsqueda de los proveedores alternos.

En la cuarta y última fase empieza la Búsqueda de Proveedores, se tiene que platicar con el actual proveedor para plantear el nuevo proceso de manufactura y ver si es capaz de cumplir con el requerimiento. A su vez se buscan proveedores alternos que tengan la capacidad de manufacturar las piezas y que cumplan con las especificaciones de la parte. Una vez teniendo una lista de proveedores capaces de cumplir con los requerimientos y especificaciones, se elige la mejor opción en costo y tiempo de respuesta.

### 3.1 Plan de Trabajo

En la Figura 10 se puede ver un cronograma del plan de trabajo de acuerdo con las actividades necesarias.

Fecha (semana)	Enero		Febrero				Marzo					Abril				Mayo	
	20	27	3	10	17	24	2	9	16	23	30	6	13	20	27	4	11
Obtener una lista de válvulas que actualmente están en el mercado de refacciones.	■	■															
Identificar las válvulas que se manufacturan actualmente por <i>casting</i> .			■														
Identificar un componente de una válvula que tarde y cueste más para reabastecer el mercado.				■													
Investigar sobre diferentes métodos de manufactura.					■	■											
Elegir los métodos de manufactura que puedan sustituir al <i>casting</i> .							■										
Evaluar el nuevo método de manufactura, con respecto a tiempo y costo.								■									
Crear nuevos modelos con sus dibujos actualizados para enviar el nuevo proveedor.									■	■							
Investigar si el actual proveedor puede manufacturar las piezas con el nuevo método de manufactura.											■	■	■				
Buscar proveedores que puedan cumplir con los requerimientos actuales de la parte.														■	■		
Costear los diferentes proveedores obtenidos y elegir el más indicado.																■	■

Figura 10 – Cronograma.  
Elaboración Propia.

## 3.2 Recursos

Los recursos que se necesitan para llevar a cabo este proyecto de acuerdo a las fases que se establecieron fueron los siguientes:

- Para la primera fase se necesita acceso a la base de datos de la empresa para poder ver la demanda y de números de parte para el mercado de refacciones, así como los valores de tiempo estándar de producción y el costo.
- Para la segunda fase se utiliza una base de datos de artículos de investigación en la cual se investigan varios métodos de manufactura para poder evaluar cuál sería una mejor alternativa para sustituir el método de *casting*.
- Para la tercera fase se necesita de un programa de dibujo asistido por computadora (CAD) para modelar y hacer el dibujo de ingeniería del componente al que vamos a sustituir el método de manufactura, en este caso la empresa utiliza el programa NX.
- Para el entregable de la cuarta y última fase se necesita tener comunicación con el departamento de materiales para saber los proveedores con los cuales ya tenemos algún contrato, y ver si alguno de ellos puede manufacturar la pieza con las especificaciones necesarias, y que además lo entregue en tiempo.

### 3.3 Entregables

Los entregables de este proyecto se dividieron de acuerdo con las 4 fases que se establecen en el Capítulo 3, para la primera fase el entregable es una lista de válvulas que están actualmente en el mercado de refacciones en la cual se señalan las válvulas que tienen componentes que se manufacturan por *casting*, junto con el componente que está afectando los métricos de tiempo y costo.

Para la segunda fase se entrega una lista de métodos de manufactura, resaltando cual sería la mejor opción para reemplazar el método de *casting*. Para la tercera fase se entrega el modelo y dibujo de ingeniería del componente de la válvula con las especificaciones para el método de manufactura alterno.

Para cuarta y última fase se entrega una lista de los proveedores los cuales tiene la capacidad de manufacturar la pieza y que pueda cumplir con los requerimientos de *Honeywell Aerospace*.

## Capítulo 4 – Resultados

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos durante todo el proyecto de innovación con el objetivo de desarrollar un método de manufactura alternativo para la fabricación de los componentes de las válvulas de control que permitan disminuir hasta un 35% el costo y tiempo de respuesta en el abastecimiento de refacciones en el mercado.

Se crea una base de datos la cual contiene los números de parte que son componentes de válvulas, que además su método de fabricación fuese por fundición y los cuales solo se fabrican como refacción. Esta base de datos contiene la información necesaria para saber si el componente está tardando en producción y está costando más de lo estimado. Gracias a esto se encontró un número de parte el cual está cumpliendo con las características que se necesitan para ser candidato para un cambio de proceso de manufactura.

La Tabla 3 es una muestra de la base de datos de números de parte candidatos para el proyecto, subrayando en número de parte en el cual se trabaja.

Tabla 3 - Muestra de Base de Datos.

Numero de Parte	Tiempo		Costo (DlIs)	Costo Actual
	Estandar (Dias)			
3237382-3	20		999.99	1299.987
3184812-2	25		699.99	979.986
3172213-2	20		559.99	727.987
3184973-1	35		459.99	620.9865
3184875-2	40		759.99	1063.986
<u>3183601-1</u>	<u>20</u>		<u>499.99</u>	<u>749.985</u>
3184812-1	15		599.99	779.987
3171975-4	30		859.99	1074.9875
3179400-2	10		799.99	1119.986
3262213-8	31		959.99	1391.9855
3237389-3	20		1299.99	1689.987
3163812-10	25		359.99	431.988

Fuente: Elaboración Propia.

Se investigan y conocen métodos de manufactura los cuales pueden sustituir al método de fundición, encontrando así el método de manufactura de *hog-out* el cual, además de

sustituir, puede igualar o mejorar las propiedades de la pieza a la cual se planteó actualizar con el método de manufactura alternativo.

Teniendo el número de parte el cual se va a actualizar con el método de manufactura de *hog-out*, se crea un nuevo modelo CAD y un nuevo dibujo de ingeniería con las especificaciones y cambios que se necesitan hacer para actualizar la pieza y pueda ser manufacturarle con el método alternativo de manufactura.

La figura son fotos comparando el modelo escaneado de una pieza fabricada en *Casting* y el nuevo modelo generado en NX para el nuevo método de manufactura alternativo que se va a producir.

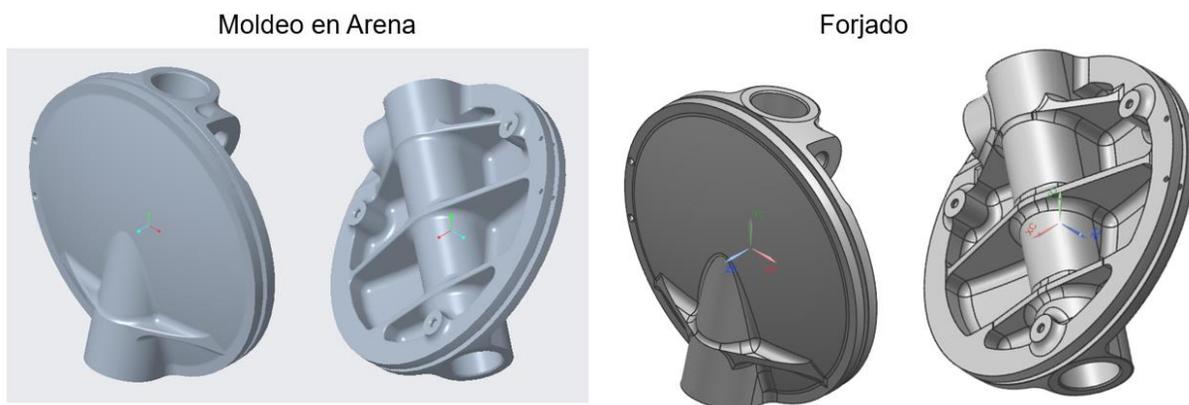


Figura 11 – Comparación de Modelos en NX.  
Elaboración Propia.

Y para terminar se contacta con el actual proveedor del número de parte y se consigue que el mismo manufacture la misma pieza, pero con el método de manufactura de *hog-out*, mejorando el tiempo de producción y reduciendo el costo de la parte.

La Figura 12 y la Figura 13 muestran el costo y el tiempo de producción de la pieza con el nuevo método de manufactura.

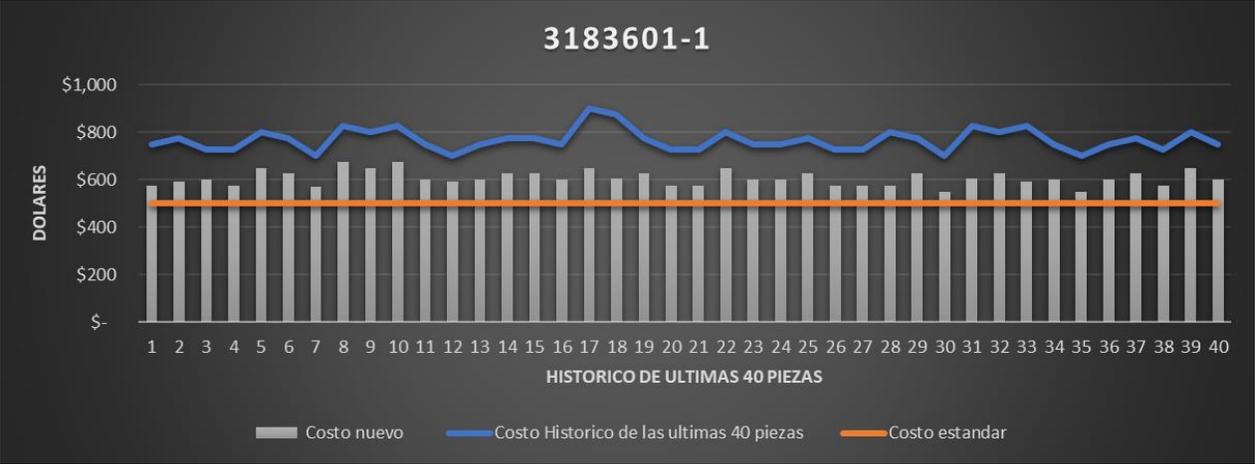


Figura 12 - Grafica Comparativa del Costo Histórico VS Estándar VS Nuevo.  
Elaboración Propia.



Figura 13 - Grafica Comparativa del Tiempo Histórico VS Estándar VS Nuevo.  
Elaboración Propia.

## Capítulo 5 – Conclusiones

Gracias a este proyecto de investigación podemos concluir que a pesar de que el proceso de *castig* es muy recomendado, no es muy conveniente utilizar este proceso para números de parte con poca demanda, ya que el mantenimiento de los moldes puede llegar a ser muy costoso. También se encontró que actualmente existen varios números de parte que están en el mercado de refacciones y se producen por medio de *casting* y ya es muy baja la demanda de estos números por lo que se recomienda cambiar o actualizar el proceso de manufactura por uno de remoción de material como lo es el maquinado o *Hog-Out*.

También se recomienda a la empresa *Honeywell Aerospace* formar un equipo el cual pueda analizar y evaluar los números de partes existentes para crear una lista con los cuales sean candidatos a un cambio de manufactura, y así reducir costos y tiempo de producción para esos números de partes que tienen baja producción.

Gracias a este proyecto se puede concluir que la hipótesis planteada es correcta y que la creación de métodos de manufactura alternos para componentes de válvulas de control ayuda a reducir en un 35% el costo de producción y el tiempo de respuesta para el mercado de refacciones de *Honeywell Aerospace*.

## Referencias

- Aalco - Ferrous and Non-Ferrous Metals Stockist. (2005). *Aluminium - Specifications, Properties, Classifications and Classes*. Azom. Obtenido de <https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=2863>
- About Honeywell Aerospace*. (2020). Obtenido de Honeywell Aerospace: <https://aerospace.honeywell.com/en/learn/about-us/about-honeywell-aerospace>
- Areej. (2 de May de 2018). Difference between single seated & double seated control valves. AutomationForum.Co. Obtenido de <https://automationforum.co/difference-single-seated-double-seated-control-valves/>
- Campbell, J. (2003). *Casting* (2 ed.). Butterworth-Heinemann.
- Draghiciu, M., Korca, Z.-I., & Gillich, G.-R. (2017). Modal-Based Design Improvement of a Butterfly Valve Disc. *Analele Universitatii "Eftimie Murgu"*, 24(1), 80-87.
- Frueh, C. (11 de December de 2014). *Machining Parts: Casting vs. Hog-outs*. Obtenido de Evaero - modern manufacturing and machining for aerospace and defense: <http://evaero.com/machining-parts-castings-vs-hog-outs/>
- Fürst, Y., Brandt, S., & Kriegel, M. (2020). Thermal modelling of three-way mixing valves using Bézier curves for parameter estimation applications. *Journal of Process Control*, 90, 56-62. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jprocont.2020.04.004>.
- Mason, C. (2014). *How can a Hog-Out Help You?* Obtenido de Prototype Castings: Ductile, Iron, Aluminum, Magnesium, Chicago | IL: <http://info.cpm-industries.com/blog/bid/326663/How-can-a-Hog-Out-Help-You>
- Monzón V., D. G. (Febrero de 2017). *Fundicion y Modeo, Procesos de Manufactura*. Obtenido de SlideShare: <https://es.slideshare.net/davidga1996/fundicin-y-moldeo-procesos-de-manufacturas>

- Nesbitt, B. (2007). *Handbook of Valves and Actuators*. (Butterworth-Heinemann, Ed.) Elsevier Science & Technology Books. doi:<https://doi.org/10.1016/B978-1-85617-494-7.X5027-5>
- Pulkit Garg, A. J. (2019). Advance research progresses in aluminium matrix composites: manufacturing & applications. *Journal of Materials Research and Technology*, 4924-4939. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2019.06.028>
- Seifert, J., Knorr, M., Meinzenbach, A., Bitter, F., Gregersen, N., & Krogh, T. (2016). Review of thermostatic control valves in the European standardization system of the EN 15316-2/EN 215. *Energy and Buildings*, 125, 55-65. doi:<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.04.066>.
- Sivaranjith. (1 de February de 2018). Globe valve, types of globe valve. AutomationForum.Co. Obtenido de <https://automationforum.co/globe-valve-types-globe-valve/>
- Weiss, D. (2018). Chapter 5 - Advances in the Sand Casting of Aluminium Alloys. En R. N. Lumley, *Fundamentals of Aluminium Metallurgy* (págs. 159-171). In Woodhead Publishing Series in Metals and Surface Engineering. Obtenido de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780081020630000059>