

**DISEÑO DE UNA MÁQUINA RECTIFICADORA DE  
SEGMENTOS DE VÁLVULAS TAPÓN**



**LAMELA, Néstor Ignacio**

**PROYECTO INTEGRADOR PROFESIONAL**

Presentado a la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional del  
Comahue como requisito para la obtención del grado de  
**INGENIERO MECÁNICO**

Neuquén - Argentina

2024

# **DISEÑO DE UNA MÁQUINA RECTIFICADORA DE SEGMENTOS DE VÁLVULAS TAPÓN**

**LAMELA, Néstor Ignacio**

Director: **Ing. CAMPOS, Damián**

Co-Director: **Ing. GOYTIÑO, Lucas Guillermo**

Presentado a la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional del  
Comahue como requisito para la obtención del grado de  
**INGENIERO MECÁNICO**

Neuquén - Argentina

2024

# **DISEÑO DE UNA MÁQUINA RECTIFICADORA DE SEGMENTOS DE VÁLVULAS TAPÓN**

**LAMELA, Néstor Ignacio**

Aprobado en fecha 18 de Octubre 2024.

Tribunal evaluador:

- Ing. GARRIDO, Rocío
- Ing. MAZZONI, José Luis
- Dr. Ing. STEIMBREGER, Ceferino

## **AGRADECIMIENTOS**

A mi familia, en especial a mis padres, Mónica y Néstor, y a mi hermana Tamara, por su apoyo incondicional durante toda mi carrera, por su amor y por formarme como persona.

A mi abuela, quien, con su amor y predisposición, siempre estuvo a mi lado brindándome el apoyo que necesitaba.

A mis amigos, que han estado a mi lado en todo momento, acompañándome y apoyándome.

A mis compañeros del Departamento de Mecánica Aplicada, con quienes he compartido y sigo compartiendo largas jornadas laborales.

Al Director del PIP, Ing. Damián Campos, y al Co-Director, Ing. Lucas Goytiño, quienes me guiaron con capacidad y compromiso durante el desarrollo de este trabajo.

A los docentes de la Universidad Nacional del Comahue, en especial a Germán y Orlando, quienes colaboraron en mi formación profesional.

A la empresa Flowback SRL, por confiar en mí para desarrollar este proyecto.

A Mario, quien, con la mejor predisposición, atendió mis consultas y me brindó un calificado asesoramiento.

# DISEÑO DE UNA MÁQUINA RECTIFICADORA DE SEGMENTOS DE VÁLVULAS TAPÓN

Autor: LAMELA, Néstor Ignacio.

Director: Ing. CAMPOS, Damián.

Co-Director: Ing. GOYTIÑO, Lucas Guillermo.

## Resumen

El presente trabajo aborda el diseño y la fabricación de una máquina rectificadora portátil ad hoc para la reparación de segmentos de asiento de válvulas tipo tapón. El objetivo principal del proyecto fue desarrollar un equipo que cumpliera con las necesidades específicas del Comitente, asegurando una operación sencilla, económica y eficiente. A través de un proceso de diseño meticuloso, que incluyó el análisis de procesos de rectificado interno y la implementación de especificaciones técnicas detalladas, se logró fabricar un prototipo funcional capaz de llevar a cabo el proceso tecnológico con adecuados estándares de precisión. Los resultados experimentales confirmaron que la máquina desarrollada no solo cumple con los requisitos técnicos, sino que también ofrece una solución robusta y de bajo costo en comparación con las alternativas disponibles en el mercado. Este proyecto proporciona un enfoque práctico para la reparación integral de válvulas tipo tapón, reduciendo costos y mejorando la eficiencia operativa.

*Palabras clave: Válvulas Tapón, Rectificado, Asientos, Diseño Mecánico.*

# DESIGN OF A GRINDING MACHINE FOR PLUG VALVE SEGMENTS

Author: Lamela, Néstor Ignacio.

Advisor: Ing. CAMPOS, Damián.

Co-Advisor: Ing. GOYTIÑO, Lucas Guillermo.

## Summary

This work addresses designing and fabricating a custom portable grinding machine to repair plug valve seat segments. The main objective of the project was to develop equipment that meets the specific needs of the Client, ensuring simple, economical, and efficient operation. Through a meticulous design process, which included the analysis of internal grinding processes and the implementation of detailed technical specifications, a functional prototype was successfully built, capable of carrying out the technological process with adequate precision standards. Experimental results confirmed that the developed machine meets the technical requirements and offers a robust and cost-effective solution compared to available market alternatives. This project provides a practical approach to the comprehensive repair of plug valves, reducing costs and improving operational efficiency.

*Keywords: Plug Valves, Grinding, Seats, Mechanical Design.*

---

## Índice

<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
<b>2. MOTIVACIÓN</b>	<b>3</b>
<b>3. OBJETIVOS</b>	<b>4</b>
3.1. Objetivo General . . . . .	4
3.2. Objetivos Específicos . . . . .	4
<b>4. MARCO TEÓRICO</b>	<b>5</b>
4.1. Fundamentos de las Válvulas Tapón . . . . .	5
4.2. Normativa de Referencia . . . . .	9
4.3. Caracterización del Proceso de Rectificado . . . . .	10
4.3.1. Generalidades . . . . .	10
4.3.2. Parámetros de Operación . . . . .	13
4.3.3. Tipos de Muelas . . . . .	15
4.3.4. Potencia Consumida . . . . .	21
4.4. Metodología de Diseño . . . . .	24
4.4.1. Planificación del producto - Declaración de Misión . . . . .	24
4.4.2. Diseño Conceptual . . . . .	25
4.4.3. Ingeniería Básica . . . . .	26
4.4.4. Ingeniería de Detalle . . . . .	28
4.4.5. Pruebas y Refinamiento . . . . .	29
<b>5. DESARROLLO</b>	<b>32</b>
5.1. Análisis del Proceso de Reparación . . . . .	32
5.1.1. Introducción . . . . .	32
5.1.2. Alcance de la Reparación . . . . .	34
5.2. Declaración de Misión . . . . .	36
5.3. Diseño Conceptual . . . . .	37
5.3.1. Identificación de Necesidades . . . . .	37

---

---

5.3.2. <i>Benchmarking</i> . . . . .	38
5.3.3. Especificaciones Técnicas . . . . .	39
5.3.4. Análisis Funcional . . . . .	40
5.3.5. Generación de Conceptos . . . . .	41
5.3.6. Arquitectura de la Máquina . . . . .	47
5.4. Ingeniería Básica . . . . .	48
5.4.1. Bloque I: Sistema de soporte, fijación y giro de segmentos. . . . .	49
5.4.2. Bloque II: Sistema de soporte, traslación y accionamiento de la herramienta . . . . .	49
5.5. Ingeniería de Detalle . . . . .	60
5.5.1. Verificación del Bastidor . . . . .	60
5.5.2. Verificación del Eje . . . . .	63
5.5.3. Despiece . . . . .	66
5.6. Fabricación y Montaje . . . . .	67
5.7. Pruebas de Funcionamiento . . . . .	70
5.8. Procedimiento de Reparación . . . . .	73
<b>6. CONTRIBUCIONES Y FUTURAS LÍNEAS DE TRABAJO</b>	<b>80</b>
<b>7. CONCLUSIONES</b>	<b>81</b>
<b>8. REFERENCIAS</b>	<b>82</b>
<b>A. Anexo I: Segmentos a rectificar</b>	<b>85</b>
<b>B. Anexo II: <i>Benchmarking</i></b>	<b>86</b>
B.1. Rectificadora Portátil de Válvulas para Asientos Cónicos - Modelo VSK . .	86
B.2. Máquina de Rectificado de Precisión de Alta Velocidad - Modelo VSA . .	87
B.3. Rectificadora Portátil para Torno . . . . .	88

---

---

## Índice de Figuras

1.	Ubicación de una válvula tapón en una instalación <i>Oil&amp;Gas</i> típica. . . . .	1
2.	Detalle componentes interiores de una Válvula tapón. . . . .	2
3.	Válvula tapón: componentes principales. . . . .	6
4.	Válvula Tapón Balanceado ( <a href="http://www.sgpe.com">www.sgpe.com</a> ). . . . .	8
5.	Operaciones de Rectificado. . . . .	12
6.	Parámetros del proceso de rectificado interior. . . . .	14
7.	Interacción muela-pieza. . . . .	21
8.	Energía específica vs Espesor de viruta ( <a href="http://www.ehu.eus/manufacturing/">www.ehu.eus/manufacturing/</a> ). . . . .	22
9.	Presión específica de corte (Anguiano Gamiño, 2003). . . . .	23
10.	Metodología de diseño adaptada de Ulrich y Eppinger (2015). . . . .	24
11.	Subetapas en la fase de Diseño Conceptual (Ulrich y Eppinger, 2015). . . . .	25
12.	Método de Generación de Conceptos (Ulrich y Eppinger, 2015). . . . .	26
13.	Tipos de prototipos (Ulrich y Eppinger, 2015). . . . .	30
14.	Conjunto Tapón - Segmentos de una Válvula TSI 2x2". . . . .	32
15.	Deterioro en segmentos de válvulas tapón. . . . .	33
16.	Diagrama de Caja Negra. . . . .	40
17.	Diagrama de Caja Transparente. . . . .	41
18.	Bloque I - Concepto solución 1. . . . .	43
19.	Bloque I - Concepto Solución 2. . . . .	44
20.	Bloque I - Concepto Solución Seleccionado. . . . .	45
21.	Pruebas preliminares con un prototipo físico basado en una amoladora recta. . . . .	46
22.	Esquema general del Bloque II. . . . .	46
23.	Arquitectura de la Máquina. . . . .	48
24.	Muela tipo copa recta ( <a href="http://www.tyrolit.com.ar">www.tyrolit.com.ar</a> ). . . . .	50
25.	Torno Paralelo Wing L-2680. . . . .	51
26.	Motor eléctrico ( <a href="http://www.czerweny.ar">www.czerweny.ar</a> ). . . . .	52
27.	Gráfico para la selección de la sección de la correa. . . . .	53
28.	Dimensiones generales del eje. . . . .	56
29.	Esquema de montaje del motor sobre el bastidor. . . . .	57

---

---

30.	Polea motor. . . . .	58
31.	Vista General de la Máquina Rectificadora. . . . .	59
32.	Detalle del bastidor. . . . .	61
33.	Modelo de Elementos Finitos del bastidor. . . . .	62
34.	Análisis Modal del bastidor. . . . .	63
35.	Modelo para la verificación del eje. . . . .	64
36.	Análisis de esfuerzos y deformaciones del eje. . . . .	64
37.	Análisis modal del eje. . . . .	65
38.	Componentes de la Máquina. . . . .	66
39.	Mecanizado del eje. . . . .	67
40.	Bastidor y eje. . . . .	67
41.	Sistema de sujeción. . . . .	68
42.	Soporte motor. . . . .	68
43.	Detalle de los componentes previo al ensamble. . . . .	69
44.	Montaje Máquina Rectificadora en torno paralelo. . . . .	69
45.	Máquina rectificadora en operación. . . . .	70
46.	Medición de vibraciones. . . . .	70
47.	Mediciones en el dominio de la frecuencia (FFT). . . . .	71
48.	Mediciones de desplazamiento en el dominio temporal. . . . .	72
49.	Control de rugosidad de un segmento. . . . .	73
50.	Medición de curvatura segmentos rectificadas con un proyector de perfiles. . . . .	75
51.	Resultados de la medición de curvatura. . . . .	75
52.	Proceso de plaqueado láser del tapón. . . . .	76
53.	Secuencia de ensamble. . . . .	78
54.	Prueba hidrostática. . . . .	79
55.	Dimensiones generales segmento válvula TSI 2". . . . .	85
56.	Rectificadora Modelo VSK ( <a href="http://www.efco-dueren.de">www.efco-dueren.de</a> ). . . . .	86
57.	Rectificadora Modelo VSA ( <a href="http://www.efco-dueren.de">www.efco-dueren.de</a> ). . . . .	87
58.	Rectificadora Portátil para Torno ( <a href="http://www.ditoma.ar">www.ditoma.ar</a> ). . . . .	88

---

**Índice de Tablas**

1.	Listado de Necesidades y Requerimientos. . . . .	38
2.	Especificaciones Técnicas Objetivo. . . . .	39
3.	Especificaciones Técnicas Torno Wing L-2680. . . . .	51
4.	Descripción de componentes según Ingeniería de Detalle. . . . .	66
5.	Control de Rugosidad [ $\mu m$ ]. . . . .	74

---

## 1. INTRODUCCIÓN

En las conducciones de fluidos por tuberías, las válvulas son dispositivos mecánicos muy empleados, ya que permiten iniciar, detener y/o regular la circulación correspondiente. Existen una gran variedad de válvulas, donde se pueden mencionar las válvulas tapón, mariposa, globo, compuerta y retención, entre otras.

Las válvulas tapón (*plug valve*), que se las caracteriza como de cierre y conmutación rápida, se las emplea principalmente en instalaciones cuando se requiere, por condiciones operativas, un flujo pleno o nulo del fluido. En casos especiales también se utilizan para regulación. En condición abierta ofrecen baja resistencia a la circulación.

En la Figura 1 se presenta la ubicación de una válvula tapón en una instalación típica (*choke manifold*) empleada en operaciones de *flowback* en la industria del *oil&gas*.

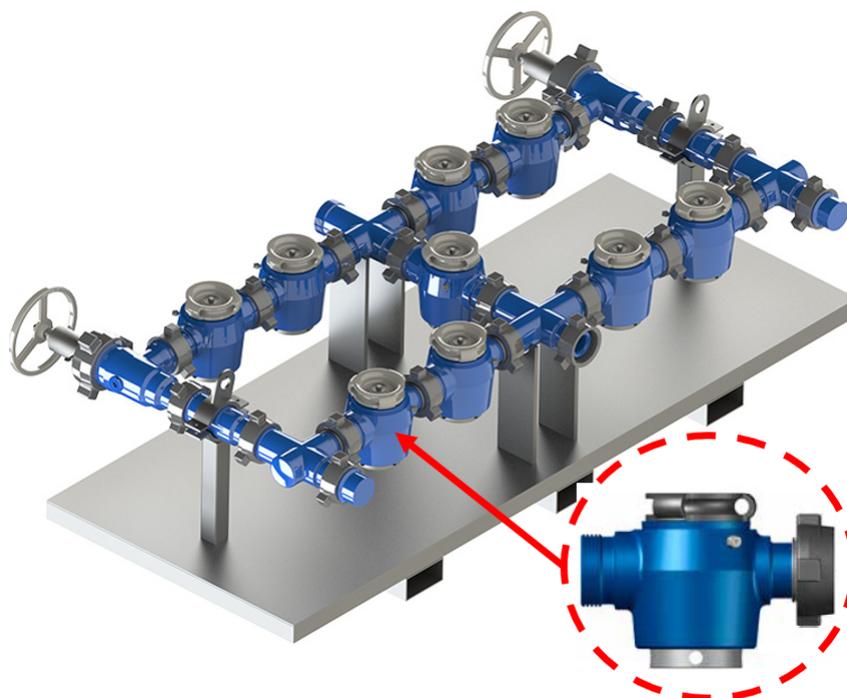


Figura 1. Ubicación de una válvula tapón en una instalación *Oil&Gas* típica.

(Adaptado de [www.tsiflowproducts.com](http://www.tsiflowproducts.com)).

El principio de funcionamiento de las válvulas tapón, está dado por una acción externa que genera el giro (apertura o cierre) de un cuarto de vuelta de un vástago, el cual rota solidario con un tapón ahuecado en forma perpendicular al eje de este. Se tienen tapones cilíndricos con un paso rectangular, o cónicos con una sección de paso trapezoidal, que

permiten o evitan, según la posición de los mismos, el flujo directo a través del cuerpo de la válvula. Tal lo señalado, el accionamiento de la válvula puede realizarse en forma manual por medio de un volante, o a través de actuadores eléctricos, neumáticos u otros.

Corresponde señalar, que las válvulas tapón son posiblemente el tipo más antiguo de válvulas utilizadas para aplicaciones de tuberías, su primer uso se remonta a la época romana. A la fecha, su uso es extensivo y cubren una amplia gama de aplicaciones, como instalaciones de gas y petróleo, estaciones compresoras y centrales hidroeléctricas.

Un aspecto relevante en el funcionamiento de este tipo de válvulas es el sellado entre el tapón y el segmento de asiento en el cuerpo de la válvula. En las válvulas lubricadas, el sellado se logra mediante la inyección de aceite a alta presión entre las superficies de cierre. En el tipo de válvulas no lubricadas, se utilizan cierres del tipo metal con metal rígidos con un eventual tratamiento de las superficies, o bien como alternativa, se emplea uno o ambos asientos no metálicos o eventualmente resilientes.

Para las válvulas a considerar en el presente trabajo, el sellado es del tipo metal con metal, con interfase lubricada, dependiendo el mismo de las propiedades mecánicas de las superficies de contacto entre el tapón y el segmento del asiento (ver Figura 2).



Figura 2. Detalle componentes interiores de una Válvula tapón.

Referencias: (1) Tapón y (2) Segmentos.

Teniendo presente las fuerzas de cierre necesarias, y prestando especial atención a los movimientos relativos entre las piezas en contacto, la dureza y la terminación superficial de las mismas resultan relevantes para la eficiencia y la vida útil de la válvula. Corresponde para ello, un adecuado estudio y consideración de los fenómenos tribológicos inheren-

tes, teniendo como aspectos relevantes las tolerancias dimensionales y rugosidad, en las superficies en contacto (Totten, 1992).

Un adecuado acabado superficial, de baja y muy baja rugosidad en superficies planas y piezas cilíndricas, se puede lograr de manera relativamente sencilla, por ejemplo, con un procedimiento de mecanizado abrasivo denominado rectificado. El rectificado es un proceso de remoción de virutas que utiliza un grano abrasivo individual como herramienta de corte. Se trata de partículas de extremada dureza que se emplean para modificar la forma o el acabado superficial de una pieza (Kalpakjian y Schmid, 2002). Sin embargo, lograr el mismo tipo de terminación superficial en piezas con una configuración geométrica compleja, como el caso en cuestión, constituye un desafío tecnológico.

## 2. MOTIVACIÓN

La motivación de este trabajo se basa en la necesidad de alcanzar un adecuado acabado superficial en superficies de geometría compleja, como los segmentos de válvulas tipo tapón, que son ampliamente utilizadas en las instalaciones de petróleo y gas. Estas válvulas, debido a su uso continuo y las condiciones operativas exigentes, requieren reparaciones y reacondicionamiento para mantener la eficacia del sellado.

Actualmente, las empresas enfrentan la necesidad de enviar estas válvulas a sus fabricantes, muchas veces en el extranjero, para realizar dichas reparaciones. Este procedimiento implica tiempos prolongados de inactividad que son incompatibles con los tiempos de parada de las unidades de producción, además de altos costos asociados al envío y servicio en el exterior.

En respuesta a estos desafíos, se acordó con una empresa local, que se dedica a proveer servicios, insumos y equipos para instalaciones de petróleo y gas, el diseño y fabricación de una máquina rectificadora específica para reparar los segmentos de asiento de las válvulas tipo tapón. Esta máquina permitirá realizar las reparaciones de manera eficiente y en menor tiempo, reduciendo significativamente los costos y minimizando los tiempos de parada de las unidades de producción.

El proyecto no solo busca solucionar un problema técnico, sino también mejorar la competitividad y autonomía de las empresas locales, permitiéndoles gestionar el mantenimiento de sus equipos de manera más efectiva y económica.

---

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1. Objetivo General**

Diseño y fabricación de una máquina rectificadora portátil, para válvulas tapón, conforme a las necesidades específicas del Comitente.

#### **3.2. Objetivos Específicos**

- Análisis de procesos de rectificadores de interiores (*benchmarking*).
  - Establecer las especificaciones técnicas de la máquina rectificadora de segmentos de asiento de válvulas tapón, apta para el propósito establecido por el Comitente.
  - Verificar experimentalmente la conformidad funcional del prototipo de máquina rectificadora desarrollada, de acuerdo a las especificaciones técnicas establecidas, y la consecuente aptitud de las válvulas tapón reparadas para cumplir con las normas de operación aplicables.
-

## 4. MARCO TEÓRICO

Como paso previo al desarrollo específico del proyecto, se consideró necesario profundizar en una serie de temas. Entre ellos se incluyen: aspectos generales, características, tipos, aplicaciones y ventajas de las válvulas tapón; aspectos específicos relacionados con las válvulas respecto a las cuales se desarrollará el sistema de reparación de segmentos de asientos; normas asociadas al diseño, pruebas y operación vinculadas a las válvulas consideradas; proceso tecnológico de rectificado; y metodología proyectual a emplear.

### 4.1. Fundamentos de las Válvulas Tapón

Las válvulas tapón, también conocidas como válvulas macho, émbolo, enchufe u obturador (*plug valves*), están conformadas por un cuerpo con aberturas llamadas puertos, por donde entra y/o sale el fluido. En su interior, disponen de un asiento troncocónico o cilíndrico, en el cual encaja el tapón, émbolo u obturador ahuecado, formando un sellado. Los tapones cónicos tienen una ventana de paso con sección trapezoidal, mientras que los cilíndricos tienen una ventana rectangular, cuya posición determina el grado de apertura de la válvula. Cuando se gira el vástago, solidario al tapón, 90 grados para abrir la válvula, la parte hueca o ventana del obturador se alinea con el flujo del fluido.

En esta condición, el fluido puede circular a través de la válvula sin obstrucciones. Su accionamiento suele ser muy rápido; basta un cuarto de vuelta de la palanca o sistema de accionamiento para pasar de la posición cerrada a la abierta y viceversa. Durante el giro, parte de la sección hueca del tapón se obstruye, restringiendo y estrangulando el caudal. Estas válvulas proporcionan un control de flujo del tipo *on/off* para líquidos y gases, con cierta capacidad de estrangulamiento.

Las válvulas tapón se caracterizan por su diseño sencillo, estructura simple, baja resistencia a los fluidos, capacidad de cierre hermético y posibilidad de una rápida conmutación y automatización. Suelen emplearse en instalaciones poco supervisadas, ya que al colocarse sin palanca o manivela de accionamiento, no se puede alterar su posición.

El uso principal de las válvulas de tapón, al igual que las válvulas de compuerta, es en servicio de corte sin estrangulación. Dado que el flujo a través de la válvula es suave e ininterrumpido, hay poca turbulencia dentro de ella y, por tanto, la caída de presión es

---

baja.

Por lo expuesto, las ventajas principales de las válvulas de tapón son su acción rápida, operación sencilla, espacio mínimo para instalación y cierre hermético cuando tienen un tapón cónico.

En la Figura 3 se presenta un esquema general de una válvula tapón indicando sus componentes principales en las vistas en corte y perspectiva.

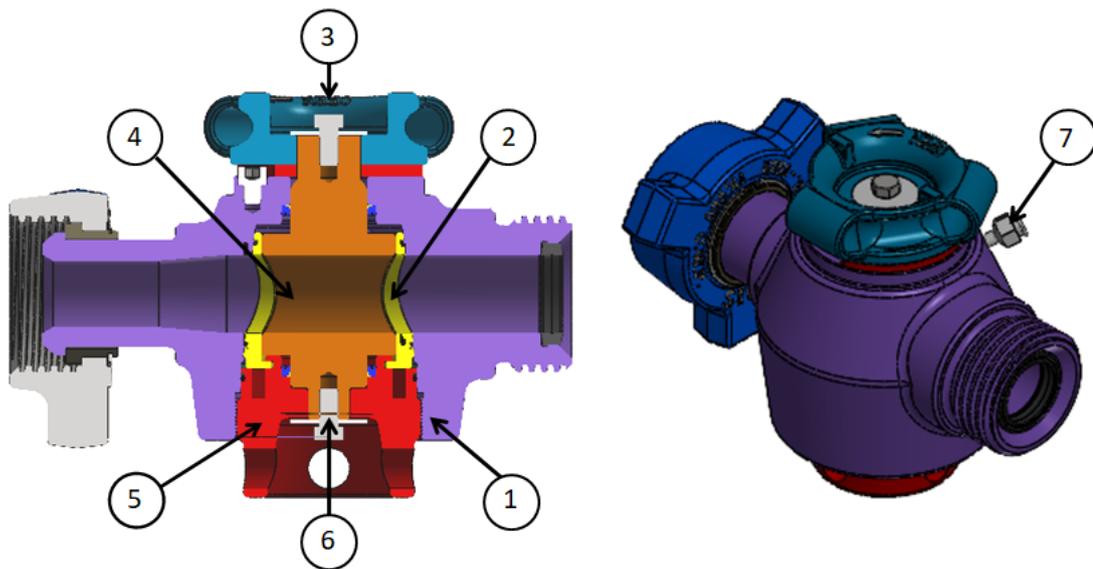


Figura 3. Válvula tapón: componentes principales.

Referencias: (1) cuerpo, (2) segmento, (3) volante de accionamiento, (4) tapón, (5) tapa, (6) tornillo de cierre, y (7) pin de engrase.

Hay una amplia variedad de marcas comerciales de válvulas tapón en el mercado, con diferencias significativas en el diseño de los asientos, el sistema de lubricación, los sellos del vástago y los materiales empleados en los componentes.

Existen dos tipos principales de válvulas de tapón: lubricadas y no lubricadas. Las válvulas lubricadas evitan las fugas entre la superficie del tapón y el asiento en el cuerpo, y reducen la fricción durante la rotación. En cambio, las válvulas no lubricadas tienen un revestimiento en el tapón que elimina la necesidad de lubricación.

A su vez, las válvulas de tapón se dividen en dos categorías principales: circulación rectilínea y orificios múltiples. El tapón de circulación rectilínea puede ser cónico o cilíndrico, y los orificios pueden tener diferentes diseños:

- **Orificio redondo completo:** ocupa toda la cavidad en el tapón y el cuerpo.

- **Orificio rectangular:** de tamaño completo, generalmente rectangulares, con una apertura mínima del 70 % del tamaño de la tubería.
- **Orificio de venturi:** aberturas redondas o rectangulares con superficie reducida y flujo de venturi en el cuerpo.
- **Orificio de rombo:** la abertura del tapón tiene forma de rombo.

En las válvulas lubricadas, se inyecta lubricante a presión para evitar fugas de líquidos entre la cara del tapón y el cuerpo, y reducir la fricción al girar el tapón. El tapón tiene ranuras que permiten que el lubricante forme un sello, elevando el tapón y facilitando la operación. La ventaja de estas válvulas es su operación rápida, aunque tienen una gama limitada de temperatura según el lubricante utilizado.

Las válvulas con tapón no lubricado están disponibles en dos tipos: elevable y con camisa de elastómero o revestimiento para el tapón. En las válvulas elevables, el tapón se levanta mecánicamente para facilitar la rotación. La camisa o revestimiento de elastómero tetrafluoroetileno (TFE) se aplica como revestimiento o por inmersión en el cuerpo, rodeando por completo al tapón. El TFE es duradero, inerte frente a la mayoría de productos químicos, tiene un bajo coeficiente de fricción y es autolubricante. Las ventajas principales de las válvulas con tapón no lubricado son el cierre hermético, operación rápida, ausencia de problemas de lubricación y buen desempeño en una amplia gama de temperaturas.

Las válvulas se fabrican con diversos materiales como hierro fundido, hierro dúctil, acero inoxidable, bronce, níquel, latón, PVC y aleaciones resistentes a la corrosión, y sus tamaños varían desde 1/4 hasta 30 pulgadas.

Las válvulas de tapón son ideales para la obstrucción de orificios múltiples. En este caso, los orificios están dispuestos de modo que, al girar el tapón de una posición a otra, los canales previamente conectados se cierran completamente antes de abrir los siguientes canales o conductos. Esto simplifica mucho la tubería, permitiendo el uso de una sola válvula en lugar de varias válvulas rectilíneas. Las válvulas de orificios múltiples solo cierran en contra de la presión en el sentido positivo, ya que la presión dentro de la válvula empuja el tapón contra el orificio. Estas válvulas no cortan las presiones diferenciales cuando la presión en la tubería es en sentido negativo; la corriente a presión intentará entrar en la

---

válvula. Todas las demás características son las mismas que en el tapón rectilíneo.

En este trabajo, se centra la atención en las válvulas de tapón balanceado. Estas válvulas, que cuentan con un tapón cilíndrico recto y un orificio circular, están diseñadas especialmente para cañerías de cementación, acidificación, fractura y otras líneas de alta presión que transportan productos químicos abrasivos y de inyección. En la Figura 4 se presenta una válvula de este tipo.



(a) Vista principal.

(b) Vista en corte.

Figura 4. Válvula Tapón Balanceado ([www.sgpe.com](http://www.sgpe.com)).

El tapón encaja en un conjunto de dos segmentos, los cuales permiten un fácil funcionamiento bajo presión y evitan que el tapón se atasque en el cuerpo. Los segmentos de cierre, que flotan ligeramente, son retenidos en su lugar mediante pasadores de fijación en el fondo del cuerpo. Un cierre de caucho sintético en la parte posterior de los segmentos de cierre proporciona un ajuste contra el cuerpo cuando hay presión. Gracias a este diseño de segmentos flotantes, la eficiencia del cierre en la válvula no se ve afectada por la microexpansión del cuerpo debido a la presión elevada. En otros diseños, el tapón encaja en un conjunto de cuatro segmentos: dos de apoyo y dos de cierre. Los segmentos de apoyo se sitúan entre los de cierre a lo largo de los costados del cuerpo y son mantenidos en su lugar por la cubierta.

Estas válvulas no requieren ajustes ni herramientas especiales para su funcionamiento y/o mantenimiento. El tapón es accionado por una palanca y un tope visible de un cuarto de vuelta en la cubierta protectora del tapón, indicando claramente cuando la válvula está completamente abierta o cerrada.

El tapón está balanceado para presión mediante aros de cierre idénticos en el tope y en el fondo. Estos cierres son de caucho sintético reforzado con *nylon*. La cubierta del cuerpo tiene una tuerca hexagonal y está provista de un sello tipo *o'ring* para asegurar el cierre con el cuerpo. Una conexión especial para engrase en la parte superior del vástago impide que la tuerca elástica de tope, que sostiene en su lugar la cubierta del tapón, se afloje en caso de vibraciones excesivas.

Estas válvulas pueden ser completamente reacondicionadas en la línea, permitiendo el reemplazo del tapón y los segmentos sin necesidad de retirarlas del sistema. Todas las válvulas del mismo tamaño utilizan piezas de repuesto idénticas, independientemente de su presión de operación. Esta estandarización no solo simplifica el mantenimiento, sino que también reduce los costos y el tiempo de inactividad, lo cual constituye una ventaja comparativa clave que motiva este trabajo.

#### **4.2. Normativa de Referencia**

Las siguientes normas son fundamentales para el diseño y prueba de válvulas de tapón, asegurando que cumplan con los estándares internacionales de calidad, seguridad y eficiencia en diversas aplicaciones industriales:

##### **Normas principales:**

- [API 6D \(2018\)](#): define los requisitos para el diseño, fabricación, inspección y notación de válvulas antirretorno, bola, tapón y compuerta para aplicaciones en oleoductos y sistemas de tuberías en la industria petrolera y del gas natural.
  - [API 599 \(2020\)](#): establece requisitos para válvulas de tapón con cuerpo interno, obturador y revestimientos aplicados.
  - [ASTM E1003-20 \(2020\)](#): cubre la prueba de fugas de componentes presurizados internamente con un líquido. Este método de prueba se puede utilizar en tuberías, válvulas y recipientes diseñados para presión interna.
  - [API RP 53 \(2017\)](#): agrupa prácticas recomendadas y normas para el manejo de sistemas de control de surgencias en operaciones de pozos de petróleo y gas en tierra, optimizando la calidad y seguridad de dichas operaciones.
-

- [ASME B16.34 \(2020\)](#): aplica a la construcción de nuevas válvulas, cubriendo aspectos como rangos de presión-temperatura, dimensiones, materiales y pruebas.

#### **Normas complementarias:**

- [API 6FA \(2020\)](#): proporciona un método de prueba de fuego para válvulas en tuberías de producción de petróleo y gas, asegurando que puedan mantener la integridad de sellado durante y después de la exposición al fuego.
- [API 607 \(2019\)](#): especifica un método de prueba de fuego para válvulas con asientos no metálicos, garantizando que las válvulas puedan contener la presión interna y mantener la capacidad de sellado bajo condiciones de incendio.
- [ISO 5208 \(2015\)](#): establece requisitos y métodos de prueba para la capacidad de cierre y fuga de válvulas metálicas, asegurando que cumplan con los estándares internacionales de calidad y seguridad.
- [MSS SP-78 \(2011\)](#): cubre los requisitos para válvulas de tapón metálicas lubricadas y no lubricadas, asegurando un comportamiento adecuado y la durabilidad en diversas aplicaciones industriales.
- [NACE MR0175 \(2015\)](#): proporciona directrices para la selección de materiales resistentes a la corrosión por ácido sulfhídrico en equipos utilizados en entornos de petróleo y gas, aplicable a válvulas de tapón.

### **4.3. Caracterización del Proceso de Rectificado**

#### **4.3.1. Generalidades**

La operación tecnológica de rectificado, es un mecanizado con arranque de muy pequeñas virutas con una herramienta denominada muela, que permite obtener una muy buena terminación superficial con baja rugosidad, y precisión dimensional. Los elementos cortantes de la muelas son granos de material abrasivo de forma irregular, de múltiples puntas y aristas. Cada uno de estos granos se constituye en un filo de los numerosos que actúan en forma simultánea. Conforme el grano se desfila, se fractura presentando al material una nueva arista de corte filosa. Como resultado de los cientos de miles de granos

---

individuales todos ellos trabajando en la superficie de una rueda de esmeril, se genera una superficie lisa en la pieza de trabajo (Krar et al., 2009). Generalmente las piezas antes de ser rectificadas, han sido mecanizadas previamente en otras máquinas.

La función del abrasivo es eliminar material de la superficie de la pieza que se está esmerilando. Cada grano abrasivo en la superficie de trabajo de la rueda de esmeril actúa como una herramienta de corte por separado y elimina una pequeña viruta de metal al pasar sobre la superficie de la pieza.

Debe señalarse que durante el rectificado se producen tres tipos de interacciones entre el abrasivo y el material de la pieza a mecanizar, y que se denominan corte, labrado y deslizamiento. En el corte, el grano expuesto penetra en el material y arranca virutas pequeñas y delgadas. En el labrado el grano no levanta la viruta, sino que la “empuja” al material generando deformación. El deslizamiento se produce cuando no hay profundidad de corte, o el grano no tiene filo de corte, resultando en rozamiento, el cual genera mucho calor y/o generación de marcas en la superficie de la pieza mecanizada. La relación entre las interacciones señaladas, da lugar a tres clases de proceso de rectificados y que son los de desbaste, precisión y ultra precisión.

En el rectificado de desbaste se prioriza el retiro de metal, a expensas del acabado superficial. En este caso se suelen hacer, dada una necesidad, pasadas adicionales, utilizando el labrado para mejorar la terminación superficial y el ajuste dimensional.

En el rectificado de ultra precisión, casi no hay acción de corte, el deslizamiento de los granos sobre la superficie provoca una frotación generando un mejor acabado de la misma.

Conforme a lo planteado por especialistas en la materia, son muchas las variables que afectan la interacción entre los granos abrasivos y la superficie de la pieza a mecanizar. Las más importantes a considerar son: la máquina rectificadora, las características del material de la pieza, el tipo de muela de rectificado, y los factores operativos.

Según las características geométricas de las superficies de las piezas a mecanizar, se tienen distintos tipos de operaciones de rectificado, a saber: cilíndrico exterior, de interiores, sin centro para piezas esbeltas, de superficies planas, y de perfiles. En la Figura 5 se pueden observar las operaciones típicas de rectificado.

---

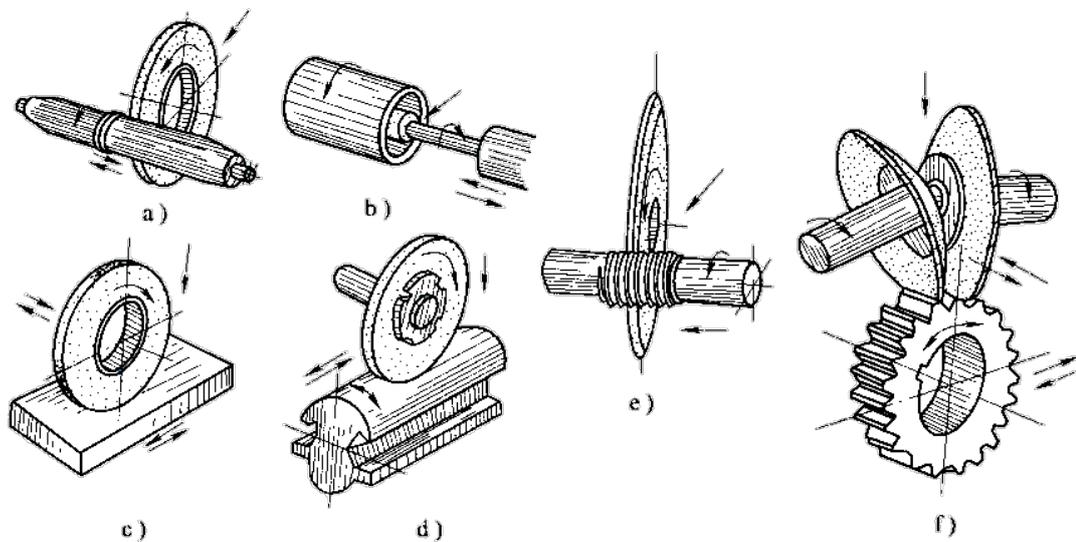


Figura 5. Operaciones de Rectificado.

Referencias: (a) Rectificado cilíndrico exterior, (b) Rectificado interior, (c) Rectificado de superficies, (d) Rectificado de formas, (e) Rectificado de roscas, y (f) Rectificado de engranajes.

([www.artizono.com/es/guia-de-procesos-de-rectificado](http://www.artizono.com/es/guia-de-procesos-de-rectificado))

En el rectificado cilíndrico exterior, se mecaniza la superficie externa de una pieza alrededor de su eje de rotación, con la misma soportada entre centros o en voladizo. Debe señalarse que la superficie exterior también puede ser escalonada, cónica, roscada o perfilada. Tanto la muela como la pieza de trabajo giran. La muela pasa axialmente a lo largo de pieza, con un movimiento transversal de avance o penetración.

En el rectificado de interiores, las máquinas disponen de una sola muela abrasiva que rectifica la superficie hasta el diámetro final requerido, con las características de rugosidad exigidas. Los diámetros internos pueden corresponder a superficies cilíndricas simples u otras que requieran la generación de perfiles complejos y muy precisos. Puede ser entre otras, el caso de rodamientos o componentes de válvulas.

En el rectificado de interiores se fija la pieza, como norma, por el exterior de esta mediante algún dispositivo de presión. La pieza gira de forma concéntrica respecto al eje de revolución de modo que el trabajo de muela en el cilindro interior deja la superficie cilíndrica con parámetros conformes de concentricidad, cilíndricidad, redondez o rugosidad.

En el proceso básico de rectificado interno, la muela se coloca perpendicularmente a la pieza, con desplazamiento radial y a lo largo del eje de la misma. La pieza gira en la dirección opuesta a la rueda (rectificado hacia abajo) en prácticamente todas las aplica-

ciones, excepto ocasionalmente en el rectificado final con grandes cortes interrumpidos si la redondez es un problema.

El rectificado interno, se puede caracterizar como un sistema muy delicado, y donde la dificultad principal se presenta en el montaje de la muela sobre el husillo. Esta puede desviarse fácilmente durante el rectificado y provocar problemas de conicidad y forma. Las condiciones de rectificado están determinadas principalmente por la rigidez del sistema y el nivel de fuerza de rectificado normal.

Las tolerancias dimensionales y el grado de terminación superficial se verán condicionados por una serie de factores, entre los cuales se pueden mencionar:

- La arquitectura de la rectificadora, en especial su rigidez y estado de conservación. Se debe destacar que se tienen disponibles a nivel comercial, una gran variedad de modelos de máquinas rectificadoras.
- La fijación de la pieza, en especial las muy esbeltas y/o de paredes delgadas.
- La muela.
- Las condiciones de corte.
- El correcto uso de fluidos de corte.
- El material de la pieza y su composición.

Las operaciones de rectificado interno de precisión más habituales, requieren mantener tolerancias de tamaño, redondez, rectitud, conicidad y cilíndricidad del orden de 0,5 a 10  $\mu\text{m}$ . En lo referido al acabado superficial, la rugosidad superficial ( $R_a$ ) que se puede obtener se ubica en el orden de 0,2-0,4  $\mu\text{m}$ .

#### **4.3.2. Parámetros de Operación**

En este apartado se hará referencia específicamente a los parámetros de operación para el caso del rectificado cilíndrico interior, según el proceso tecnológico demandado en este trabajo, conforme a lo indicado en la Figura 6.

---

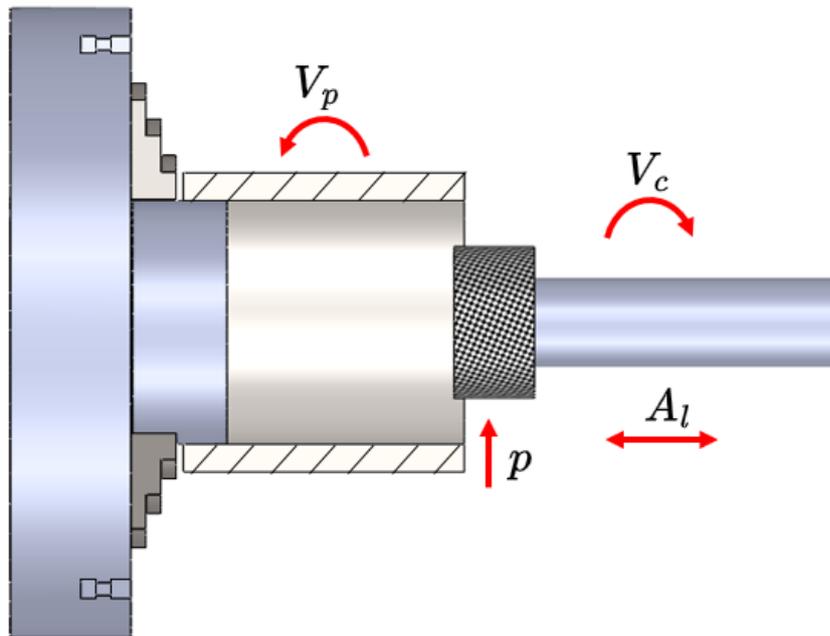


Figura 6. Parámetros del proceso de rectificado interior.

Referencias: ( $V_c$ ) Velocidad de corte o de la muela, ( $V_p$ ) Velocidad tangencial de la pieza, ( $A_l$ ) Avance longitudinal, ( $p$ ) Profundidad de pasada o profundidad de corte.

Como puede observarse en la figura anterior, las velocidades de corte  $V_c$  y tangencial a la pieza  $V_p$  se refieren, respectivamente, a la velocidad tangencial del punto de la muela en contacto con la pieza y al punto de la pieza en contacto con la muela. El avance longitudinal  $A_l$  es el desplazamiento de la muela a lo largo de la pieza, mientras que la profundidad de pasada o profundidad de corte  $p$  es la distancia que la muela penetra en la superficie de la pieza. Las rectificadoras modernas, disponen de variadores de velocidad para poder adaptar las revoluciones de giro a las condiciones según el trabajo a realizar.

Respecto a la profundidad de pasada, se debe distinguir entre rectificado de desbaste y de acabado. En el desbaste será primordial la eliminación de material hasta llegar a la cota final. En el acabado, además de tener en cuenta la calidad superficial y la precisión, habitualmente al final del proceso se efectúan algunas pasadas sin dar más profundidad hasta que no haya emisión de chispas.

Según indicaciones de los fabricantes de muelas, se detallan a continuación los rangos prácticos de valores para cada uno de los parámetros definidos:

- $V_c$  [m/s] : 8 - 20.

- $V_p$  [m/min] : 7 - 12.
- $A_l$  [mm/vuelta de pieza]:  $1,5A$  -  $2A$  (desbaste) y  $0,3A$  -  $0,5A$  (acabado), siendo  $A$  el ancho de la muela.
- $p$  [mm] : 0,01 (desbaste) y 0,002 (acabado).

### 4.3.3. Tipos de Muelas

Las herramientas utilizadas en operaciones de rectificado se denominan muelas. La selección de la muela es crítica en la operación, al igual que ocurre con las herramientas de torneado o fresado. A la hora de elegir la mejor muela para una aplicación, conforme al planteo de especialistas y fundamentado en la experiencia acumulada en la temática, se deben considerar los siguientes factores: material de la pieza a mecanizar, características de la operación de rectificado, precisión dimensional y de forma, grado de terminación, y área de contacto, entre otros. A continuación, se describe con mayor grado de detalle los aspectos relevantes que deben ser tenidos en cuenta al momento de seleccionar una muela.

#### 1. Forma y perfil:

En la norma [ANSI B74.2 \(2003\)](#) se definen los perfiles de muelas para uso industrial. Esta estandarización permite su clasificación según el uso general: muelas planas o de disco, cilíndricas, bicónicas, copa recta, copa cónica, platos y platillos.

#### 2. Tipo de abrasivo:

El abrasivo es el componente de la muela que realiza el corte del material en forma de diminutas virutas. Se presenta como granos de formato irregular, en algunos casos como polvo, y donde la sustancia que los compone puede ser de origen natural o sintético.

Se tienen como abrasivos naturales más comunes: cuarzo, óxido de aluminio natural en forma de corindón o esmeril, y diamante natural. Como abrasivos artificiales se tienen: nitruro de boro cúbico (c-BN), diamante sintético, carburo de silicio (SiC) y óxido de aluminio ( $Al_2O_3$ ).

---

Los abrasivos compuestos de c-BN o diamante, se los tipifica en general como súper abrasivos, y a los compuestos por óxido de aluminio o carburo de silicio, como abrasivos convencionales.

Resulta fundamental, considerar en la selección del abrasivo la afinidad química del material del grano de estos con el de la pieza de trabajo. A menor reactividad entre los materiales, menor será el desgaste de los granos durante la operación de rectificado y el daño en la superficie de la pieza. A título de ejemplo, el diamante no se utiliza para rectificar aceros, dado que las temperaturas generadas en la zona de contacto pueden ser lo suficientemente altas como para que el carbono del diamante reaccione con el hierro, provocando que el diamante se disuelva. Esta reacción es especialmente problemática en el rectificado de aceros, ya que compromete tanto la durabilidad de la herramienta como la calidad del acabado.

Complementariamente, se recomienda para seleccionar el tipo de abrasivo:

- $\text{Al}_2\text{O}_3$  para aceros al carbono, aleaciones ferrosas.
- c-BN para aceros y aceros fundidos con dureza superior a 50 HRC.

### 3. **Tamaño de grano abrasivo:**

El material abrasivo en bruto es triturado, elaborado y tamizado, hasta alcanzar la forma de grano, que es como se utiliza en los productos abrasivos aglomerados (muelas). Después del triturado, las partículas abrasivas se pasan por tamices de diferentes tamaños. Las partículas clasificadas se denominan granos, y su medida real se expresa por el tamaño de abertura del tamiz por el que han sido separados.

El tamaño del grano se asigna de acuerdo a la malla del tamiz por la cual pasa libremente. Así, el grano N°60 pasa por una malla de 60 aberturas por pulgada de lado, que cuenta con 3600 pasos por pulgada cuadrada. De tal forma, por ejemplo, un grano N°20 será de mayor tamaño que uno de N°40. Los granos extrafinos, denominados polvos, se designan por su tiempo de decantación en el agua.

Las normas [ISO 525 \(2020\)](#) y [ANSI B74.2 \(2003\)](#) plantean cuatro grupos de tamaños de granos a saber: grueso, medio, fino y muy fino. Cada grupo tiene asignado a su vez, distintos números asociados al tamaño de grano. Los granos de tamaño

---

grande producen virutas mayores que los granos pequeños. Por lo tanto, las huellas sobre la superficie de la pieza son más bastas cuando los granos son más grandes. Para obtener terminaciones superficiales más lisas se utilizan granos finos.

#### 4. Grado o dureza de la muela:

El grado o dureza de la muela, está relacionada con la tenacidad del aglomerante o ligante. Este último es el material que une los granos abrasivos de la muela. A mayor grado o dureza, mayor será la fuerza a aplicar sobre el grano para conseguir su desprendimiento de la muela. Si la dureza ha sido bien seleccionada, la muela se auto afilará adecuadamente, dejando desprender los granos desgastados y exponiendo granos nuevos. Las funciones del aglomerante son:

- Evitar pérdidas de granos afilados.
- Permitir liberar granos desafilados.
- Transmitir fuerzas entre grano y husillo.
- Disipar el calor generado en el proceso.

El tipo de aglomerante determinará que la muela sea de grado duro o blando. En forma concreta, el grado de una muela indica la fuerza con que quedan sujetos los granos abrasivos por el aglomerante. Una muela que durante la operación de rectificado suelta con facilidad los granos, se le denomina "blanda". Si los suelta con dificultad, se denomina "dura".

No obstante, debe expresarse que un grado dado, puede aparecer como duro para cierto material a rectificar, y blando para otro. Incluso, para un material dado, un mismo aglomerante puede tener un comportamiento desde blando a duro de acuerdo a las características y valores que asuman otros factores que intervienen en el proceso. Para una relación de valores de los factores citados, puede enunciarse como regla general que cuanto más duro es el material a rectificar, el grado de dureza debe ser más blando, y viceversa. La justificación de dicha regla es que los materiales más duros producen un desgaste más rápido. Para que el auto afilado se realice en tiempo y forma correctos, el aumento de las fuerzas debido a la menor capaci-

---

dad de corte de los granos, debe permitir su desprendimiento, lo que será posible cuando el ligante es blando.

Las normas [ISO 525 \(2020\)](#) y [ANSI B74.2 \(2003\)](#), también clasifican el grado de las muelas desde blando a duro, con designación mediante letras mayúsculas. Se tienen las siguientes categorías de dureza de muelas:

- Muy blandas: A-E.
- Blandas: F-K.
- Media: L-Q.
- Duras: R-T.
- Muy duras: U-Z.

Los tipos de aglomerantes principales disponibles en el mercado son: Vitrificado (V), Resinoide (B), Caucho (R) y Goma Laca (E). Las muelas que utilizan aglomerantes vitrificados, son las más empleadas en rectificadores generales y de precisión.

## 5. Estructura:

La estructura de una muela, está determinada por la distancia media entre los granos abrasivos distribuidos sobre su superficie. Los espacios entre granos pueden alcanzar el 75 % del volumen total de la muela. Este “vacío” entre granos, además de facilitar la evacuación de calor, permite la evacuación de las virutas generadas. Las muelas de estructura muy abierta se llaman también porosas.

La designación del tipo de estructura de las muelas, se plantea por medio de un número, teniéndose la siguiente clasificación:

- Densa: 0 a 3.
- Normal: 4 a 6.
- Abierta: 7 a 10.
- Porosa: 11 a 12.

Se recomienda en general los siguientes usos:

---

- Estructura abierta:
  - Para rectificar material blando y dúctil.
  - Cuando no es preciso un acabado fino.
  - Cuando la superficie de contacto entre pieza y muela es grande.
- Estructura densa:
  - Para rectificar material duro.
  - Cuando se precisa un acabado fino.
  - Cuando la superficie de contacto entre pieza y muela es pequeña.

## 6. Marcado o Identificación de las Muelas:

Se denomina así a la codificación que va impresa generalmente en las etiquetas de la muela. A tal fin, se emplea un grupo de letras y números colocados en un orden secuencial establecido por la norma [ISO 525 \(2020\)](#). El orden de ubicación de cada característica lleva el nombre de “Posición”, según el siguiente detalle:

- Prefijo: es un número asignado por el fabricante que especifica el tipo exacto del abrasivo usado, y es una información opcional cuya presencia o ausencia en el mercado depende del fabricante.
- Posición 1: expresa la naturaleza del abrasivo, utilizándose las letras A y C para óxido de aluminio y carburo de silicio, respectivamente.
- Posiciones 2, 3, 4 y 5: Indican el tamaño de grano, grado, estructura y tipo de aglomerante.
- Posición 6: refiere a un número privado del fabricante que identifica a la muela en su totalidad, cuya presencia tiene por objeto facilitar la gestión para un nuevo pedido de reposición. Es una posición opcional.

## 7. Sistema de Fijación de las Muelas

El correcto montaje de las muelas en el husillo de la rectificadora, tiene gran importancia para la calidad del proceso de rectificado, así como en la seguridad de la operación. Se ha comprobado que la mayoría de los accidentes y roturas de las

---

muelas en operación se vinculan con un montaje inadecuado. En atención a lo señalado, surge que debe haber un adecuado diseño del sistema de fijación. Se debe cumplir con el procedimiento de montaje establecido, que incluye una limpieza y revisión permanente del estado de la muela.

## 8. Equilibrado de las Muelas

El propósito del balanceo o equilibrado de las muelas, es lograr un comportamiento dinámico adecuado de la misma, con reducción de vibraciones. El desequilibrio a corregir puede estar dado, entre otros, por cierta excentricidad en su agujero de montaje, paralelismo inadecuado entre caras, o una densidad irregular en toda su masa. Se recomienda el balanceo de las ruedas antes de su montaje en el husillo de la rectificadora. El balanceo estático se realiza en un banco *ad-hoc*, colocando contrapesos en las bridas.

## 9. Refrigerante

Durante el rectificado de una pieza, se produce la proyección de partículas metálicas en estado incandescente, provenientes tanto de la pieza como de la muela. Debido al rozamiento entre la muela y la pieza, se alcanzan elevadas temperaturas en la superficie de esta última. Estas pueden llegar a alcanzar los 400°C y superiores, pudiendo generar los siguientes problemas:

- Tensiones internas, debido a la diferencia de temperaturas entre el núcleo y la superficie de la pieza.
- Deformaciones (sobre todo en piezas de paredes delgadas).
- Efecto de revenido en piezas templadas.

Para evitar la aparición de los problemas señalados, se deben emplear fluidos de corte de manera abundante, de forma continua y dirigido a la zona de contacto entre la pieza y la muela. A tal fin, se emplean fluidos solubles, a base de aceites minerales, semi sintéticos y sintéticos en concentraciones del 4 al 10 % en agua de baja dureza, que generan emulsiones estables, con poder anticorrosivo, resistencia a la degradación microbiana, adecuada detergencia para mantener limpias las muelas, lubricidad, y baja tendencia a la formación de espuma.

---

#### 4.3.4. Potencia Consumida

A los efectos de cuantificar el parámetro de potencia consumida en esta operación tecnológica, se debe tener presente que durante la interacción entre la muela y la pieza ocurren tres fenómenos: el rozamiento entre muela y pieza, la deformación plástica antes de que rompa el material, y la formación de viruta por cizalladura (Malkin y Guo, 2007). Cuando se inicia el contacto, la remoción de material es despreciable. A medida que aumenta la fuerza de los granos sobre la pieza, aparece la deformación plástica. Con un nuevo aumento de la fuerza de corte, como puede observarse en la Figura 7, el material es removido produciéndose la formación de la viruta (Rowe, 2013).

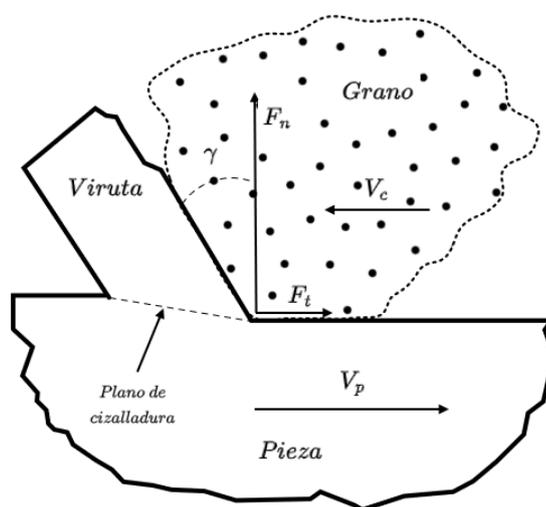


Figura 7. Interacción muela-pieza.

Según la teoría clásica de remoción de material, desarrollada por Preston (1927), la energía específica consumida en el proceso de arranque de viruta es la energía consumida por unidad de volumen de material removido, por lo que se define como la relación entre potencia consumida y la tasa de material removido (Agarwal y Rao, 2013).

En el proceso de rectificado, la energía consumida es de uno o dos órdenes de magnitud mayor que la energía consumida en otros procesos de arranque de viruta, tal como se presenta en la Figura 8. Esto se explica por el hecho de que la muela trabaja desprendiendo una viruta de una sección muy pequeña. Por esto las máquinas rectificadoras que no desprenden más que pequeños volúmenes de material en la unidad de tiempo son, no obstante, dotadas de motores de mando de la muela considerablemente más potentes que

las máquinas herramientas de otros tipos.

Por otra parte, la potencia absorbida en esta operación depende de la muela seleccionada y en algunos casos al rectificar con muelas no apropiadas, la potencia puede aumentar fácilmente del 50 % al 60 % (Anguiano Gamiño, 2003).

Por lo expuesto, la energía específica es un indicador de la severidad del proceso, ya que depende de los parámetros de corte utilizados, de las características de la muela de rectificar y del material de la pieza. A título de referencia, en el trabajo de Nápoles Alberro (2019) se analiza el caso de rectificado plano de un acero C45K templado, obteniéndose una energía consumida de  $1200 \text{ J/mm}^3$  para una profundidad de pasada de  $0.020 \text{ mm}$ .

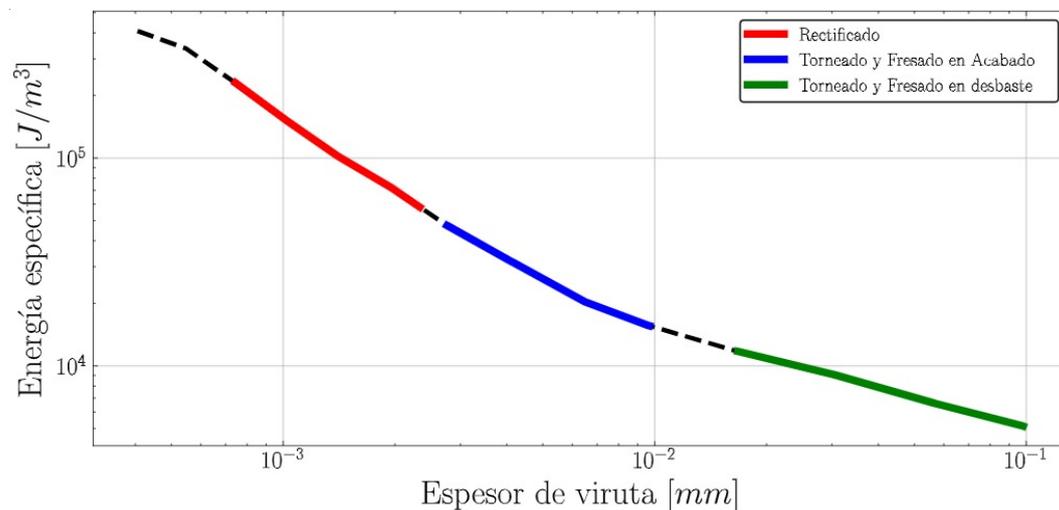


Figura 8. Energía específica vs Espesor de viruta ([www.ehu.eus/manufacturing/](http://www.ehu.eus/manufacturing/)).

Actualmente no se cuenta con resultados empíricos suficientemente seguros para establecer las bases teóricas o los coeficientes numéricos exactos para el cálculo de la potencia consumida en el rectificado. Comúnmente, para el cálculo de la potencia requerida en un proceso de rectificado se emplea la Ecuación 1. La cual se basa en datos experimentales, que definen la denominada presión específica de corte (Anguiano Gamiño, 2003).

$$N_T = \frac{F_c V_c}{4500\eta} = \frac{K_s p A_l V_p}{4500\eta} \quad (1)$$

Donde:

- $N_T$ : Potencia [CV].
- $F_c$ : Fuerza de corte [kg].
- $V_c$ : Velocidad de corte [m/s].
- $\eta$ : Rendimiento mecánico.
- $K_s$ : Presión Específica de Corte (ver Tabla 9) [kg/mm<sup>2</sup>].
- $p$ : Profundidad de corte [mm].
- $A_l$ : Avance longitudinal de la muela [mm/rev].
- $V_p$ : Velocidad tangencial de la pieza rectificada [m/min].

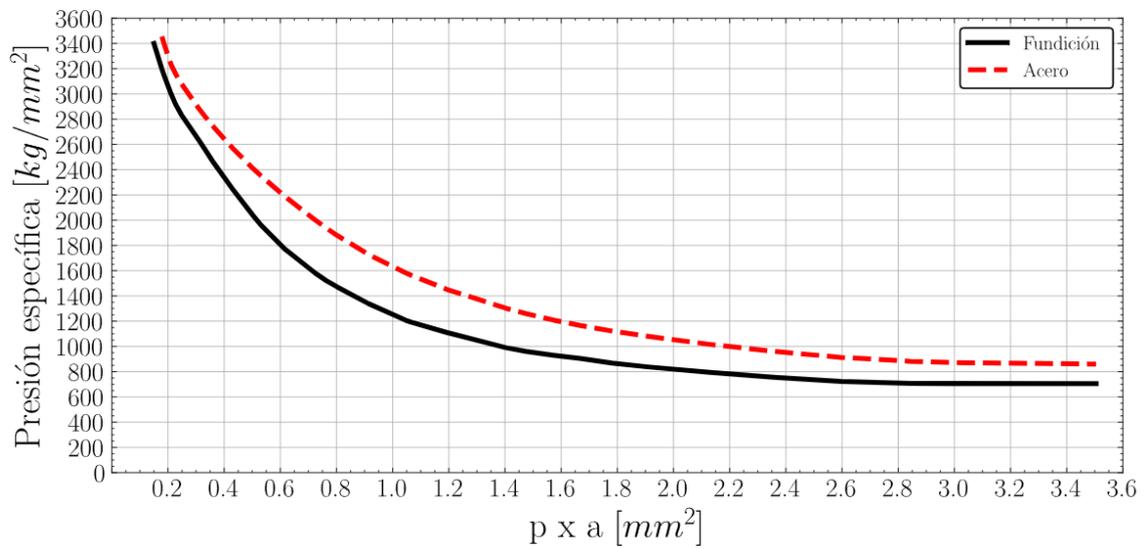


Figura 9. Presión específica de corte (Anguiano Gamiño, 2003).

#### 4.4. Metodología de Diseño

El desarrollo de un producto es una secuencia de pasos y actividades que un grupo de trabajo, organización o empresa utiliza para concebir, diseñar y comercializar un producto o servicio. En este sentido, establecer un proceso de desarrollo bien definido es útil para tener en cuenta los recursos disponibles y las restricciones, al momento de planificarlo.

En el presente trabajo se plantea la metodología propuesta por los reconocidos autores [Ulrich y Eppinger \(2015\)](#). Si bien no es posible establecer con claridad dónde empieza y termina cada una de las etapas, la división facilita la ejecución y control del proceso de diseño (ver Figura 10).

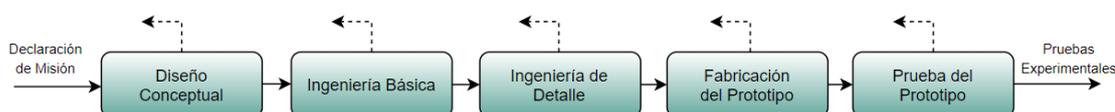


Figura 10. Metodología de diseño adaptada de [Ulrich y Eppinger \(2015\)](#).

Es importante destacar que las actividades propuestas se enmarcan en un proceso iterativo, en el cual en cualquier etapa de las antes mencionadas, se puede volver a una anterior con el objetivo de encontrar la mejor solución.

##### 4.4.1. Planificación del producto - Declaración de Misión

A la actividad de planificación se la suele denominar “Fase Cero”, porque precede a la aprobación del proyecto y lanzamiento del proceso real de desarrollo del producto. Esta fase comienza con la identificación de las oportunidades guiada por la estrategia corporativa, contemplando la evaluación de los avances tecnológicos y los objetivos de mercado.

Se pretende en esta fase poder definir la Declaración de Misión, donde se va a especificar cuál es el objetivo del producto tanto a nivel económico como de necesidades a satisfacer, también se pretende plantear las suposiciones y restricciones a las que estará sujeto el mismo.

#### 4.4.2. Diseño Conceptual

En la fase de Diseño Conceptual se identifican las necesidades de los usuarios, se definen las especificaciones técnicas, se generan en un proceso de síntesis y evalúan conceptos alternativos, centrando la mirada en el funcionamiento y aspectos estructurales y tecnológicos básicos. Con el objetivo de facilitar su ejecución, Ulrich y Eppinger (2015) han propuesto una secuencia de tareas conforme a lo expuesto en la Figura 11.

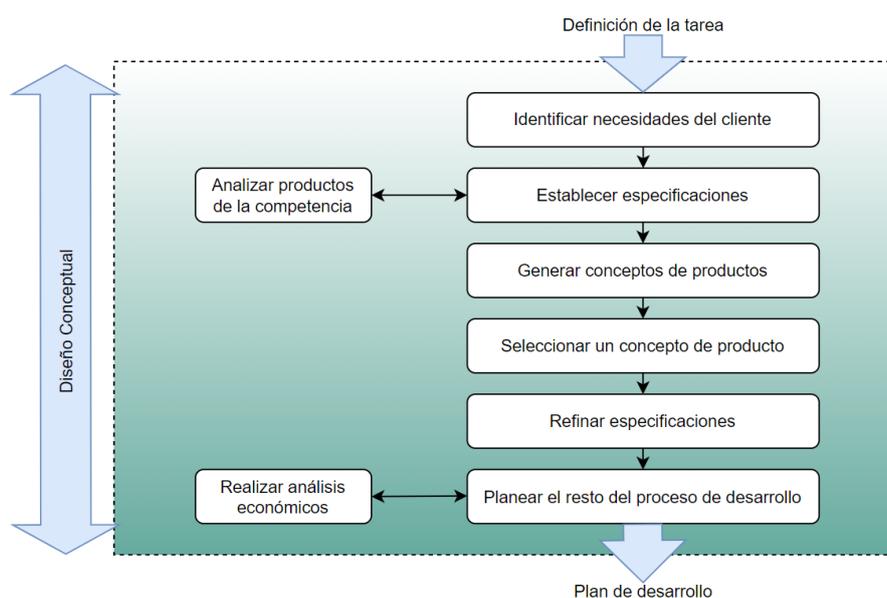


Figura 11. Subetapas en la fase de Diseño Conceptual (Ulrich y Eppinger, 2015).

Reconocidos autores en la temática, como ser Ulrich y Eppinger (2015), Pahl y Beitz (2007) y Ullman (2010), coinciden en que los mayores esfuerzos del proceso de diseño deben concentrarse en esta etapa, dado que en la misma quedan definidas las bases de la *performance* y los costos asociados. A partir de allí, el proyecto adquiere una “rigidez” tal que, cualquier modificación necesaria en el mismo en las etapas de Ingeniería Básica y de Detalle, implican un costo complementario significativo. Específicamente en la sub-fase de Generación de Conceptos, dada su criticidad, Ulrich y Eppinger (2015) proponen una metodología detallada para su desarrollo tal como se presenta en la Figura 12. Finalmente, aplicando metodologías aptas para el propósito, que incluyen, dado el caso, simulaciones simples y ensayos focalizados, se selecciona el concepto solución. El mismo se representa habitualmente por medio de esquemas gráficos a nivel de croquis acompañados de una memoria descriptiva.

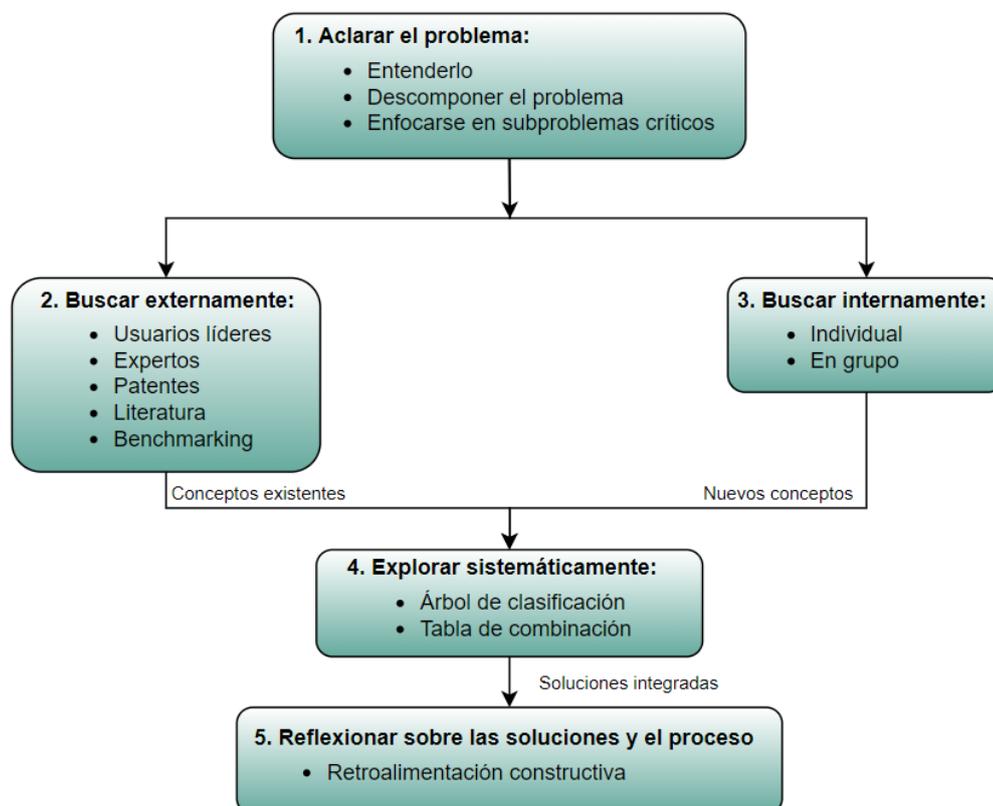


Figura 12. Método de Generación de Conceptos (Ulrich y Eppinger, 2015).

#### 4.4.3. Ingeniería Básica

Una vez seleccionado el concepto solución, se determina la configuración de diseño global y definitiva del producto que permite obtener una visión general de los materiales, las formas y dimensiones, y del proceso de fabricación. Estos tres elementos condicionan las decisiones de diseño de esta etapa y están estrechamente relacionados entre sí, dado que un diseño concreto puede requerir formas complejas para ser funcional o para reducir el número de piezas, pero su fabricación puede ser más costosa y compleja así como los materiales necesarios para su conformación.

Los trabajos en esta etapa son los que más se acercan a las actividades tradicionales de los departamentos de diseño. En ellas, profesionales que dominan las nuevas técnicas de modelización y simulación (CAD/CAE) así como las de prototipado y ensayo, desarrollan las piezas, elementos y conjuntos que compondrán el producto. Estas actividades son típicamente iterativas y se dirigen hacia la optimización (en función de los recursos humanos, materiales y de tiempo disponibles). En las fases de simulación y evaluación

de las soluciones, conviene desarrollar prototipos funcionales y realizar una evaluación mediante ensayos (fiabilidad, durabilidad, etc).

Las metodologías clásicas dan recomendaciones y reglas básicas sobre cómo obtener en esta etapa soluciones correctas en ingeniería mecánica. Debe tenerse en cuenta, dada la complejidad creciente de las máquinas, la necesidad de obtener índices de confiabilidad adecuados con consideraciones particulares sobre las denominadas técnicas *DfX* (del inglés *Design for X*) que se proponen con el fin de centrar el objetivo del diseño en algún factor X que la Empresa considere relevante. En general, este concepto suele estar relacionado con estrategias de la Ingeniería Concurrente (Riba, 2010).

Se suele hablar de diseño para: la fabricación, el ensamblaje, el mantenimiento, la fiabilidad, la seguridad, el medio ambiente, la reutilización, el reciclaje; por mencionar solamente los más relevantes. Con ello se enfatiza en el enfoque que la Empresa quiera darle a sus productos como elemento diferenciador de la competencia y de valor añadido, además de reducción de costos y aumento de flexibilidad en los procesos de producción.

Una de las metodologías de diseño utilizadas en Ingeniería Concurrente, particularmente las relacionadas con la productividad, es Diseño para Fabricación *DfM* (del inglés *Design for Manufacturing*), que se puede definir como una colección de programas, técnicas, métricas, herramientas y métodos para mejorar la fabricación de partes o simplificar el ensamble de productos, analizando valores, tolerancias, movimiento, complejidad y conveniencia para el ensamble manual, automático o flexible (robótico) para que se adapte de manera óptima, a un sistema de fabricación particular, en cuanto a costo y calidad.

Mediante esta metodología se pretende que, además del diseñador, personas del equipo de producción, e inclusive los proveedores, participen en el proceso de diseño, a fin de garantizar la fabricación. Sin embargo, no solo se utiliza como se mencionó anteriormente, sino que es una herramienta de *benchmarking* que permite estudiar los productos de la competencia y cuantificar las dificultades de fabricación y ensamble.

El diseño para fabricación utiliza información de muchos tipos como: planos, especificaciones del producto y alternativas de diseño, un entendimiento detallado de los procesos de producción y ensamble, y una estimación de costos y volúmenes de producción, para lograr su objetivo último, que es obtener un artículo de alta calidad con el mayor aprovechamiento de los recursos. Por lo tanto, es necesaria la colaboración de miembros del

---

equipo de desarrollo, así como de expertos externos a él (Ulrich y Eppinger, 2015).

Para la aplicación de *DfM* en general, es decir, sin especificaciones para un proceso, se pueden tener en cuenta los siguientes elementos:

1. Estimar el costo de fabricación.
2. Reducir el costo de componentes.
3. Reducir el costo de los ensambles.
4. Reducir el costo de producción.
5. Considerar el impacto de las decisiones de *DfM* sobre otros factores.

Antes de llevar a cabo la selección del proceso, es necesario hacer algunas consideraciones en cuanto a los factores que afectan la selección del mismo, como:

1. Materiales: específicamente las propiedades mecánicas y físicas.
2. Geométricos: entre los que se encuentran la forma, el tamaño y el peso de la pieza, y las tolerancias y acabados superficiales de la misma.
3. Producción: entre los que están el tiempo de mercadeo, y la cantidad y la tasa de producción.

Finalmente el resultado de la Ingeniería Básica se da en forma de planos de conjunto o esquema de configuración, lista preliminar de piezas y, convenientemente, una memoria con los aspectos más relevantes del proceso de esta etapa (soluciones descartadas y motivos, resultados de las simulaciones y ensayos, prototipos, etc.).

#### **4.4.4. Ingeniería de Detalle**

De acuerdo a la metodología propuesta, se considera a la Ingeniería de Detalle como la última etapa del proceso de diseño. Esta se desarrolla a partir de la definición proporcionada por la Ingeniería Básica en cuanto a los planos de conjunto y la memoria técnica, y tiene como objetivo la elaboración de toda la documentación necesaria para la fabricación del producto. Como resultado del diseño de detalle se tienen los planos de las piezas y

---

conjuntos específicos, la documentación de los componentes de mercado incorporados y la relación de piezas y conjuntos (o módulos), todos ellos con su denominación, número de referencia, número de piezas, material y otras especificaciones técnicas (sobre acabados, procesos, ensayos de recepción) o de gestión (normas de aplicación, proveedores, contratistas) (Riba, 2010).

Si bien la realización de prototipos funcionales obliga, en la etapa anterior, a que se realicen planos de detalle para su eventual construcción, en la Ingeniería de Detalle habrá que incorporar en el diseño definitivo los cambios y modificaciones derivados de los ensayos.

El diseño de detalle no debe limitarse al desarrollo de las tareas definidas al finalizar la Ingeniería Básica, sino que además tiene funciones propias como la comprobación de las funciones y la depuración de las soluciones para simplificar, eliminar o unificar elementos (diseño *DfM* de última hora). A menudo, las buenas soluciones se originan en etapas anteriores, pero su articulación efectiva suele tener lugar durante esta etapa.

Normalmente, se producen muchas interacciones entre las etapas de Ingeniería Básica y de Detalle. Si bien es cierto que la partición del diseño en estas dos etapas es más de orden conceptual que práctico, hay que señalar que es improductivo realizar tareas de diseño de detalle antes de validar un producto con los ensayos correspondientes.

#### **4.4.5. Pruebas y Refinamiento**

La fase de pruebas y refinamiento comprende la construcción y evaluación de versiones múltiples de preproducción del producto.

Ulrich y Eppinger (2015) definen a un prototipo como una aproximación al producto en una o más dimensiones de interés. Con base en esta definición, cualquier entidad que exhiba al menos un aspecto del producto que es de interés para el equipo de desarrollo puede considerarse como un prototipo. Según estos autores, los prototipos se pueden clasificar en dos dimensiones (ver Figura 13).

La primera dimensión contiene dos grados, los *físicos* que son objetos tangibles y parecidos en aspecto al producto y los *analíticos* que representan el producto de manera matemática o visual con el objetivo de analizar uno o varios aspectos de interés. En la segunda dimensión, se encuentran los prototipos *integrales*, que son versiones a escala

---

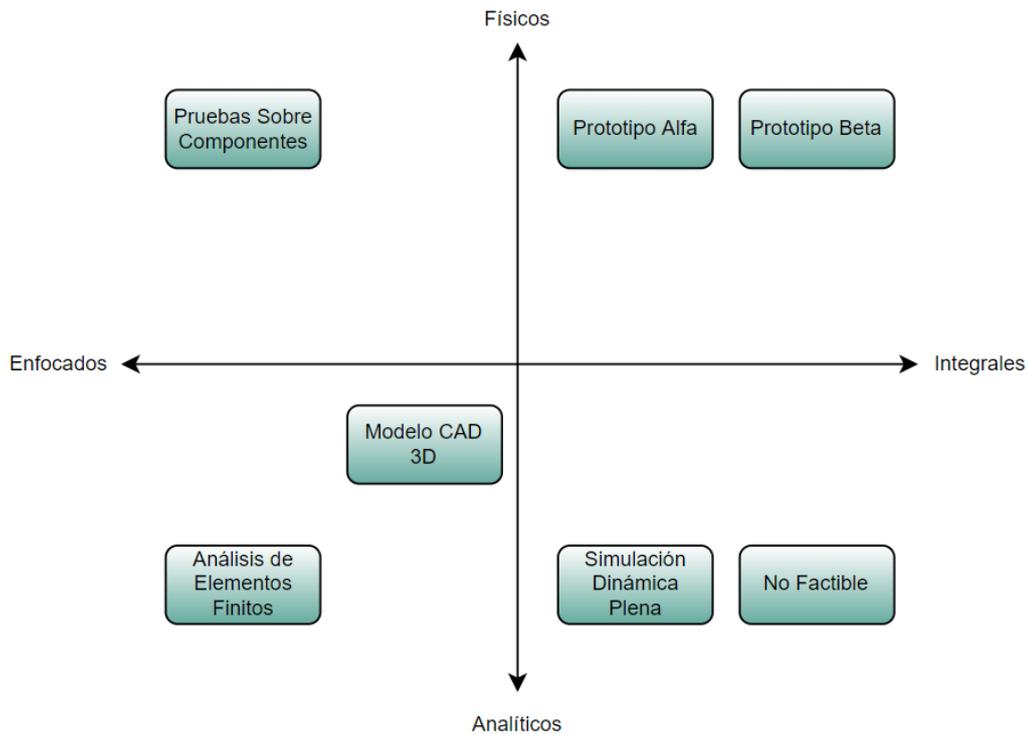


Figura 13. Tipos de prototipos (Ulrich y Eppinger, 2015).

del producto, que ejecutan la mayor parte de los atributos, y los prototipos *enfocados* que realizan uno, o pocos, de los atributos de un producto con la finalidad de responder preguntas antes de pasar a uno del tipo integrado.

Un prototipo físico a veces exhibe fenómenos imprevistos que no están relacionados por completo con el objetivo original del mismo. Una razón para estas eventuales sorpresas es que todas las leyes de la física están operando en el equipo. En estos casos, pueden servir como herramienta para detectar fenómenos perjudiciales inadvertidos que pueden aparecer en el producto final.

En contraste, los prototipos analíticos, en la mayoría de los casos, son más fáciles de modificar y permiten cambios más grandes pero nunca develan fenómenos que no son parte del modelo fundamental en el que se basa. Estos se usan para reducir el intervalo de parámetros factibles y luego los físicos se emplean para afinar o confirmar el diseño. Por esta razón, casi siempre se construye, al menos, un prototipo físico en un trabajo de desarrollo de un producto.

Las ventajas anticipadas de un prototipo al reducir el riesgo, deben ponderarse respecto al tiempo y dinero necesarios para construir y evaluar el mismo. Esto es particularmente

importante para prototipos integrales. Los productos de alto riesgo o con incertidumbre por los altos costos de falla, nueva tecnología o la naturaleza revolucionaria del producto, se beneficiarán de estos prototipos. Por el contrario, los productos en que los costos de falla sean bajos y la tecnología sea bien conocida no tienen grandes ventajas por reducción de riesgo si se construyen prototipos.

Otro de los objetivos para realizar un prototipo es integrar, es decir, asegurar que los componentes y subsistemas funcionan como se espera. En tal sentido se usan prototipos físico integrales. Los nombres usados para estos prototipos son alfa y beta. Los prototipos alfa se conforman con piezas cuya construcción no está asociada al proceso tecnológico definitivo, y se ensayan para determinar si el producto satisface requisitos específicos. Los prototipos beta, se construyen con las piezas definitivas del producto y son evaluados exhaustivamente en forma interna y también en el ambiente de uso por los clientes con el objetivo de obtener información sobre operación, confiabilidad y obtener mejoras para las especificaciones del producto final.

---

## 5. DESARROLLO

Una vez consolidado el marco teórico planteado en la sección anterior, y previo a la aplicación efectiva de la metodología definida para el desarrollo del proyecto de diseño y fabricación de la máquina se describe, en primera instancia, el proceso global de reparación de las válvulas tapón. Este primer análisis tiene como objetivo lograr una adecuada comprensión de los alcances, importancia y trascendencia de la rectificación de los asientos indicada en el proceso señalado.

### 5.1. Análisis del Proceso de Reparación

#### 5.1.1. Introducción

Conforme a lo pautado por el Comitente, en una primera etapa, se repararán válvulas tapón de 2x2 pulgadas de distintas marcas. En tal sentido, la dimensión indicada hace referencia a las medidas del puerto de entrada y de salida. En el Anexo A, se presentan las características de una de dichas válvulas, centrando la atención en el tapón y los segmentos de asiento de las válvulas a reparar. En las mismas se indican dimensiones básicas, tolerancias, terminación superficial, materiales y tratamientos térmicos. En la Figura 14 se puede observar el conjunto tapón - segmentos de asiento del tipo de válvula a reparar.



Figura 14. Conjunto Tapón - Segmentos de una Válvula TSI 2x2".

Es importante destacar que, en general, los fabricantes de este tipo de válvulas, ofrecen como repuestos el *kit* de tapón y segmentos. Conforme a una decisión del Comitente, por cuestiones operativas y de costos, opta en general por su reparación, una vez detectadas anomalías en su funcionamiento en una determinada instalación.

El deterioro de las válvulas tapón (ver Figura 15), puede ser causado por una serie de factores, y sus efectos pueden ser perjudiciales para la operación y seguridad en las instalaciones de trabajo.



(a) Segmentos dañados.



(b) Detalle zona interior.

Figura 15. Deterioro en segmentos de válvulas tapón.

A continuación, se presentan algunas de las causas y efectos más comunes del deterioro de las válvulas tapón empleadas en la industria hidrocarbúrfica:

- **Desgaste mecánico:** las válvulas tapón están expuestas a un flujo constante de fluidos a alta presión, los cuales a su vez comúnmente trasladan partículas abrasivas. Con el tiempo, este desgaste mecánico puede provocar fugas y dificultades en la operación.
- **Corrosión:** la exposición a sustancias corrosivas presentes en los fluidos puede dañar las válvulas tapón. La corrosión deteriora la estructura de la válvula y afecta su funcionamiento.
- **Depósitos y acumulación de sólidos:** los fluidos petroleros pueden contener impurezas y sólidos que se acumulan en las válvulas tapón, lo que puede obstruir su funcionamiento y provocar fallos.

- Erosión: causada por la fricción constante de partículas en suspensión en los fluidos, puede desgastar las superficies de sellado y reducir la eficiencia de las válvulas.

Los modos de falla descritos anteriormente, pueden dar lugar a paradas no programadas en las instalaciones de trabajo, lo que causa interrupciones en la producción y costos adicionales. Para evitar o mitigar estos efectos, es esencial llevar a cabo un mantenimiento preventivo y planificado de las válvulas tapón, que incluya inspecciones regulares, limpieza, reparación y/o reemplazo de componentes dañados.

### **5.1.2. Alcance de la Reparación**

La reparación del conjunto tapón y segmentos de asiento es un proceso crítico que se lleva a cabo con el objetivo de restaurar la funcionalidad operativa de la válvula. Este proceso incluye una serie de acciones sobre la superficie de ambos componentes, asegurando un ajuste dimensional preciso y una terminación superficial adecuada.

El procedimiento de reparación del conjunto tapón y segmentos de asiento de la válvula incluye las siguientes etapas:

#### **1. Recepción e Identificación:**

- Recepción de la válvula en el taller del Comitente, seguida de su identificación y registro para asegurar el seguimiento adecuado durante todo el proceso de reparación.

#### **2. Desarme de la Válvula:**

- Desmontaje cuidadoso de la válvula, con identificación particular del tapón y los segmentos, asegurando que se mantengan las referencias y características específicas de cada componente.

#### **3. Control Dimensional y Superficial:**

- Evaluación precisa de los segmentos a rectificar, incluyendo mediciones dimensionales y verificaciones de la superficie, para determinar la extensión de la rectificación necesaria.
-

#### 4. Rectificación de Segmentos:

- Proceso de rectificado para restaurar la geometría y la terminación superficial de los segmentos, con control riguroso de las dimensiones, cilindridad y rugosidad. Se debe dejar constancia del sobre material respecto al plano del fabricante y asegurar que la profundidad de rectificado sea la mínima necesaria para cumplir con los estándares establecidos.

#### 5. Traslado a Taller Especializado:

- Envío de los componentes, tapón y segmentos, a un taller de mecanizado especializado para la reparación del tapón. El proceso incluye:
  - a) Mecanizado inicial del tapón mediante arranque de viruta para eliminar daños y lograr una superficie homogénea.
  - b) Ajuste dimensional del tapón al diámetro del conjunto mediante *Laser Cladding* (LMD), con posterior rectificado. Este proceso asegura la restauración de la superficie con mínima deformación y alta calidad superficial, alcanzando durezas de entre 40 y 50 HRC.

#### 6. Armado de la Válvula:

- Reensamble de la válvula en el taller del Comitente, siguiendo las especificaciones de ajuste y ensamblaje para asegurar la funcionalidad óptima del conjunto.

#### 7. Ensayo de Prueba Hidrostática:

- Realización de pruebas hidrostáticas para verificar la integridad y operatividad de la válvula reparada, asegurando que cumple con los estándares de calidad y funcionalidad requeridos.

Este proceso está diseñado para asegurar que la válvula reparada funcione de manera óptima, cumpliendo con las especificaciones técnicas del fabricante y las exigencias operativas del Comitente.

Conforme a lo señalado en el apartado 4.4, a continuación, se presenta el desarrollo del proyecto según la propuesta metodológica adoptada.

---

## **5.2. Declaración de Misión**

En base al análisis realizado en el apartado anterior, a continuación, se establece la Declaración de Misión del proyecto, cuyos considerandos guiarán la ejecución del proceso de diseño de la máquina rectificadora:

### **Título del proyecto:**

- Máquina para rectificar segmentos de asiento de válvulas tapón.

### **Descripción del proyecto:**

- Diseño y fabricación de una máquina para rectificar segmentos de asientos de válvulas tapón que sirva de accesorio para un torno paralelo.

### **Propuesta de valor del proyecto:**

- Accesorio para rectificado de superficies internas.
- Diseño de libre acceso.
- Fácil montaje.
- Fácil mantenimiento.

### **Objetivos clave del proyecto:**

- Desarrollo del proyecto en un plazo de seis meses.
- Brindar una solución al problema del desgaste de los segmentos de asiento de válvulas tapón.

### **Suposiciones y restricciones:**

- Utilización de materiales disponibles en el mercado nacional.
  - Mecanismo adaptable a tornos paralelos.
-

**Involucrados:**

- Comitente.
- Área Diseño Mecánico, Facultad de Ingeniería.
- Fabricantes y proveedores de componentes.

**Demandante:**

- Empresas Operadoras y de Servicios de la Industria del Oil & Gas.

**5.3. Diseño Conceptual**

En base a los requerimientos específicos y al procedimiento de reparación detallado previamente, se plantean a continuación las distintas etapas incluidas en la fase de diseño conceptual.

**5.3.1. Identificación de Necesidades**

Se denomina *necesidad* a cualquier atributo de una potencial máquina que, en este caso, es pretendida por el Comitente. Para abordar esta fase del proyecto, al realizar entrevistas con actores involucrados en el desarrollo del mismo, es fundamental contar con información previa clara sobre la temática del proyecto. Esto incluye fundamentos teóricos y conocimiento de las normativas aplicables, lo que agiliza el proceso de recopilación de información para la identificación de necesidades y facilita el desarrollo de las etapas posteriores del producto.

Para la identificación de necesidades y requerimientos, se llevaron a cabo diversas reuniones con el Comitente. Además, se visitaron talleres de mecanizado con el fin de recopilar información y abordar las inquietudes de especialistas y potenciales usuarios de la máquina a diseñar y desarrollar.

Es importante destacar el aporte del Comitente en cuanto al asesoramiento específico sobre las características de la máquina deseada, las condiciones de funcionamiento, y las ideas propuestas para su desarrollo. También, resultaron relevantes las reuniones con técnicos operadores de máquinas de rectificado, cuya experiencia en el campo de aplicación

---

permitieron entender mejor el proceso tecnológico involucrado en la reparación. De este modo, se pudo recopilar información sobre las necesidades básicas y los parámetros de operación que debe cumplir la máquina que se desea desarrollar.

Conforme a las entrevistas realizadas, se identificó que la principal dificultad en el desarrollo de la máquina es lograr una sujeción correcta y confiable de los segmentos de asiento de válvula a ser mecanizados.

Como resultado del trabajo de campo, y tomando como referencia la Declaración de Misión del Proyecto, se confeccionó la lista de Necesidades y Requerimientos correspondiente, la cual se presenta en la Tabla 1.

Tabla 1. Listado de Necesidades y Requerimientos.

N°	Necesidades y Requerimientos
1	La máquina rectifica segmentos de válvulas tapón.
2	La máquina se adapta a un torno paralelo.
3	Sentido de rotación de la pieza opuesto al sentido de rotación de la herramienta.
4	Los segmentos de asiento se sujetan en el plato del torno paralelo.
5	La máquina cuenta con sistema de refrigeración.
6	No existen restricciones estéticas.
7	La máquina trabaja bajo normas de seguridad vigentes.

### 5.3.2. *Benchmarking*

Una práctica común en los procesos de diseño industrial, es la actividad denominada *benchmarking*. La misma involucra la recopilación de información sobre los productos o procesos de empresas líderes o referentes en la temática bajo estudio. La información recopilada, se emplea como estándar de comparación ente dichos productos o servicios similares considerados, en cuanto a factores tales como características del diseño, calidad, procesos de producción y servicio de postventa, entre otros.

En este caso, las máquinas herramientas analizadas proporcionaron información relevante al momento de definir las especificaciones técnicas objetivo y fueron consideradas, dado sus principios de funcionamiento, en eventuales fuentes de inspiración para el desarrollo de los conceptos solución.

En particular, se relevaron los parámetros considerados importantes de diversas máquinas rectificadoras disponibles en el mercado, junto con las tablas de especificaciones técnicas, manuales y catálogos de distintos fabricantes (ver Anexo B).

### 5.3.3. Especificaciones Técnicas

Las especificaciones técnicas describen de forma precisa, mensurable, clara y completa las prestaciones de la máquina. Es importante destacar que, para este proyecto, en el marco de un acuerdo específico con el Comitente, la máquina a desarrollar se considera, conforme a la definición de Ulrich y Eppinger (2015), como un *customized product*. Esto implica la necesidad de contar con mayores precisiones y restricciones al plantear las necesidades interpretadas.

Como resultado del trabajo de campo desarrollado en la identificación de las necesidades y la información obtenida del *benchmarking*, a continuación, en la Tabla 2, se presentan las Especificaciones Técnicas objetivo del proyecto.

Tabla 2. Especificaciones Técnicas Objetivo.

Necesidad	Métrica	Valor ideal	Unidad
1	Tamaño de válvula	1,2 y 3	in
1	Profundidad de pasada	0,01	mm
1	Granulometría de muela	60	Grano
1,2	Carrera avance longitudinal	95	mm
2	La máquina se adapta a un torno paralelo	-	Lista
2	Avance longitudinal	0,1 a 0,4	mm/rev
1,3	Velocidad tangencial de la pieza	8 a 24	m/min
1,3	Velocidad de corte de la muela	8 a 30	m/s
4	Sujeción confiable de la pieza	-	Lista
5	Refrigeración	-	Lista
6	No existen restricciones estéticas	-	Lista
7	La máquina trabaja bajo normas de seguridad	-	Lista

### 5.3.4. Análisis Funcional

El Análisis Funcional (AF) es una herramienta utilizada en las etapas previas al diseño conceptual, la cual permite identificar, organizar, caracterizar, ordenar jerárquicamente y evaluar, las funciones de la máquina a diseñar.

El primer paso para descomponer un problema funcionalmente, es representarlo como una Caja Negra. En esta se representa la función general de la máquina. En particular para la máquina rectificadora, en la Figura 16, se presenta el análisis de caja negra. En este caso, ingresa como materia el segmento de asiento de válvula dañado y la herramienta de corte, energía e información (parámetros de rectificado), devolviendo al entorno materia (que se identifica como segmento de asiento rectificado, lubricante a mayor temperatura y residuos de corte), energía disipada en forma de calor, vibraciones y ruido, e información del proceso como señales visuales y sonoras.

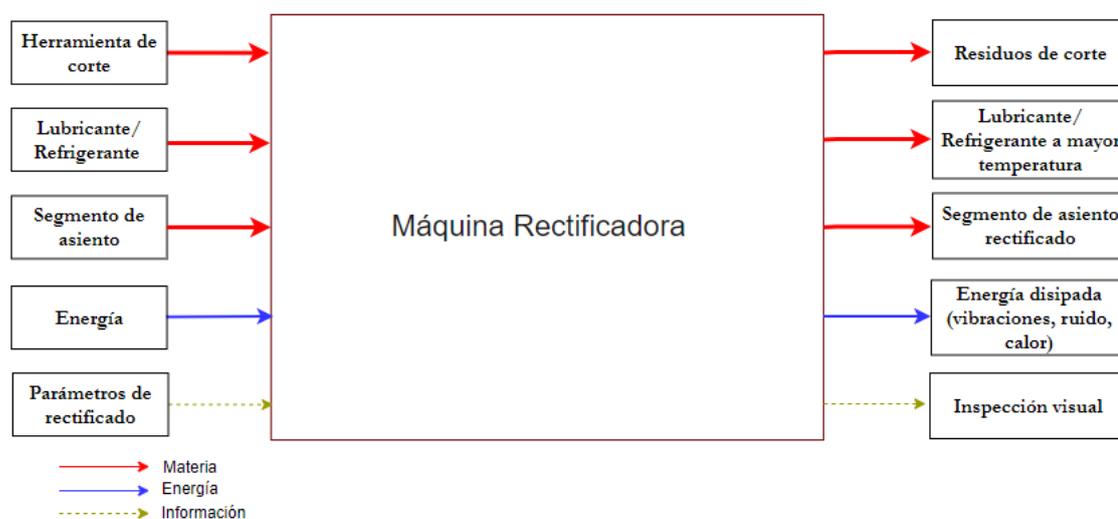


Figura 16. Diagrama de Caja Negra.

El siguiente paso está dado por la descomposición de la función global en las denominadas subfunciones asociadas a la evolución de los flujos indicados de materia, energía e información, y plantear las interrelaciones correspondientes. La función global de la máquina estará dada por las operaciones individuales y transformaciones establecidas y que contribuyen a la *performance* total del sistema.

En todos los casos se debe hacer hincapié en la operación asociada a la subfunción, es decir, *qué* es lo que se debe hacer y no *cómo* hacerlo. Luego de un proceso de planteo

de diversas alternativas de descomposición de la función global, con el fin de simplificar, hasta definir una secuencia de subfunciones para las cuales se pueden tener *a priori* soluciones tecnológicas desde el punto de vista operacional y estructural, se llegó a definir lo que se denomina una Caja Transparente. La misma se presenta en la Figura 17, con las subfunciones y sus respectivas interrelaciones.

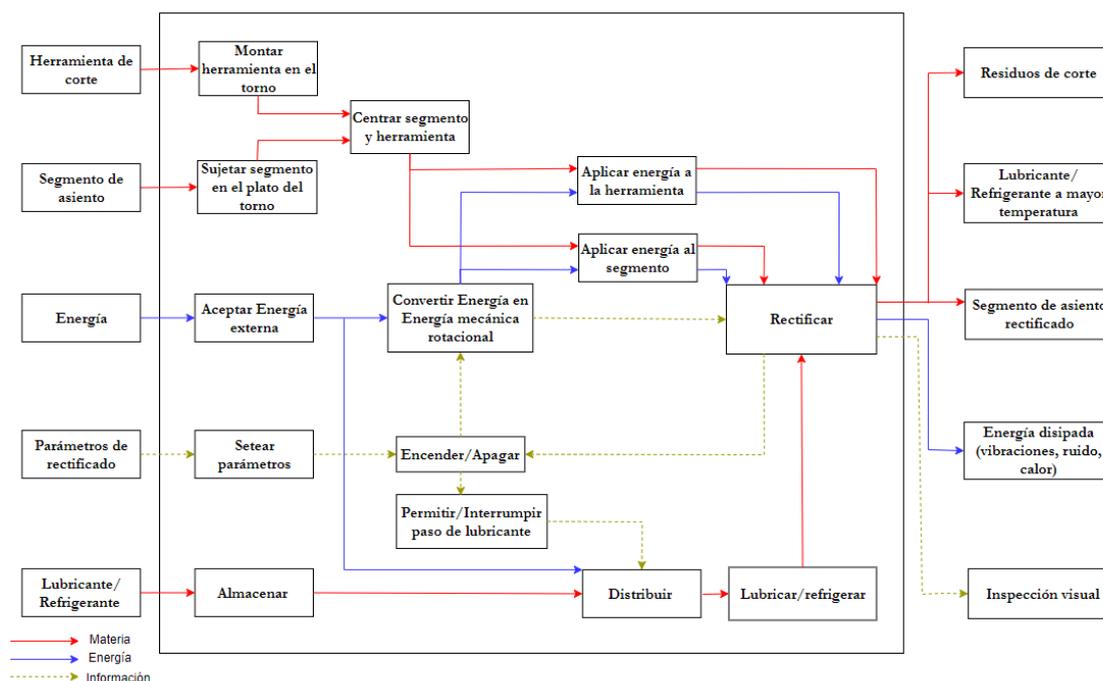


Figura 17. Diagrama de Caja Transparente.

### 5.3.5. Generación de Conceptos

Una vez planteadas las subfunciones, el próximo paso es establecer los elementos físicos que serán las partes componentes, que en un marco integrado y organizado, implementarán la función global de la máquina.

El concepto es una descripción aproximada de la tecnología, principios de trabajo y forma de la máquina. Es una descripción concisa de la forma en que esta va a satisfacer las necesidades del Comitante.

Para facilitar y simplificar la integración de los diversos componentes físicos, durante la etapa de diseño, los mismos son agrupados, es decir, organizados en partes físicas mayores denominados bloques. Cada bloque estará conformado por un conjunto de componentes, que implementan una o más funciones de la máquina, conforme a la afinidad

funcional y física. Dependiendo de la cantidad de funciones que implementarán cada uno de los bloques, y el tipo y cantidad de interacciones entre bloques, se definirá el tipo de arquitectura de la máquina.

En este caso, dada la compatibilización de la máquina a desarrollar con un torno paralelo, y conforme a una de las premisas del proyecto impuesta por el Comitente, empleando de este sus componentes y funciones principales, resulta que el diseño de la máquina es de carácter modular. La compatibilización señalada, implica la mayor y mejor utilización, con las adaptaciones correspondientes, de la estructura general y componentes principales de un torno paralelo. Centrando la atención en aprovechar la Energía Mecánica disponible en el husillo (movimiento de rotación), y del carro principal y auxiliares (movimientos de traslación longitudinales y transversales manuales o automáticos).

Cabe debe destacar la robustez y rigidez de este tipo de máquina-herramienta, que en el rango de operación normal (sujeto a su estado de condición) brindan un funcionamiento suave, con muy bajo nivel de vibraciones, en conformidad con los requerimientos de mecanizado a realizar con la máquina a diseñar. El husillo con el plato o mandril apropiado, permiten fijar en forma segura y sencilla piezas de diversa geometría y tamaños, imprimiéndole un movimiento de rotación con un determinado rango de velocidades. Las velocidades se pueden variar dependiendo del diseño del torno, mediante poleas de distintos diámetros o por caja de velocidades con engranajes.

Por otro lado, para operaciones normales se fija la herramienta de corte en el denominado carro auxiliar, el cual está montado sobre el carro transversal, y su vez, estos dispuestos sobre el carro longitudinal. Estos carros poseen mecanismos que permiten realizar un desplazamiento preciso. En algunos casos, los carros longitudinal y transversal permiten controlar en desplazamiento en forma automática, mientras que para el carro auxiliar el desplazamiento es manual.

En función de lo que se observó en la Caja Transparente, y los requerimientos planteados por el Comitente, a partir de un concepto de arquitectura modular, se definen cuatro bloques para la asignación física de funciones y subfunciones:

1. Bloque I: Sistema de soporte, fijación y giro de segmentos.
  2. Bloque II: Sistema de soporte, traslación y accionamiento de la herramienta muela
-

de rectificación.

3. Bloque III: Sistema de control.
4. Bloque IV: Sistema de lubricación/refrigeración.

### **Bloque I: Sistema de soporte, fijación y giro de segmentos.**

El mismo se asocia a la utilización del husillo del torno. Tiene por objeto posicionar, fijar y hacer girar los segmentos de asiento de las válvulas, para su posterior rectificado. Conforme a los requerimientos establecidos en el proyecto, el sistema físico a desarrollar para cumplir con la función indicada, se vinculará a un plato solidario al husillo de un torno paralelo. Este bloque de la máquina, por las características de los segmentos a rectificar, se considera el de mayor criticidad en el proyecto.

Se plantearon en primera instancia dos alternativas básicas de solución para este bloque, las cuales se presentan a continuación.

1. **Brida de sujeción:** consta de dos piezas tipo brida, que sujetan externamente mediante un ajuste de fuerza, a los segmentos a rectificar, y están vinculadas entre sí a través de espárragos roscados. Uno de los cilindros porta segmentos del conjunto, se fija al plato del torno. En la Figura 18 se presenta el diseño propuesto.

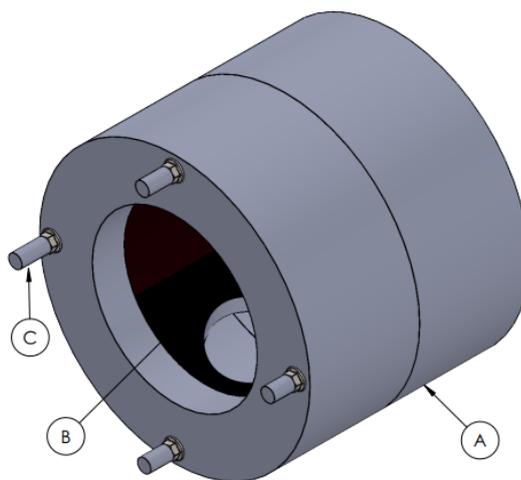


Figura 18. Bloque I - Concepto solución 1.

Referencias: (A) Soporte cilíndrico, (B) Segmento de válvula, (C) Varilla roscada.

2. **Soporte ranurado:** se compone de un cilindro, en el cual se maquinan los alojamientos, en los cuales se insertarán los segmentos de asiento de las válvulas a rectificar. Se puede tipificar la alternativa como un cierre o ajuste de forma. En la Figura 19 se presenta esta alternativa conceptual.

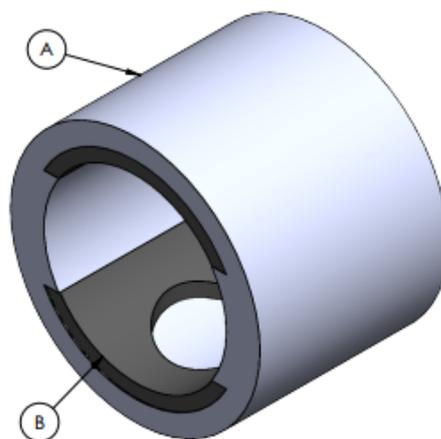


Figura 19. Bloque I - Concepto Solución 2.

Referencias: (A) Soporte cilíndrico ranurado, (B) Segmento de válvula.

Del análisis comparativo de las alternativas propuestas, dada la criticidad del correcto posicionamiento de los segmentos de válvula para su rectificado, se decidió que la mejor opción es el Concepto Solución 2.

Luego de evaluar la provisión de tubos de acero, y los requerimientos de mecanizados asociados, se llegó a la conclusión que la mejor solución es utilizar como base, el propio cuerpo de la válvula correspondiente a cada tipo de segmento a rectificar, con las adaptaciones externas correspondientes.

En síntesis, se decidió adecuar un cuerpo de cada tipo de válvula tapón a reparar, que es maquinado exteriormente, eliminando tanto el extremo macho como el extremo roscado para contener los segmentos a rectificar. De esta manera, se insertan los segmentos de asiento en su posición natural. Los mismos quedarán alineados con los orificios de salida del cuerpo de la válvula. El cuerpo de la válvula mecanizado, permite su fijación exterior al plato o mandril del torno. En la Figura 20, se presenta un esquema del conjunto seleccionado para el Bloque I, con la identificación de sus componentes principales.

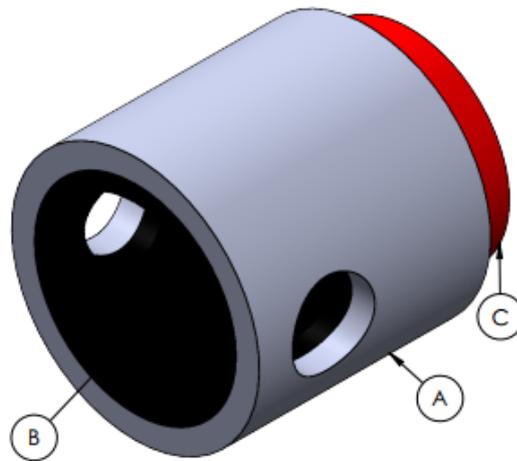


Figura 20. Bloque I - Concepto Solución Seleccionado.

Referencias: (A) Cuerpo válvula mecanizado, (B) Segmento válvula, (C) Tapa de cierre válvula.

## **Bloque II: Sistema de soporte, traslación y accionamiento de la herramienta**

Este bloque funcional de la máquina, debe garantizar el desplazamiento y giro de la muela empleada para el rectificado de los segmentos. A tal fin, por una pauta del proyecto, se emplearán las facilidades y capacidades que brinda el torno paralelo en su carro longitudinal y componentes, con el agregado de una estructura, para lograr el desplazamiento señalado, y con una fuente de potencia independiente de la rotación.

El diseño de este bloque se realizó a partir de la evaluación de antecedentes de diseño de máquinas herramientas similares y las pruebas operativas realizadas con un prototipo físico funcional basado en una amoladora recta (ver Figura 21).

El concepto desarrollado, contempla un bastidor a fabricarse a partir de un tubo de acero montado en la torreta del torno. El cilindro bastidor soportará el árbol porta muela, mediante dos rodamientos. El árbol será accionado por un motor eléctrico mediante un sistema de transmisión por correas, para la adecuación de velocidades. El mencionado motor, se fijará a una plataforma solidaria al bastidor con facilidades para su adecuado posicionamiento. En la Figura 22, se presenta el concepto solución definido para este bloque físico y su integración con el sistema de sujeción montado sobre el plato del torno.



Figura 21. Pruebas preliminares con un prototipo físico basado en una amoladora recta.

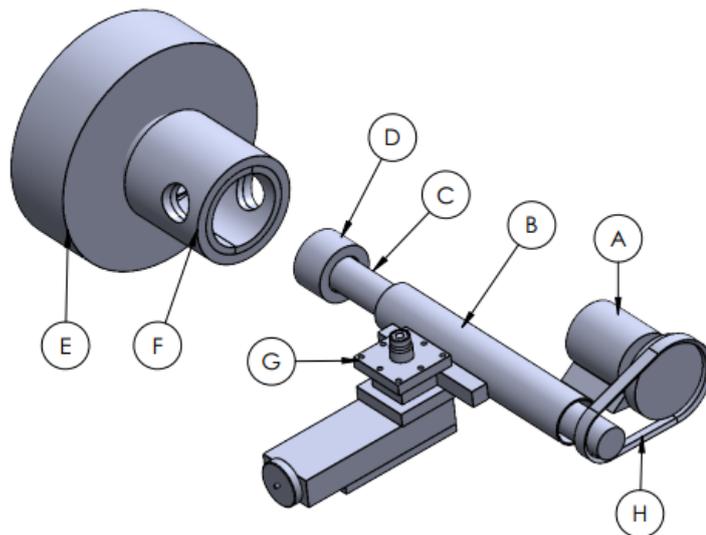


Figura 22. Esquema general del Bloque II.

Referencias: (A) Motor eléctrico, (B) Bastidor, (C) Eje, (D) Muela, (E) Plato torno, (F) Sistema de sujeción (Bloque I), (G) Torreta torno, (H) Transmisión por correa.

### **Bloque III: Sistema de control**

Debido a las características de la arquitectura de la máquina, el sistema de control para el accionamiento de los Bloques I y II se define durante la fase de ingeniería básica, en función del torno paralelo semiautomático seleccionado.

Un torno paralelo semiautomático representa un punto intermedio entre los tornos manuales tradicionales y los completamente automatizados (CNC). En este tipo de torno, ciertos aspectos del mecanizado, como el avance y la posición de la herramienta, pueden ser controlados automáticamente, mientras que otros requieren intervención manual. Este tipo de sistema de control combina la flexibilidad y la sensibilidad del operador con la precisión y eficiencia de la automatización.

En el caso específico del motor eléctrico de la máquina rectificadora, se prevé realizar la conexión eléctrica cumpliendo con las normas de seguridad vigentes.

### **Bloque IV: Sistema de refrigeración**

El sistema de refrigeración en la máquina es fundamental para mantener la integridad y eficiencia del proceso de mecanizado. De forma similar al sistema de control, para este bloque se empleará el sistema de refrigeración perteneciente al torno paralelo.

El proceso comienza cuando se activa la bomba de refrigerante, que mueve el líquido desde el depósito de refrigerante del torno a través de conductos y mangueras hacia las boquillas de aplicación. El refrigerante es expulsado a presión sobre el punto de corte, donde la herramienta de corte y la pieza de trabajo entran en contacto.

El fluido de corte no solo reduce la temperatura en la zona de trabajo, sino que también lubrica la superficie, reduciendo la fricción y el desgaste de la herramienta. Además, el fluido ayuda a evacuar las virutas cortadas de la superficie de trabajo, manteniendo limpia el área de corte y evitando posibles atascos o daños en la herramienta.

#### **5.3.6. Arquitectura de la Máquina**

En la Figura 23, se presenta la arquitectura final de la máquina elaborada a partir del proceso de diseño de los bloques físicos que fueron descritos previamente. En este esquema se incluyen los componentes principales y las piezas a rectificar.

---

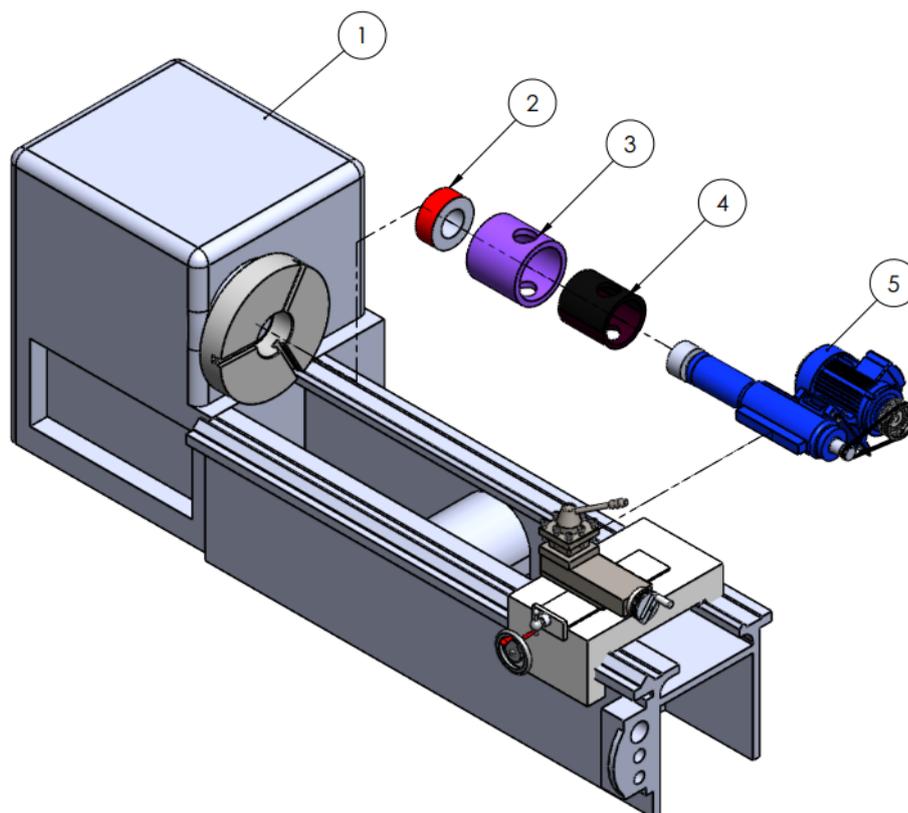


Figura 23. Arquitectura de la Máquina.

Referencias: (1) Torno paralelo, (2) Tapa de válvula, (3) Cuerpo de válvula (adaptado), (4) Segmentos de válvula, (5) Sistema de soporte, traslación y accionamiento de la herramienta (Bloque II).

Como puede observarse en la imagen anterior, el diseño modular propuesto permite establecer pocas interacciones bien definidas entre los componentes. La solución propuesta permite el montaje de la máquina sobre la estructura del torno paralelo requiriéndose adaptaciones menores.

#### 5.4. Ingeniería Básica

Definida la arquitectura de la máquina en esta fase del proyecto, a partir de las dimensiones y características de las piezas a rectificar, se procedió a la determinación de los parámetros de rectificado con la selección de muela correspondiente, la selección del torno paralelo soporte del sistema y la fuente de potencia de la muela. Finalmente, se realizó el predimensionamiento y selección de los materiales para la conformación de los componentes diseñados *ad hoc*, y se completó el diseño con la selección de los componentes estándar.

#### **5.4.1. Bloque I: Sistema de soporte, fijación y giro de segmentos.**

En el Anexo A, se presentan los detalles dimensionales de un tipo de segmentos a mecanizar. La dimensión básica a considerar a los efectos del rectificado, es el diámetro interior de 89 mm. Conforme a lo definido en el apartado 5.3.5, el soporte de los segmentos para su mecanizado estará constituido por el cuerpo del tipo de válvula correspondiente, adaptado para su fijación al plato del torno. Esta adaptación quedará definida en la etapa de Ingeniería de Detalle.

#### **5.4.2. Bloque II: Sistema de soporte, traslación y accionamiento de la herramienta**

##### **Condiciones de operación:**

##### **1. Selección de la muela:**

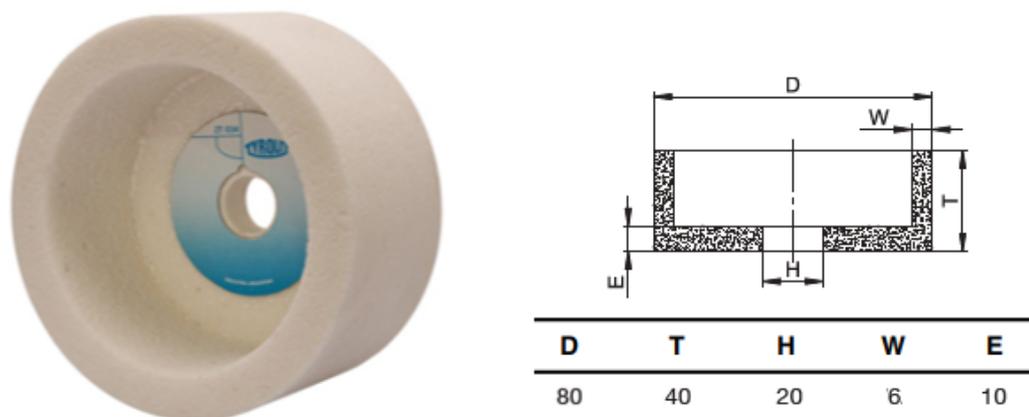
Por sugerencia del Comitente, basado en su experiencia en procesos de rectificado, se selecciona, en primera instancia, una muela disponible en el mercado con las siguientes características técnicas:

- Tipo de muela: copa recta de la marca Tyrolit.
- Denominación: 89A60K5AV53.
- Material: óxido de aluminio blanco.
- Aglomerante: cerámico.
- Tamaño de grano: 60.
- Velocidad periférica: hasta 30 m/s.
- Sistema de fijación al eje: valona con tuerca.
- Dimensiones: se indican en la Figura 24.

##### **2. Parámetros de Rectificado**

En base a las especificaciones establecidas para el proyecto, y siguiendo las recomendaciones del Comitente basadas en su experiencia, se ha determinado lo siguiente para esta fase del proyecto:

---



(a) Detalle.

(b) Dimensiones generales.

Figura 24. Muela tipo copa recta ([www.tyrolit.com.ar](http://www.tyrolit.com.ar)).

- Velocidad tangencial o periférica máxima de la muela  $\rightarrow V_c = 30 \text{ m/s}$ .
- Velocidad de giro de la muela  $\rightarrow n = 5600 \text{ rpm}$ .
- Avance longitudinal  $\rightarrow a = 0.2 \text{ mm/rev}$ .
- Profundidad de pasada máxima  $\rightarrow p = 0.1 \text{ mm}$ .
- Presión específica de corte  $K_s = 3400 \text{ kg/mm}^2$ , obtenida de la Figura 9.
- Velocidad de la pieza  $\rightarrow V_p = 2 \pi r n = 12.58 \text{ m/min}$

Donde se asume:  $r = 0.0445 \text{ m}$  (radio de la pieza), y  $n = 45 \text{ rpm}$  (velocidad de giro de la pieza).

- Para máquinas con movimiento principal rotativo (tales como tornos, taladros, fresadoras, entre otros), el rendimiento mecánico adopta valores de 0.70 a 0.85. Por lo tanto, se asume de modo conservativo  $\eta = 0.7$  (Anguiano Gamiño, 2003).

### 3. Potencia Requerida:

De acuerdo a lo planteado en el apartado 4.3.4, Ecuación 1 y de los parámetros de rectificado establecidos, la potencia consumida por el rectificado es:

$$N_T = \frac{F_c V_c}{4500 \eta} = \frac{K_s p a V_p}{4500 \eta} \rightarrow N_T = 0,27 \text{ CV} = 0,20 \text{ kW} \quad (2)$$

#### 4. Selección del Torno Paralelo

Conforme a la propuesta realizada por el Comitente, se seleccionó un torno marca Wing modelo L-2680, instalado en su taller de mecanizado (ver Figura 25). Las especificaciones técnicas se detallan en la Tabla 3.



Figura 25. Torno Paralelo Wing L-2680.

Tabla 3. Especificaciones Técnicas Torno Wing L-2680.

Métrica	Valor
Distancia entre puntas	2000 mm
Volteo sobre bancada	660 mm
Volteo sobre escote	870 mm
Volteo sobre carro	420 mm
Ancho de bancada	390 mm
Agujero de husillo	82 mm
Traslación de carro	Motorizado con avance rápido
Velocidad del husillo	6-1600 RPM (24 velocidades)
Potencia del motor	15 HP
Peso	3500 kg
Origen	China

### Fuente motriz y sistema de transmisión del eje de la muela

A partir de la potencia nominal de rectificado y la velocidad de giro referencial de la muela, planteadas anteriormente, se seleccionó para el proyecto un motor eléctrico disponible en el taller de mecanizado del Comitente. Este motor cuenta con las siguientes características: 0,25 kW / 1415 rpm / 380 V / Trifásico / 50 Hz / 4 polos, marca Czerweny ([www.czerweny.ar/](http://www.czerweny.ar/)), modelo A71 4A (ver Figura 26).



(a) Detalle.



(b) Chapa de identificación.

Figura 26. Motor eléctrico ([www.czerweny.ar/](http://www.czerweny.ar/)).

La velocidad de giro de la muela abrasiva, recomendada para un proceso de rectificado interno, es de 30 m/s aproximadamente. La velocidad de giro del motor eléctrico es de 1415 rpm. En consecuencia, se debe seleccionar una transmisión multiplicadora para alcanzar la velocidad de rectificado requerida. Se decidió por el uso de un sistema de transmisión por correas teniendo en cuenta diversos factores tales como flexibilidad, vibraciones, mantenimiento y seguridad, entre otros. Este tipo de sistema, es de uso común en aplicaciones donde se requieran altas velocidades, son relativamente silenciosas, no requieren lubricación y su costo es menor si se compara, por ejemplo, con una transmisión por cadena o caja reductora.

La selección del mando correa en V se realizó a partir del catálogo de un reconocido fabricante ([www.dunlop.com.ar/productos/correas/](http://www.dunlop.com.ar/productos/correas/)). Para el correcto dimensionamiento de la transmisión, se tuvieron en cuenta los siguientes datos:

- Polea conductora →  $P = 0.25$  HP;  $N = 1415$  rpm;  $D = 120$  mm.
- Polea conducida →  $n = 5600$  rpm;  $d = 30$  mm.

- Distancia entre ejes  $\rightarrow I = 200 \text{ mm}$ .
- Relación de transmisión  $\rightarrow i = N/n = 0.25$ .

A continuación, se detalla el proceso de selección de la transmisión:

1. Para máquinas herramientas, trabajando en servicio normal de 8 a 15 horas diarias, se recomienda un factor de servicio  $F_c = 1.2$ . Por lo tanto, la potencia corregida viene dada por:

$$P_c = P \cdot F_c \rightarrow P_c = 0,39HP \quad (3)$$

2. Considerando la potencia corregida calculada y la velocidad de giro del eje de la muela, se selecciona una banda Tipo Z (ver Figura 27).

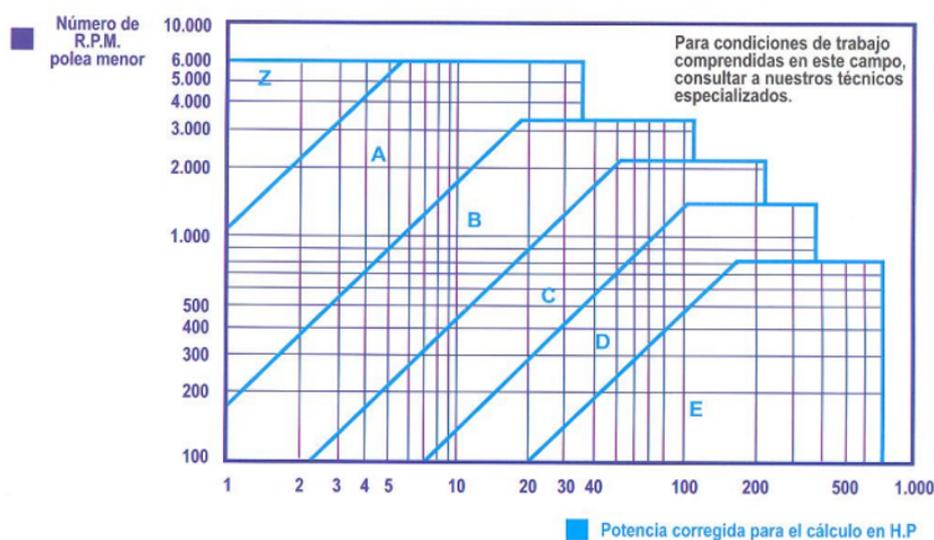


Figura 27. Gráfico para la selección de la sección de la correa.

([www.dunlop.com.ar/productos/correas/](http://www.dunlop.com.ar/productos/correas/))

3. La longitud primitiva de la correa se calcula como:

$$L = 2 \cdot I + 1,57(D + d) + (D - d)^2/4I \rightarrow L = 842mm \quad (4)$$

Se adopta el valor entero más cercano, por lo tanto, la longitud primitiva nominal de la correa es  $L = 32"$ . Para este valor, se tiene que el factor de corrección de la longitud de la correa es  $F_l=0.89$  (según catálogo del fabricante).

4. El arco de contacto sobre la polea menor se determina como:

$$A = 180^\circ - 57(D - d)/I \rightarrow A = 162,9^\circ$$

Con un arco de contacto de  $180^\circ$  sobre la polea mayor, se obtiene la prestación óptima de la correa, pero como en la práctica éste es normalmente menor y afecta la vida útil de la misma, para mantener un correcto nivel de prestación, se debe disminuir la prestación base multiplicándola por un factor de corrección del arco de contacto menor que 1. Por lo expuesto, del catálogo del fabricante, se obtiene  $F_a=0.96$ .

5. La velocidad tangencial de la correa no debe superar los 30 m/s.

$$V = \frac{\pi \cdot D \cdot N}{60 \cdot 1000} = 8,89 \leq 30 \text{ m/s} \rightarrow \text{Verifica.} \quad (5)$$

6. Del catálogo, se tiene que la prestación base en HP por correa, para el diámetro primitivo de la polea menor, es  $P_b=2.68$ ; mientras que el adicional por relación de transmisión es  $P_{ad}=0.62$ . Por lo tanto, la prestación base corregida es:

$$P_{bk} = P_b + P_{ad} \rightarrow P_{bk} = 3,3 \text{ HP}$$

7. La potencia efectiva se obtiene como:

$$P_e = P_{bk} \cdot F_l \cdot F_a \rightarrow P_e = 2,82 \text{ HP}$$

8. La cantidad de correas es:

$$N_{Correas} = P_c/P_e = 0,14 \rightarrow N_{Correas} = 1^{(*)}$$

(\*) Se adopta el entero inmediato superior.

Conforme al procedimiento de selección detallado previamente se tienen las siguientes características generales:

- Polea conductora:  $D= 120$  mm.
- Polea conducida:  $d=30$  mm.
- Distancia entre ejes: 200 mm.
- Número de correas: 1 unidad.
- Longitud de correa: 32"(812.8 mm).
- Identificación de la correa: 10AV0545

Independientemente de lo señalado, en función de la disponibilidad por parte del Comitente, y en atención a la eventualidad de realizar a futuro con la rectificadora, operaciones de mayor requerimiento de potencia, el diseño permite colocar en el motor una polea de múltiples ranuras, con igual consideración en el diseño del eje respecto al sistema de transmisión. Esta decisión está relacionada con lo indicado en el apartado 3.1, Objetivo General del Proyecto, que plantea el desarrollo de un prototipo, que debe tener las facilidades para eventuales adaptaciones conforme a los resultados de pruebas a realizar.

Resulta necesario aclarar que la selección del sistema de transmisión y su relación de multiplicación, permite obtener una velocidad de giro de la muela próximo al planteado como más apropiado para el proceso de rectificado. Para un cambio del diámetro de la muela, o la necesidad de emplear otras velocidades tangenciales de la misma, se deberá modificar la relación de transmisión, con la colocación de poleas con el diámetro adecuado.

### **Pre-dimensionamiento del Eje**

En general, el pre dimensionamiento se realiza para obtener un diámetro de referencia (es decir, diámetro mínimo de la sección crítica o sección más solicitada), a partir del cual se realiza el escalonamiento del eje en función de los distintos elementos que se deben ubicar en él. Según [Niemann \(1971\)](#), para llevar a cabo el pre-dimensionamiento del eje se debe calcular el diámetro teniendo en cuenta, por un lado, la resistencia a la torsión resultando el diámetro de referencia  $d_R$  y, por el otro, la deformación (rigidez angular) obteniéndose  $d_d$  (ver Ecuaciones 6 y 7 respectivamente). Una vez calculados dichos diámetros, se determina cual es el mayor y se lo adopta como diámetro de referencia.

---

La potencia de referencia a transmitir será  $N = 0.25$  kW. La velocidad de giro conforme a lo determinado anteriormente es  $n = 5600$  rpm.

$$d_R = 144 \cdot \sqrt[3]{\frac{P[\text{CV}]}{n[\text{rpm}]}} \cong 6 \text{ mm} \quad (6)$$

$$d_d = 120 \cdot \sqrt[4]{\frac{P[\text{CV}]}{n[\text{rpm}]}} \cong 11 \text{ mm} \quad (7)$$

En función de los resultados obtenidos a partir del predimensionamiento, se adopta un diámetro de referencia de 20 mm, conforme a la dimensión “H” indicada en la Figura 24 para garantizar el montaje de la muela. A su vez, en función de las dimensiones que fueron relevadas en el torno seleccionado, se prevé una longitud del mismo de 500 mm, con una distancia entre apoyos (rodamientos) de 340 mm. En la Figura 28, se muestra un esquema de la geometría básica prevista para el eje.

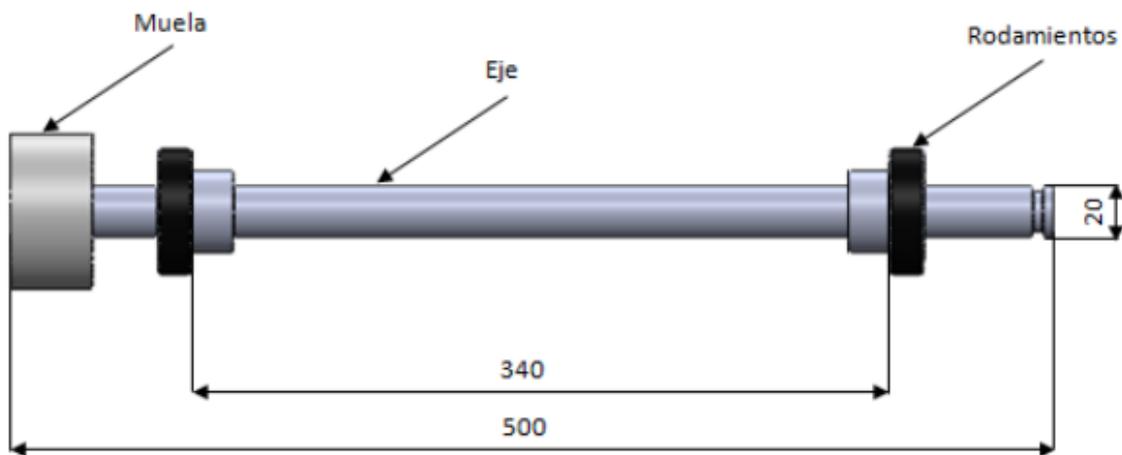


Figura 28. Dimensiones generales del eje.

### Selección de Rodamientos

Son varios los factores que intervienen en el proceso de selección de rodamientos, tales como: espacio disponible, tipo de cargas, velocidad de rotación, temperatura ambiente, lubricación, vida requerida, entre otros. En este caso, la carga a soportar es radial en ambos rodamientos, la velocidad de rotación del eje es constante, las condiciones ambientales son normales (la máquina será montada en el taller del Comitente), el eje estará dispuesto

en posición horizontal y se requiere facilidad para el montaje y desmontaje.

Teniendo en cuenta todos estos factores y la disponibilidad en el mercado local, se seleccionaron dos rodamientos rígidos de bolas con sellos: un SKF 6305 2RS1 para el apoyo ubicado en la proximidad de la muela, y un SKF 63007 2RS1 para el apoyo ubicado en la parte trasera del bastidor ([www.catalogoskf.com.ar/](http://www.catalogoskf.com.ar/)).

### Bastidor

Su función es soportar el conjunto de la muela, eje y motor, y vincularlo a la torreta del torno para asegurar su adecuado posicionamiento y los movimientos relativos respecto a los segmentos a rectificar, que se encuentran fijos al plato del torno. En la Figura 29 se presenta el diseño del bastidor.

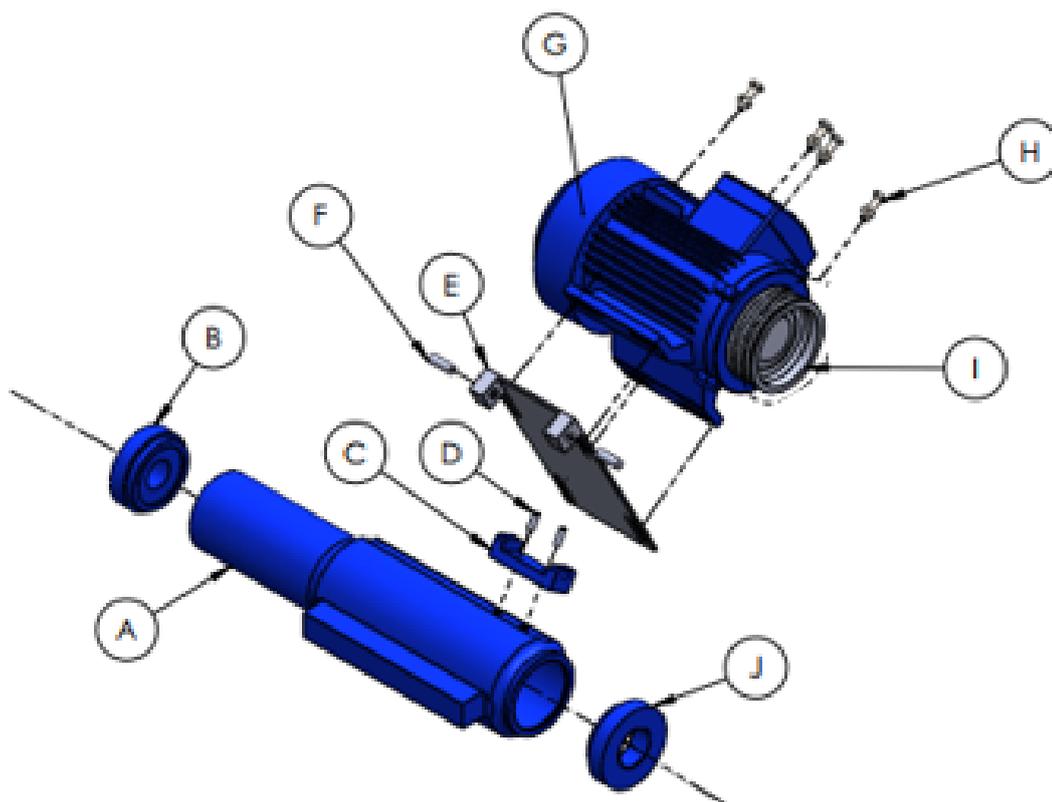


Figura 29. Esquema de montaje del motor sobre el bastidor.

Referencias: (A) Bastidor, (B) Tapa roscada frente, (C) Soporte tipo C, (D) Tornillos fijación soporte tipo C, (E) Soporte del motor, (F) Tornillo de vinculación entre el soporte tipo C y soporte del motor, (G) Motor eléctrico, (H) Tornillos de fijación del motor en su soporte, (I) Polea motor, (J) Tapa roscada trasera.

El diseño propuesto contempla una estructura tubular (A) en la que se mecanizan los alojamientos de las pistas exteriores de los dos rodamientos del eje porta muela y se articula el soporte (E) del motor eléctrico (G). Este soporte está constituido por una chapa con guías caladas, que permiten, mediante uniones atornilladas, el posicionamiento y fijación del motor, así como un adecuado tensado de las correas (componentes C a E). En cada uno de los extremos del bastidor, se instalan dos tapas roscadas (A y J) que permiten el acceso a los rodamientos para su mantenimiento y lubricación. En la etapa de Ingeniería de Detalle se presentarán las dimensiones finales y la verificación correspondiente del bastidor.

### Polea motor

En atención a la eventualidad de realizar, a futuro con la rectificadora, operaciones de mayor requerimiento de potencia, se colocará en el motor una polea de múltiples ranuras (ver Figura 30), con igual consideración en el diseño del eje respecto al sistema de transmisión.

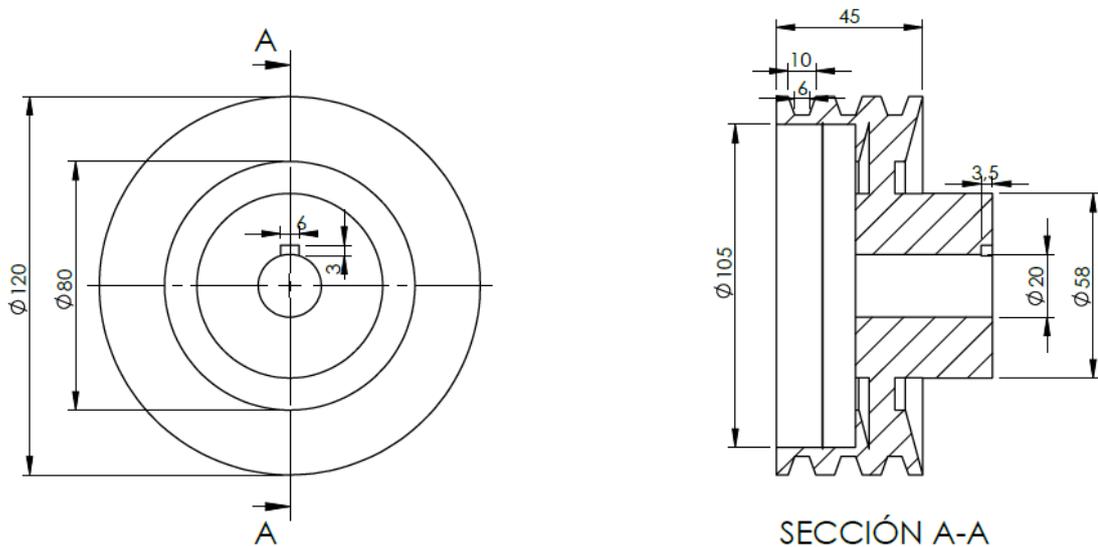


Figura 30. Polea motor.

### Diseño de conformación

En la Figura 31 se presenta la conformación final del sistema obtenido en la etapa de Ingeniería Básica.

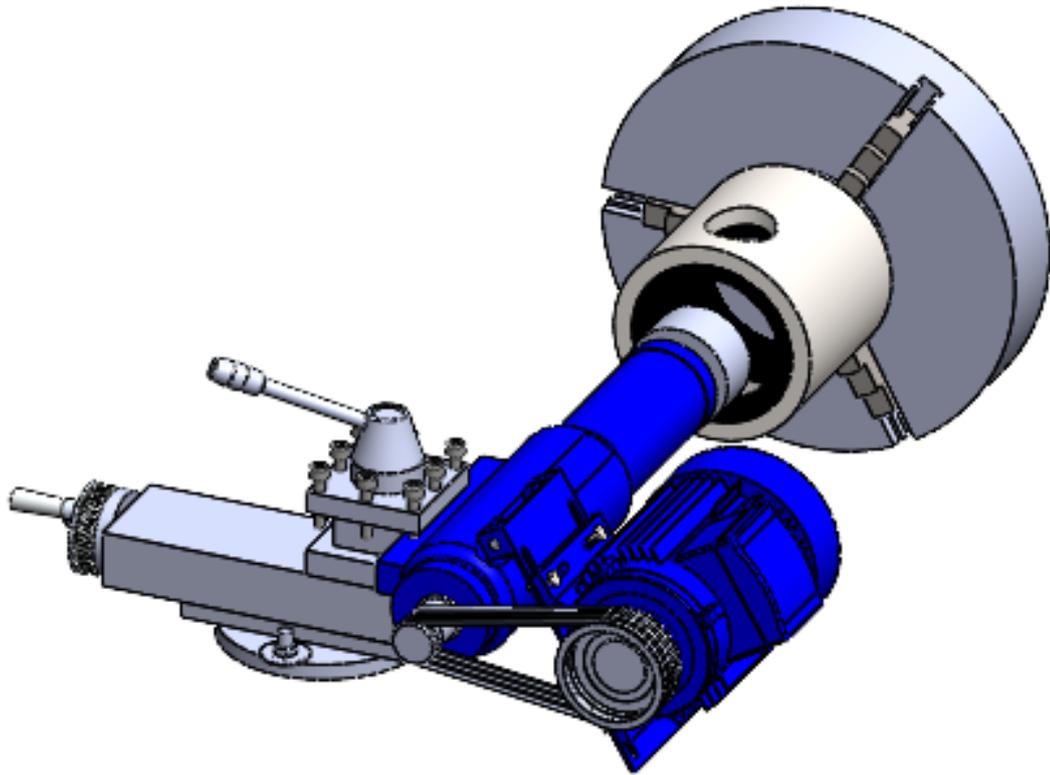


Figura 31. Vista General de la Máquina Rectificadora.

## 5.5. Ingeniería de Detalle

En esta etapa del proyecto se generó la documentación técnica para la fabricación de las piezas no estandarizadas, selección final de los componentes estándar y el detalle para el ensamble de la máquina. Se emitieron los planos de cada uno de los componentes, indicando las dimensiones y sus tolerancias, tipo de material, cantidad y ubicación en el conjunto armado. También se realizaron las verificaciones correspondientes de los componentes críticos como el eje y el bastidor de la máquina.

Esta actividad requirió interactuar en forma directa con proveedores de componentes y personal técnico de una empresa metalmecánica de la zona, encargada de los mecanizados.

Se puso especial atención en que todas las piezas puedan ser fabricadas minimizando los costos asociados y facilitando/simplificando las tareas de montaje. En este sentido cobraron real importancia las técnicas *Design for* aplicadas desde etapas tempranas del proyecto.

### 5.5.1. Verificación del Bastidor

En la Figura 32 se presenta el diseño de detalle del bastidor de la máquina, el cual constituye un componente estructural fundamental. Este bastidor ha sido diseñado para proporcionar soporte y estabilidad a los distintos elementos que componen la máquina, asegurando su correcto funcionamiento y la integridad del sistema bajo condiciones operativas.

El diseño contempla la inclusión de elementos de sujeción y fijación, que facilitan el montaje y desmontaje de componentes adicionales, así como su mantenimiento. Estas características permiten una fácil integración del bastidor en el torno paralelo.

Para la fabricación del bastidor se especificó un acero estructural AISI SAE 4140<sup>1</sup>, lo que garantiza su capacidad para soportar cargas tanto estáticas como dinámicas. Las dimensiones finales se definieron, teniendo en cuenta la necesidad de minimizar el peso total de la estructura sin comprometer su rigidez y resistencia.

---

<sup>1</sup>Templado en aceite a 850°C y revenido a 600°C, Resistencia a la Tracción:  $\sigma_R \geq 1020$  MPa, Tensión de Fluencia:  $\sigma_{fl} \geq 655$  MPa, Dureza: 300 HB.

---

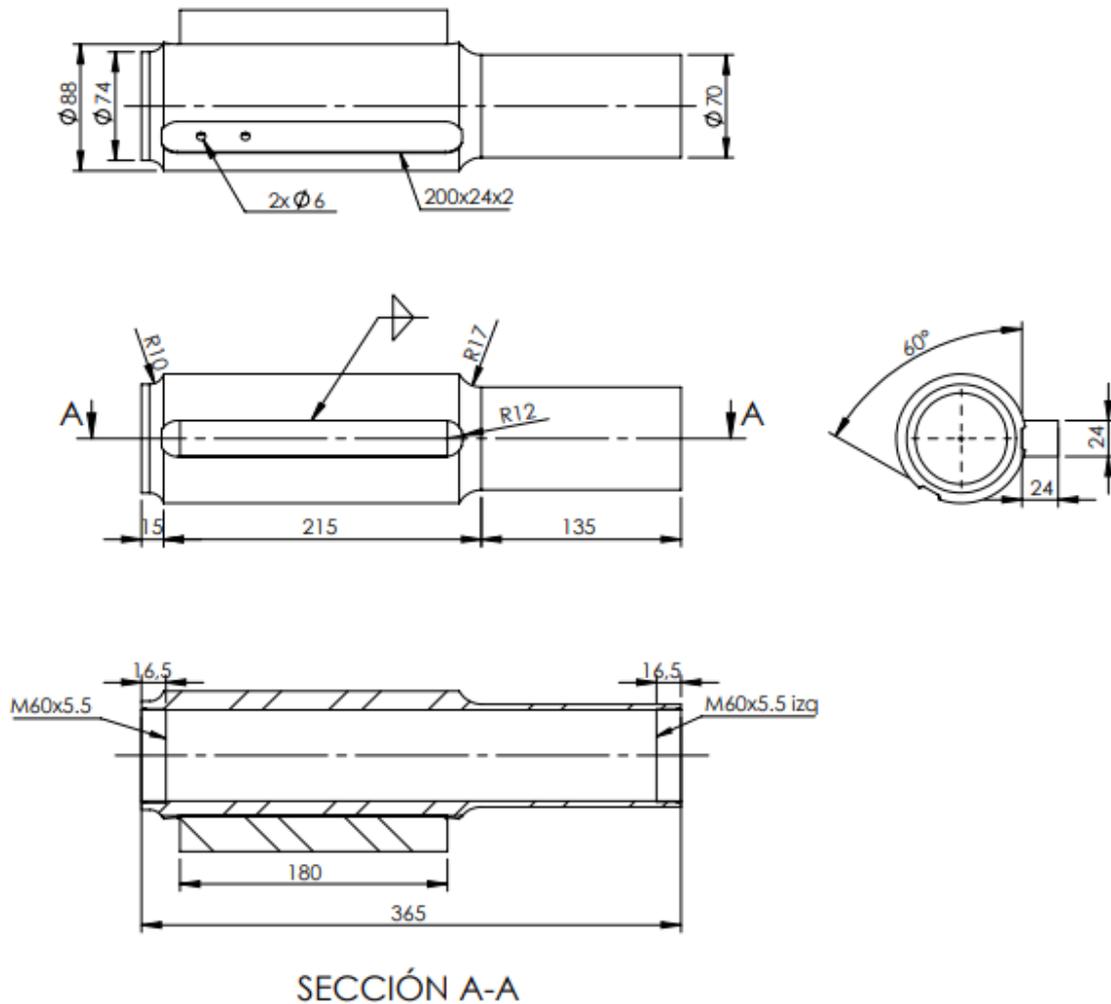


Figura 32. Detalle del bastidor.

El análisis modal del bastidor de una máquina es un proceso fundamental en la verificación estructural que permite entender cómo la estructura responde a las vibraciones. Este tipo de análisis es especialmente importante en máquinas como las rectificadoras, donde la precisión y la estabilidad son críticas. Esta técnica es utilizada para determinar las frecuencias naturales, los modos de vibración y los factores de amortiguamiento de una estructura. Los modos de vibración son las formas específicas en las que una estructura puede vibrar, y cada modo tiene una frecuencia natural asociada.

El bastidor de una máquina actúa como la columna vertebral de la estructura, proporcionando soporte y estabilidad a todos los componentes. Si el bastidor tiene frecuencias naturales que se acercan a las frecuencias de excitación generadas por los componentes

móviles (por ejemplo: motor, eje, y herramientas de corte), puede experimentar resonancia, lo que lleva a amplificaciones peligrosas de vibraciones. Esto puede causar: desgaste prematuro de los componentes, pérdida de precisión en el mecanizado y fallas estructurales potencialmente catastróficas.

Para realizar el análisis se creó un modelo de elementos finitos empleando un *software* específico, que incluye todas las propiedades físicas como la geometría, los materiales y las conexiones. Se especifican las condiciones de borde en las que el bastidor está apoyado o fijado a la base (ver Figura 33).

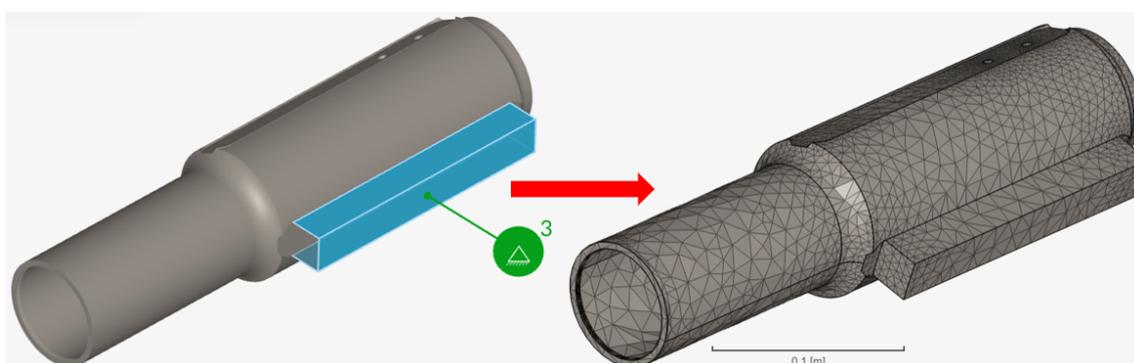


Figura 33. Modelo de Elementos Finitos del bastidor.

Utilizando el *solver* específico de análisis modal, se resuelven las ecuaciones de movimiento para el sistema modelado, lo que permite identificar las frecuencias naturales y los modos de vibración correspondientes.

En la Figura 34 se visualizan los primeros modos, que son los más relevantes para evitar la resonancia en las frecuencias de operación. Estos resultados permiten entender cómo se deforma el bastidor en cada frecuencia natural. Esto ayuda a identificar las zonas de la estructura que están más afectadas por las vibraciones y que podrían necesitar refuerzos.

En este caso particular, se puede observar que el primer modo natural, que se encuentra a 1248 Hz, está muy por encima de la frecuencia de excitación de la máquina (la cual es próxima a 90 Hz). Esto indica que no hay riesgo de resonancia en las condiciones operativas actuales, ya que la frecuencia de excitación no coincide ni se aproxima a la frecuencia natural del bastidor.

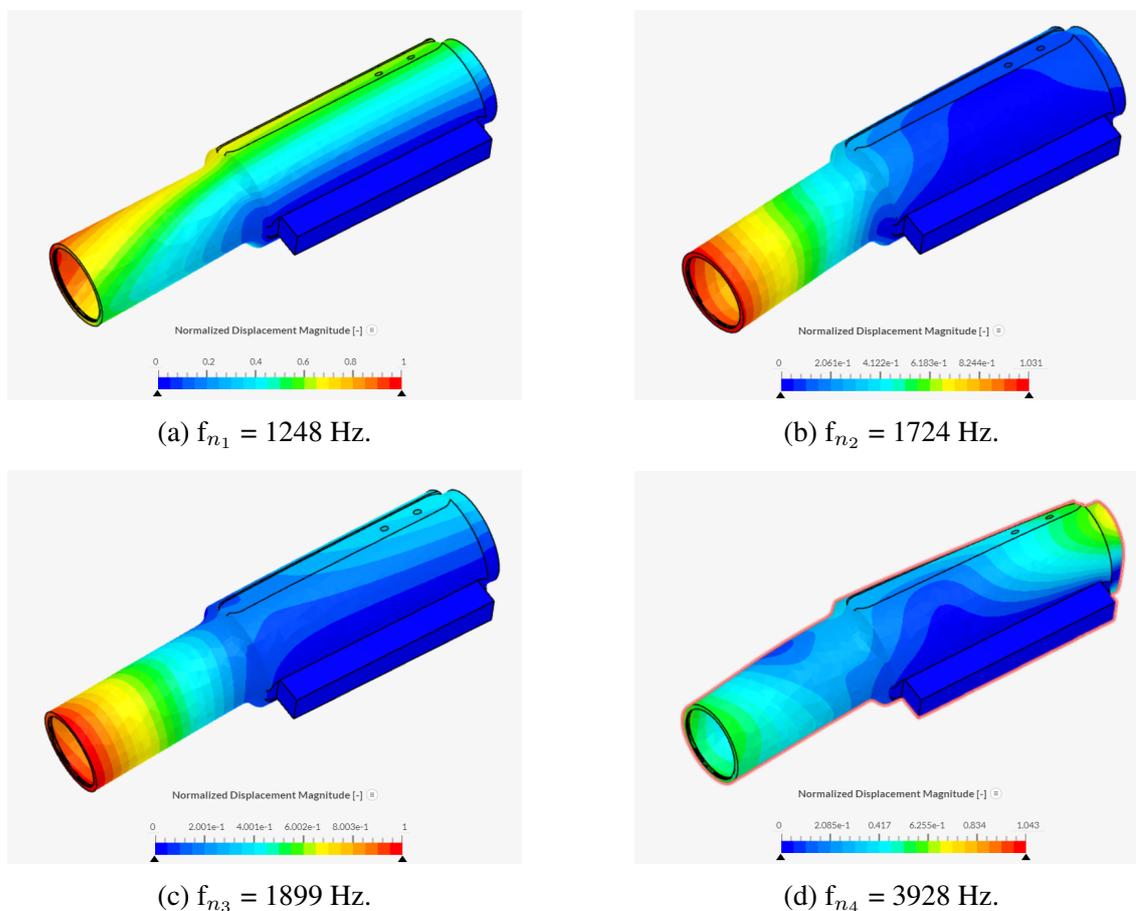


Figura 34. Análisis Modal del bastidor.

### 5.5.2. Verificación del Eje

En la etapa de verificación del eje se evalúa la seguridad y la funcionalidad del diseño bajo las condiciones de operación previstas. Para llevar a cabo esta verificación, se emplea el *software* KissSoft ([www.kisssoft.com](http://www.kisssoft.com)), una herramienta ampliamente utilizada en la industria para el análisis y dimensionamiento de componentes mecánicos.

El primer paso en la verificación del eje consiste en modelar su geometría a partir de los planos y especificaciones de detalle. Se ingresa en el *software* cada detalle geométrico del eje, incluyendo diámetros, radios de acuerdo, longitudes de segmentos, y la ubicación precisa de rodamientos y poleas. Se adopta como material del eje el mismo acero seleccionado para el bastidor (AISI-SAE 4140), con las mismas especificaciones para su provisión.

Con la geometría y el material definidos, se procede a ingresar las cargas que actúan

sobre el eje. Estas cargas incluyen todas las cargas externas derivadas de la operación del sistema según lo definido en la Sección 5.4.2. Además, se identifican y modelan los concentradores de tensión.

La verificación del eje también considera la selección y configuración de los rodamientos. Utilizando la información recopilada en la ingeniería básica, los rodamientos se modelaron en sus posiciones correspondientes lo que permitió evaluar su capacidad para soportar las cargas aplicadas y su impacto en la vida útil del eje. En la Figura 35 se presenta el modelo generado a partir de la información ingresada.

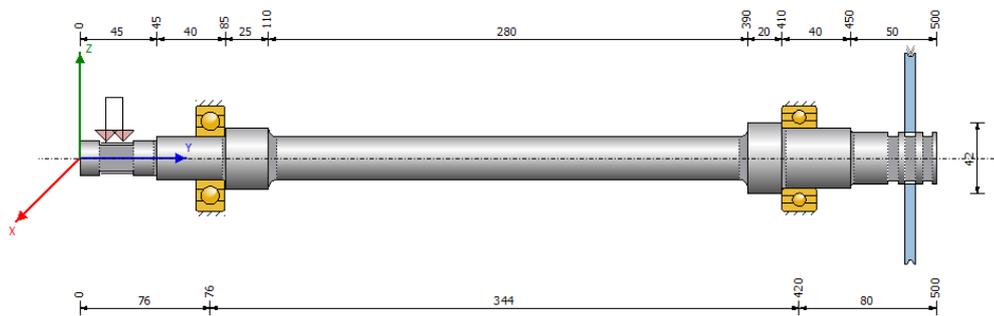
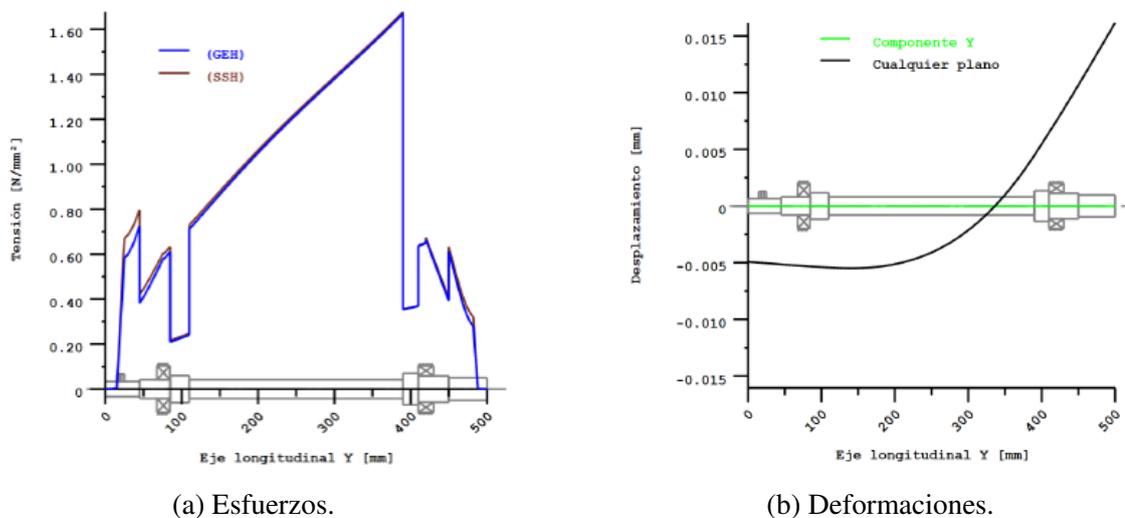


Figura 35. Modelo para la verificación del eje.

Con toda la información cargada, se ejecuta el análisis mediante el cual el *software* realiza un cálculo detallado de los esfuerzos, deformaciones y frecuencias críticas en el eje. En las Figuras 36 y 37 se presentan los resultados obtenidos.



(a) Esfuerzos.

(b) Deformaciones.

Figura 36. Análisis de esfuerzos y deformaciones del eje.

Referencias: GEH: Tensiones de Von Mises; SSH: Tensiones de Tresca.

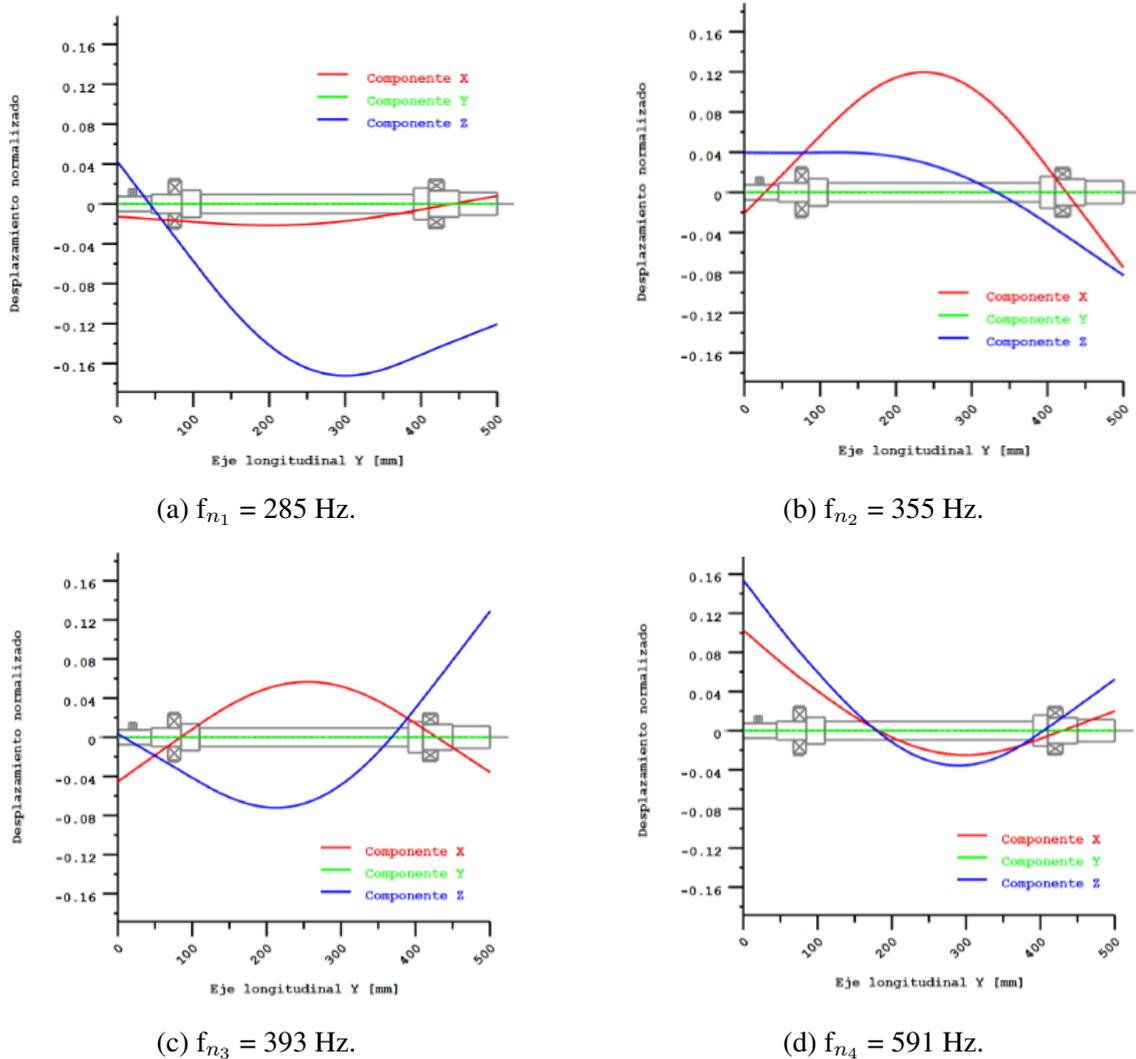


Figura 37. Análisis modal del eje.

El análisis realizado ha demostrado que el eje cumple satisfactoriamente con los criterios de diseño establecidos. En cuanto a la resistencia, los resultados indican que el eje soporta las cargas aplicadas, manteniendo los factores de seguridad estático y a fatiga adecuados en todas las secciones críticas. Las deformaciones también se encuentran dentro de los límites aceptables, garantizando que el eje mantendrá su alineación y funcionamiento correcto sin comprometer la integridad de los rodamientos. En lo que respecta a las frecuencias críticas, el análisis ha verificado que las frecuencias naturales del eje están adecuadamente separadas de las frecuencias de excitación presentes en el sistema.

### 5.5.3. Despiece

Para una mejor comprensión del diseño final de la máquina rectificadora, se presenta en la Figura 38 el despiece, haciendo referencia a cada uno de los componentes detallados en la Tabla 4.

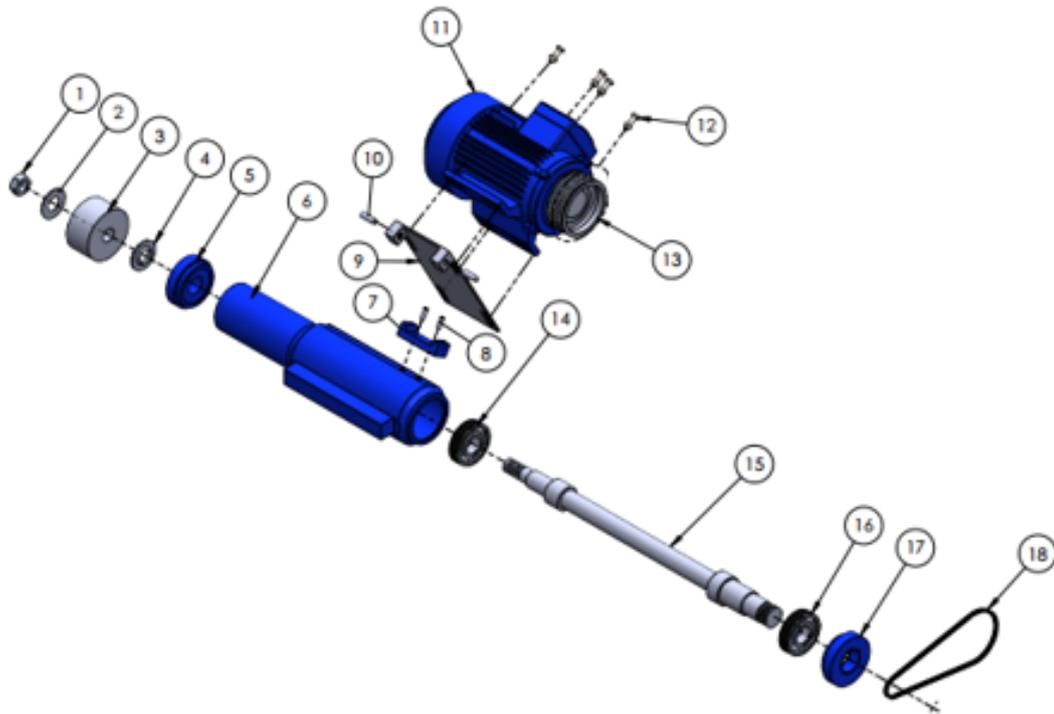


Figura 38. Componentes de la Máquina.

Tabla 4. Descripción de componentes según Ingeniería de Detalle.

ID	Descripción	Cantidad
1	Tuerca M20x1,5	1
2	Arandela M20	1
3	Muela abrasiva	1
4	Separador tipo Valona M20	1
5	Tapa izquierda	1
6	Bastidor	1
7	Soporte tipo C	1
8	Tornillo 8.8 M6x1x24	2
9	Soporte motor	1
10	Tornillo 8.8 M8x1.25x26	2
11	Motor eléctrico 0,25 kW - 1415 rpm - 380 V - 50 Hz - 4 polos	1
12	Tornillo con tuerca 8.8 M8x1.25x26	4
13	Polea conductora	1
14	Rodamiento 6305 2RS1	1
15	Eje	1
16	Rodamiento 63007 2RS1	1
17	Tapa derecha	1
18	Correa V 10AV0545	1

## 5.6. Fabricación y Montaje

En base a la documentación generada en la etapa de Ingeniería de Detalle, se inició el proceso de fabricación y adecuación de los componentes de la máquina. Las tareas desarrolladas involucraron diversas operaciones tecnológicas, a saber: soldadura, taladrado, roscado, fresado y mecanizados en torno paralelo, entre otras. De acuerdo a lo convenido, se acompañó al Comitente en la ejecución de esta fase. A continuación, en las Figuras 39 a 43 se presentan, a modo de síntesis, imágenes de los componentes principales durante el proceso de fabricación y ensamble.



Figura 39. Mecanizado del eje.

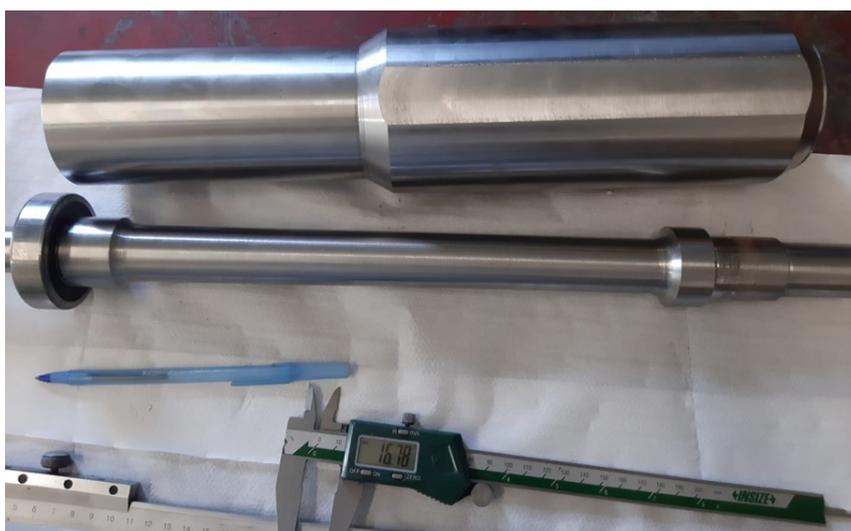


Figura 40. Bastidor y eje.



Figura 41. Sistema de sujeción.



Figura 42. Soporte motor.



Figura 43. Detalle de los componentes previo al ensamble.

Una vez completada la fabricación de componentes y la adquisición de elementos estándar, se procedió al ensamble de los bloques funcionales y el montaje de la máquina en el torno paralelo. En la Figura 44 se puede ver una imagen del conjunto.

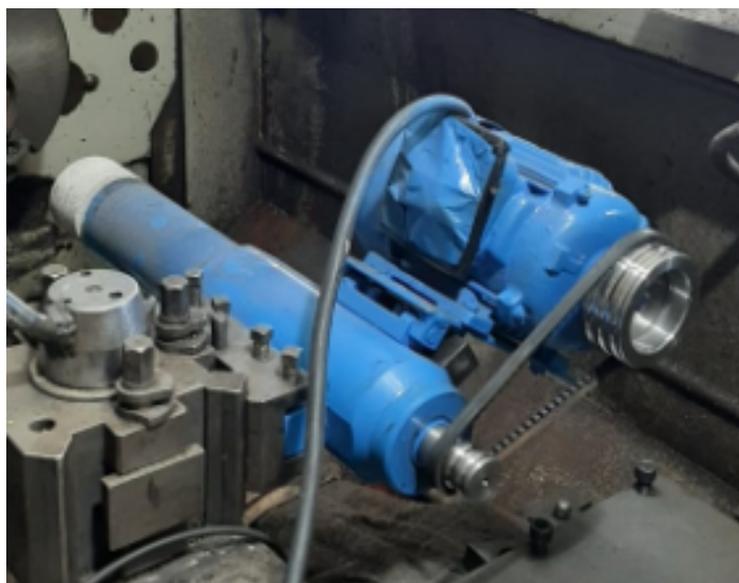


Figura 44. Montaje Máquina Rectificadora en torno paralelo.

## 5.7. Pruebas de Funcionamiento

Con el objetivo de corroborar el comportamiento en servicio de la máquina rectificadora, se rectificaron los segmentos de una serie de válvulas conforme a los parámetros expuestos la Sección 5.4.2. A su vez, se empleó el líquido refrigerante Blasocut 2000 C, de la marca Blaser Swisslube ([www.blaser.com](http://www.blaser.com)). En la Figura 45 se puede observar la máquina en funcionamiento.

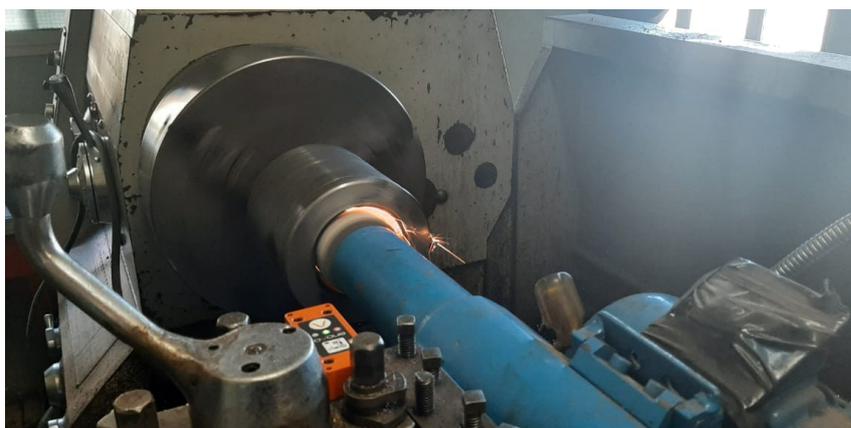


Figura 45. Máquina rectificadora en operación.

Complementariamente, para evaluar específicamente el comportamiento estructural y funcional de la máquina rectificadora, a los fines de un eventual ajuste y planteo de mejoras, se realizaron mediciones de velocidad de rotación de los componentes, medición de vibraciones en el bastidor y medición de potencia eléctrica del motor durante la operación de la muela. Para la medición de vibraciones se utilizó un colector de datos de vibraciones modelo S3-D40 ([www.endaq.com](http://www.endaq.com)), en la Figura 46 se muestra su instalación sobre el bastidor.



Figura 46. Medición de vibraciones.

En la Figura 47 se presentan las mediciones en el dominio de la frecuencia obtenidas de la señal temporal de aceleraciones registradas. Al analizar la señal en el dominio de la frecuencia, es posible identificar las frecuencias predominantes presentes en la señal, las cuales pueden estar relacionadas con fenómenos como la resonancia, la vibración forzada, o la respuesta estructural ante excitaciones externas.

Este análisis se realiza mediante la transformación de la señal temporal, a través de la Transformada de Fourier (FFT), la cual descompone la señal original en una serie de componentes sinusoidales, cada una con una frecuencia específica. Estas frecuencias revelan los modos de vibración y las características dinámicas del sistema que no son fácilmente identificables en el dominio temporal.

La frecuencia predominante detectada en el análisis de la señal se corresponde con la frecuencia de excitación aplicada al sistema. Esto significa que la mayor parte de la energía de la vibración se concentra en esa frecuencia específica, lo que indica que el sistema está respondiendo principalmente a la fuente de excitación externa.

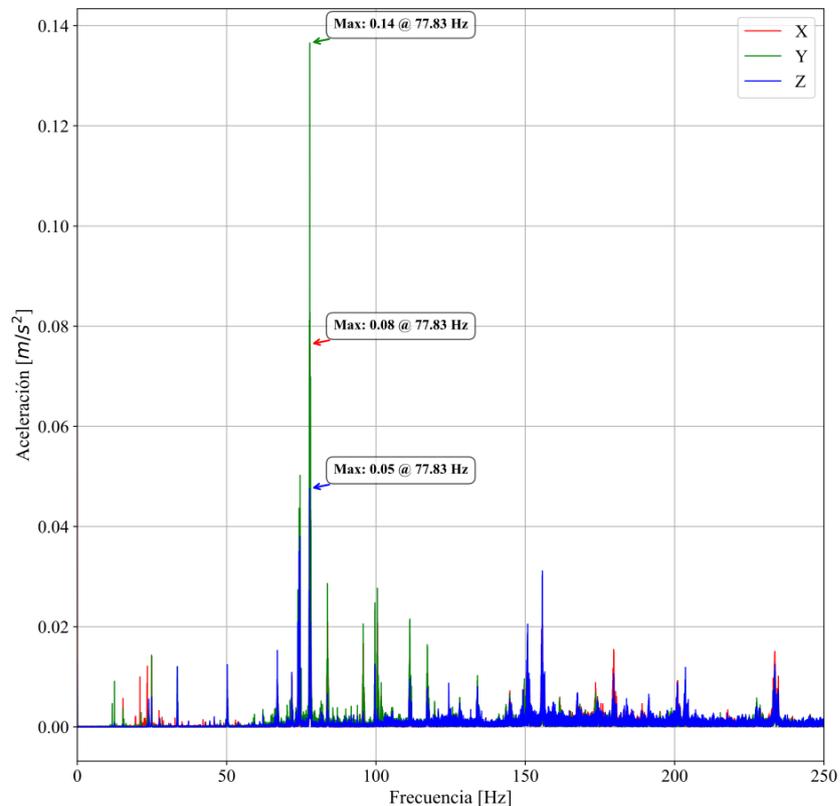


Figura 47. Mediciones en el dominio de la frecuencia (FFT).

Cuando la amplitud de la vibración se vuelve excesiva, puede perjudicar la calidad de la pieza de trabajo. La cantidad de vibración que se considera excesiva depende de la aplicación. Por ejemplo, una operación de rectificado cilíndrico de precisión puede requerir valores de desplazamiento inferiores a  $0.762 \mu\text{m}$ , mientras que una operación de corte en una acería podría superar los  $25.4 \mu\text{m}$  pico a pico. Típicamente, el nivel de vibración aceptable está determinado por las tolerancias de la pieza de trabajo, tales como tolerancia dimensional, acabado superficial, ondulación, redondez y ondulaciones por revolución. Cuanto más estrictas sean las tolerancias, mayor deberá ser la minimización de la vibración. La vibración excesiva también puede aumentar el desgaste de la muela, dañar el material y causar fallos prematuros en los rodamientos del husillo (Hagan, 2016).

En la Figura 48 se presentan los resultados obtenidos de la doble integración de la señal de aceleración en el dominio temporal, empleando una librería específica desarrollada en Python (enDAQ, 2020). De esta forma, se pueden representar los desplazamientos máximos generados por la vibración del bastidor. Como puede observarse, los valores máximos se ubican en torno a los  $1.5 \mu\text{m}$  pico a pico, los cuales se consideran aceptables para el nivel de precisión requerido para la aplicación planteada en este trabajo. El nivel de precisión alcanzado se termina de cuantificar en base a los resultados obtenidos de las mediciones de rugosidad de los asientos rectificados que se presentarán en la sección siguiente.

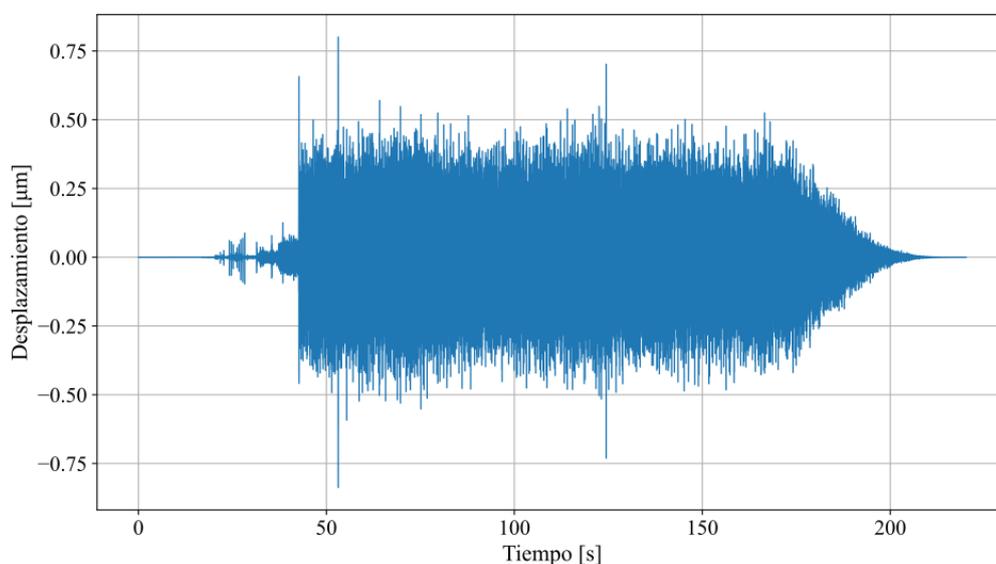


Figura 48. Mediciones de desplazamiento en el dominio temporal.

## 5.8. Procedimiento de Reparación

Conforme al alcance de la reparación definido en la Sección 5.1.2, luego del proceso de rectificado, se procedió a medir la rugosidad de los segmentos de asiento de la válvula tapón con el objetivo de determinar si los valores alcanzados se corresponden con los requerimientos específicos para este tipo de aplicaciones.

A tal fin se empleó un rugosímetro Mitutoyo Modelo SJ-410 (<https://mitutoyo.com.ar/>). Se establecieron tres líneas de medición a lo largo de los segmentos, en dirección axial. Se realizó una medición a lo largo de cada una de las líneas establecidas. En la Figura 49, se muestra el control de rugosidad de la superficie de un segmento.



Figura 49. Control de rugosidad de un segmento.

En cada medición, según la Norma ISO 4287 (1999), se obtuvieron los siguientes parámetros de rugosidad:

- Rugosidad media aritmética ( $R_a$ ): es el promedio aritmético de los valores absolutos de la altura de la superficie respecto a la línea media a lo largo de una longitud de evaluación. Es el parámetro de rugosidad más comúnmente utilizado.
- Rugosidad media cuadrática ( $R_q$ ): es el valor cuadrático medio de las desviaciones del perfil de la superficie respecto a la línea media.
- Rugosidad máxima ( $R_z$ ): representa la distancia promedio entre los picos más altos y los valles más profundos en cinco secciones de igual longitud a lo largo del perfil de rugosidad.

- Profundidad total de la rugosidad ( $R_t$ ): es la distancia vertical entre el pico más alto y el valle más profundo dentro de la longitud de evaluación.

A su vez, para llevar a cabo las mediciones, se deben tener en cuenta los parámetros que se definen a continuación. La longitud de corte  $\lambda_c$  define el límite entre la rugosidad y la ondulación. Para ello se aplican los filtros, que son herramientas matemáticas que permiten eliminar componentes de alta o baja frecuencia del perfil, facilitando así el análisis de las características de interés. La longitud de evaluación  $\lambda_s$  determina la distancia sobre la cual se calcula un parámetro de rugosidad específico. Mientras que la longitud de muestreo, hace referencia a la longitud en la dirección del eje x utilizada para identificar las irregularidades que caracterizan el perfil evaluado. El número de longitud de muestreos  $N$  indica cuantas veces la longitud de muestreo cabe dentro de la longitud de evaluación. En este caso, se utilizaron los siguientes parámetros: Filtro Gauss,  $\lambda_c = 0,8mm$ ,  $\lambda_s = 2,5\mu m$  y  $N = 5$ .

En la Tabla 5, se presentan los resultados promedio obtenidos en las mediciones de segmentos correspondientes a tres válvulas tapón (condición nueva, con daño y reparada).

Tabla 5. Control de Rugosidad [ $\mu m$ ].

Pieza	Ra	Rq	Rz	Rt
Segmento Nuevo	0.458	0.611	2.734	1.923
Segmento Dañado	0.832	0.909	3.412	3.988
Segmento Reparado	0.612	0.790	3.244	2.704

Los resultados obtenidos en las mediciones de rugosidad se consideran satisfactorios dado que se encuentran en el rango de valores sugeridos por especialistas, que ubican el valor  $R_a$  de referencia, para este tipo de mecanizado, en 0,1 a 2  $\mu m$  (Groover, 2007).

En el proceso de reparación de segmentos de válvulas tapón, es de vital importancia garantizar la precisión de la curvatura de los segmentos reparados, para poder garantizar un sellado eficiente de la válvula. Mediante el uso de un proyector de perfiles se realizaron mediciones de la curvatura obtenida luego del mecanizado (ver Figura 50).



Figura 50. Medición de curvatura segmentos rectificadas con un proyector de perfiles.

La Figura 51 muestra la comparación entre las curvas obtenidas de seis segmentos reparados (identificados como segmentos 1 a 6) y la curva de un segmento original. Para la obtención de cada curva, se midieron 100 puntos en las direcciones X e Y, y luego se ajustaron los datos a una curva polinomial de segundo grado.

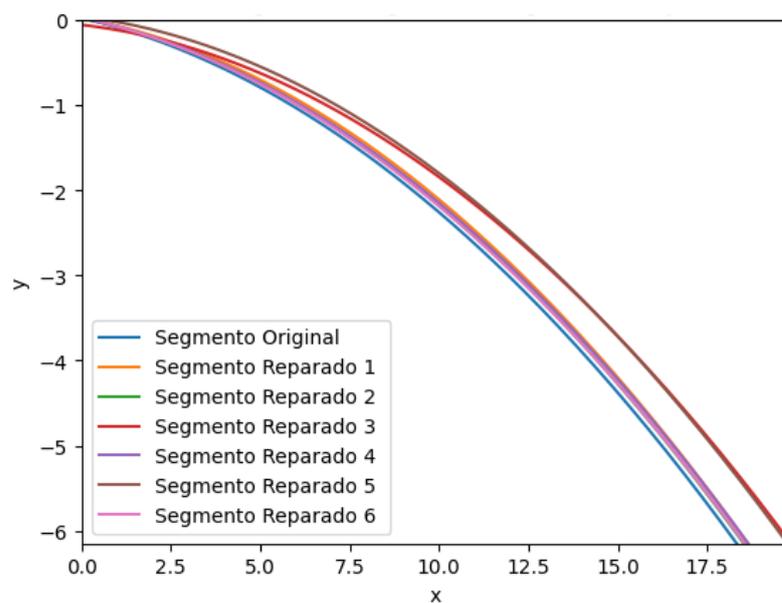


Figura 51. Resultados de la medición de curvatura.

Las curvas de los segmentos reparados presentan en general una buena concordancia con respecto al perfil del segmento original. En particular se considera que los segmentos 1, 2, 4 y 6 presentan una curvatura satisfactoria y podrían no requerir ajustes adicionales. Mientras que los segmentos 3 y 5 podrían requerir de un ajuste para reducir su curvatura.

Para dar continuidad al proceso de reparación de la válvula, se enviaron los componentes a un taller de mecanizado especializado de terceros, para la reparación del tapón y su ajuste dimensional a los segmentos rectificadas.

Respecto al tapón, en primera instancia se realizó un mecanizado con arranque de viruta hasta lograr una superficie homogénea, de forma tal que se eliminaron totalmente los daños localizados. Para ajustar la dimensión exterior del mismo conforme al diámetro del conjunto, se procedió a un plaqueado láser, también denominado *Laser Cladding* o *Laser Metal Deposition* (LMD) con un posterior rectificado de la superficie, tal como se presenta en la Figura 52.



(a) Máquina LMD.



(b) Tapón Plaqueado.

Figura 52. Proceso de plaqueado láser del tapón.

Esta técnica es una tecnología aditiva muy empleada en la reparación de componentes metálicos. Se utiliza a menudo para crear una superficie completamente nueva, para proteger componentes nuevos al desgaste y la corrosión, y para reparar superficies. Se trata intrínsecamente de un proceso con aplicación limitada de calor, lo que produce microestructuras finas, pequeñas zonas afectadas por el calor y escasa deformación. El revestimiento láser se puede realizar con alambre o con materia prima en polvo, incluido alambre frío o caliente (Chang y Zhao, 2013).

El láser crea una masa fundida en la superficie de la pieza de trabajo, en la que al mismo tiempo se incorpora el alambre o el polvo. A pesar de la alta potencia del láser como fuente de calor, los tiempos de exposición son cortos, lo que permite un rápido enfriamiento y solidificación. El tiempo de exposición es breve y el enfriamiento es rápido, formando una capa uniforme sin poros y fisuras, de alta calidad superficial y deformación mínima. Una vez que la superficie se ha enfriado, se pueden aplicar capas adicionales según sea necesario. Terminado el proceso, se alcanzan durezas de entre 40 y 50 HRC.

Concluida satisfactoriamente la fase de rectificado de segmentos y del émbolo, se procedió al ensamble de la válvula, para luego realizar la prueba hidrostática correspondiente.

Se considera crítico el proceso de ensamble o armado de las válvulas. En tal sentido resulta imperativo que la estación de trabajo donde se ensamblan las mismas esté limpia y libre de cualquier tipo de contaminante, tales como virutas, óxidos, suciedad y pinturas, entre otros. Para asegurar un correcto ensamble, el Comitente desarrolló un detallado procedimiento de montaje que incluye: indicación de la secuencia de ensamble, tratamiento de los componentes y engrase de superficies, entre otros. En la Figura 53 se puede observar una secuencia de ensamble típica.

Una vez ensambladas, cada válvula se traslada a la sección donde se harán las pruebas hidráulicas para asegurar que no existan fugas. Se hacen pruebas tanto al cuerpo como a los laterales de las bridas. Estas pruebas se realizan para verificar y validar la integridad estructural, resistencia, funcionamiento y hermeticidad del conjunto. La magnitud de los eventuales daños, en caso de que estos equipos fallen, es de consideración porque revisten alta peligrosidad. Un comportamiento adecuado durante las pruebas o ensayos, permite inferir que el sistema podrá ser operado de forma segura con el fin de garantizar la confiabilidad de los procesos durante una operación normal.

Un ensayo de presión hidrostático consiste en aislar completamente el equipo o componente sometido a presión (cilindro, tanques, líneas o ductos) que se va a probar, llenarlo con agua (u otro fluido en estado líquido, incompresible), retirando todo el aire desde su interior e ir aumentando paulatina y progresivamente la presión interna a un valor y por un tiempo que dependerá del código de diseño del recipiente.

---



(a) Tapa de la válvula.



(b) Tapón montado sobre la tapa.



(c) Montaje de los segmentos.



(d) Engrase.



(e) Preparación del cuerpo.



(f) Montaje del conjunto.

Figura 53. Secuencia de ensamble.

A continuación, se describe paso a paso el proceso de Prueba Hidrostática de las válvulas tapón, según [API RP 53 \(2017\)](#), realizado en las instalaciones del Comitante:

1. Traslado de las válvulas a ensayar hasta la zona de prueba.
2. Llenado de la válvula con agua. Se debe purgar todo el aire.
3. Conexión y ajuste de las mangueras y accesorios a la válvula.
4. Presurización del sistema a baja presión para detectar posibles fugas, manteniéndose así durante 10 minutos. En este caso particular, el Cliente solicita realizar la prueba de baja a 300 psi.
5. Se eleva la presión del sistema a la máxima presión (1.5 de la presión de trabajo) y se mantiene durante 10 minutos. Si no se detectan fugas, se considera la prueba satisfactoria. En este caso particular, el Cliente solicita realizar la prueba de alta a 15000 psi.
6. Desfogue de la presión, vaciado y desconexión de la válvula.
7. Traslado de la válvula hasta el sector correspondiente acorde al resultado de la prueba.

En la Figura 54, se pueden observar una válvula durante la realización del ensayo con sus accesorios de conexión y equipo de presurización, junto con los manómetros analógico y digital para el control de la presión.



(a) Detalle del ensayo.



(b) Registro de presión.

Figura 54. Prueba hidrostática.

En particular, en el marco del proyecto, a los fines de evaluar la *performance* de la máquina de rectificado, se hicieron inicialmente las pruebas hidrostáticas de tres válvulas reparadas, de las cuales dos fueron satisfactorias. Conforme al análisis realizado para el caso de la válvula que no cumplió con el requerimiento indicado, se pudo constatar que se debió en principio a causas ajenas a la rectificación de los segmentos de asiento.

Una vez que la válvula ha superado satisfactoriamente la prueba hidrostática, es enviada al sector de pintura, donde los operarios proceden a quitar todo resto de grasa y suciedad limpiándolas con soplete, y luego se aplica pintura. Por último, se coloca la chapa de identificación, donde se especifican el tamaño, material, nombre de la empresa, ensayos y fecha. Con el certificado correspondiente la válvula se encuentra en condiciones para ser entregada al Cliente.

## **6. CONTRIBUCIONES Y FUTURAS LÍNEAS DE TRABAJO**

El trabajo desarrollado se enfocó en asegurar la funcionalidad de la máquina de rectificado de acuerdo con los objetivos propuestos. Los resultados obtenidos en el uso del sistema desarrollado se consideran satisfactorios para realizar las reparaciones de los segmentos de válvulas tipo tapón. Este trabajo abre diversas oportunidades para futuras investigaciones y mejoras:

- Implementar un sistema para el control de vibraciones para mejorar aún más la precisión del rectificado y prolongar la vida útil del equipo.
  - Explorar la incorporación de tecnologías de automatización en el proceso de rectificado, lo que podría aumentar la eficiencia y reducir la intervención manual, mejorando el desempeño del producto final.
  - Investigar la posibilidad de adaptar la máquina para otros tipos de válvulas o componentes industriales, ampliando su aplicabilidad y ofreciendo soluciones a un espectro más amplio de necesidades industriales.
  - Desarrollar programas de capacitación continua para los operadores y técnicos encargados de utilizar y mantener la máquina, asegurando un uso óptimo y eficiente del equipo a lo largo del tiempo.
-

## 7. CONCLUSIONES

Conforme a los resultados obtenidos, se puede concluir que se alcanzaron satisfactoriamente los objetivos, tanto generales como específicos, planteados para el Proyecto Integrador Profesional. El diseño y la fabricación de la máquina rectificadora, conforme a las pautas acordadas con el Comitente, permitieron realizar de manera adecuada, sencilla, económica y apta para el propósito, la rectificación de los segmentos de asiento, lo cual constituye una fase crítica en la reparación integral de las válvulas tipo tapón.

Por lo expuesto, el sistema desarrollado ofrece una solución robusta a las necesidades planteadas al inicio del proyecto. Es importante destacar como beneficio adicional el menor costo de inmovilización de capital en comparación con equipamientos similares disponibles en el mercado internacional.

La realización del proyecto fue una excelente oportunidad para aplicar de manera integrada, en un caso real, los conocimientos adquiridos en distintas asignaturas a lo largo de mi formación profesional. Además, me desafió y obligó a profundizar en determinados temas, recurrir al asesoramiento de terceros y ser creativo para buscar la mejor solución con los recursos y tiempos disponibles.

Asimismo, debo destacar que la participación en diversas reuniones, encuentros, tareas y actividades en talleres y laboratorios, junto con ingenieros y técnicos de gran experiencia, no solo me permitió aprender aspectos técnicos, sino también desarrollar y mejorar mis habilidades de comunicación.

---

---

## 8. REFERENCIAS

- Agarwal, S., & Rao, P. V. (2013). Predictive modeling of force and power based on a new analytical undeformed chip thickness model in ceramic grinding. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 65, 68-78.
- Anguiano Gamiño, J. L. (2003). *Ingeniería de Manufactura II*. ESIME.
- ANSI B74.2. (2003). *Specifications for shapes and sizes of grinding wheels, and for shapes, sizes and identification of mounted wheels*. American National Standards Institute (ANSI).
- API 599. (2020). *Specification for Flanged, Threaded, and Welding-End Metal Plug Valves*. American Petroleum Institute.
- API 607. (2019). *Fire Test for Hydrostatic Pressure Relief Valves*. American Petroleum Institute.
- API 6D. (2018). *Specification for Pipeline Valves*. American Petroleum Institute.
- API 6FA. (2020). *Standard for Fire Test for Valves*. American Petroleum Institute.
- API RP 53. (2017). *Recommended Practices for Blowout Prevention During Drilling Operations*. American Petroleum Institute.
- ASME B16.34. (2020). *Valves - Flanged, Threaded, and Welding End, for Pressure-Temperature Service*. American Society of Mechanical Engineers.
- ASTM E1003-20. (2020). *Standard Practice for Hydrostatic Leak Testing*. American Society for Testing and Materials.
- Chang, I., & Zhao, Y. (2013). *Advances in Powder Metallurgy*. Woodhead Publishing. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-85709-420-9.50021-0>
- enDAQ. (2020). *A comprehensive, user-centric Python API for working with enDAQ data and devices*. Midé Technology Corporation. [www.github.com/MideTechnology/endaq-python](http://www.github.com/MideTechnology/endaq-python)
- Groover, M. P. (2007). *Fundamentos de manufactura moderna: materiales, procesos y sistemas*. McGraw-Hill.
- Hagan, J. (2016). *Measuring vibration on precision grinding machines*. Norton abrasives. [www.nortonabrasives.com](http://www.nortonabrasives.com)
-

- ISO 4287. (1999). Geometrical product specifications (GPS). Surface texture. Profile method. Terms, definitions and surface texture parameters. *International Organization for Standardization*.
- ISO 5208. (2015). *Industrial valves - Pressure testing of metallic valves*. International Organization for Standardization.
- ISO 525. (2020). *Bonded abrasive products — Shape types, designation and marking*. International Organization for Standardization.
- Kalpakjian, S., & Schmid, S. R. (2002). *Manufactura, ingeniería y tecnología*. Pearson educación.
- Krar, S., Gill, A., & Smid, P. (2009). *Tecnología de las máquinas Herramientas*. Sexta edición, Editorial ALFAOMEGA.
- Malkin, S., & Guo, C. (2007). Thermal analysis of grinding. *CIRP annals*, 56(2), 760-782.
- MSS SP-78. (2011). *Gray Iron Plug Valves, Flanged and Threaded Ends*. Manufacturers Standardization Society of the Valve; Fittings Industry, Inc.
- NACE MR0175. (2015). *Selection and Qualification of Metallic Materials for Service in Petroleum and Natural Gas Production Equipment*. National Association of Corrosion Engineers.
- Nápoles Alberro, A. (2019). *Estudio de la energía específica consumida en el rectificado*. Universitat Politècnica de Catalunya.
- Niemann, G. (1971). *Elementos de máquinas: Vol. 1 (Vol. 1)*. Editora Blucher.
- Pahl, G., & Beitz, W. (2007). *Engineering Design - A Systematic Approach*. Springer-Verlag London.
- Preston, F. (1927). The theory and design of plate glass polishing machines. *J. Society of glass Tech.*, 11, 214.
- Riba, C. (2010). *Diseño Concurrente*. Ediciones UPC.
- Rowe, W. B. (2013). *Principles of modern grinding technology*. William Andrew.
- Spendolini, M. (1994). *Benchmarking*. AMACOM.
- Totten, G. E. (1992). ASM handbook, Volume 18: Friction, lubrication, and wear technology. *ASM international, Cleveland*.
- Ullman, D. (2010). *The Mechanical Design Process*. McGraw-Hill.
-

Ulrich, K., & Eppinger, S. (2015). *Product Design and Development*. Editorial Mc Graw-Hill.

---

## A. Anexo I: Segmentos a rectificar

### Especificación del material:

- Material: AISI-SAE 4130 (AISI-SAE 4140 opcional).
- Tratamiento Térmico: Nitrurado.
- Dureza: 50 HRC.

### Dimensiones generales:

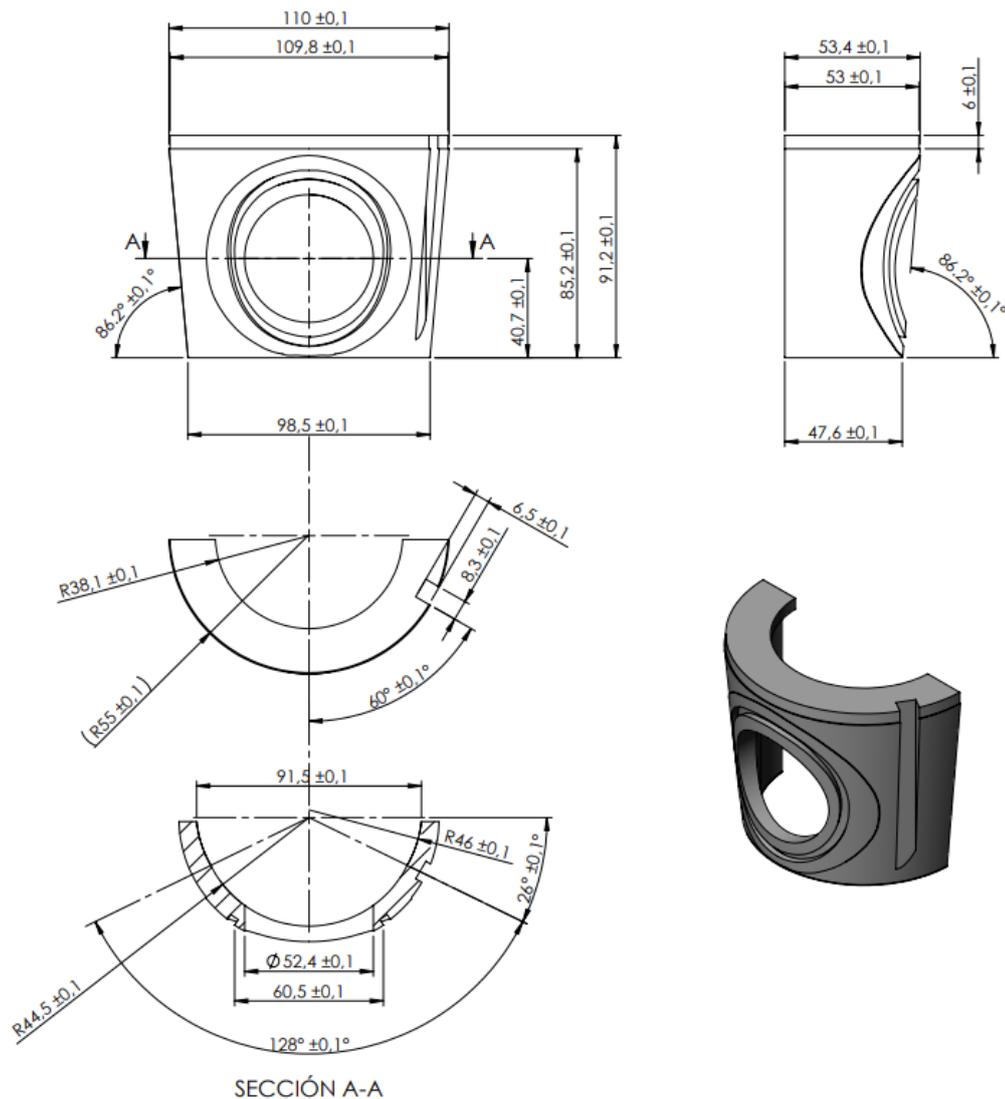


Figura 55. Dimensiones generales segmento válvula TSI 2".

---

## B. Anexo II: *Benchmarking*

### B.1. Rectificadora Portátil de Válvulas para Asientos Cónicos - Modelo VSK

La rectificadora portátil Modelo VSK ([www.efco-dueren.de](http://www.efco-dueren.de)), que se presenta en la Figura 56, es una herramienta diseñada para la reparación rápida y eficiente de los asientos de sellado cónicos en válvulas de alta presión, de cierre y de control. Es una máquina compacta y versátil que se puede utilizar tanto en el taller como en el campo.



Figura 56. Rectificadora Modelo VSK ([www.efco-dueren.de](http://www.efco-dueren.de)).

#### **Características principales:**

- Operación simple: su diseño intuitivo permite una fácil operación incluso para usuarios sin experiencia previa.
  - Mecanizado céntrico garantizado: el centrado se realiza mediante un cono de centrado o un mandril de tres mordazas, asegurando un rectificado preciso y uniforme.
  - Herramientas de bajo desgaste: utiliza herramientas resistentes al desgaste que prolongan la vida útil de la máquina y reducen los costos de mantenimiento.
  - Relación precio/rendimiento favorable: ofrece una excelente relación calidad-precio, lo que la convierte en una opción atractiva para empresas y talleres de todos los tamaños.
-

---

### Especificaciones Técnicas:

- Tipo de Accionamiento:
  - Eléctrico: 230/120 V, 50/60 Hz.
  - Neumático: 6-7 bar.
  - Batería: 18 V DC.
- Peso: 12 Kg.
- Rango de trabajo: DN 8-DN 300 (1/412").

### B.2. Máquina de Rectificado de Precisión de Alta Velocidad - Modelo VSA

En la Figura 57 se muestra la máquina de rectificado de precisión de alta velocidad Modelo VSA ([www.efco-dueren.de](http://www.efco-dueren.de)), la cual fue diseñada para el mecanizado preciso de asientos planos y cónicos en válvulas, bridas y otras piezas. Es una máquina robusta y versátil que se caracteriza por su alta velocidad, precisión y rendimiento.



Figura 57. Rectificadora Modelo VSA ([www.efco-dueren.de](http://www.efco-dueren.de)).

### Características principales:

- Alta velocidad: Permite un mecanizado rápido y eficiente, reduciendo el tiempo de ciclo y aumentando la productividad.
-

- **Precisión:** Garantiza un acabado de alta calidad con tolerancias estrechas, incluso en superficies complejas.
- **Flexibilidad:** Puede utilizarse para una amplia gama de aplicaciones, incluyendo el rectificado de asientos de válvulas planas y cónicas, bridas, etc.
- **Control preciso:** Cuenta con un sistema de control intuitivo que permite ajustar con precisión los parámetros de rectificado.
- **Robustez:** Su diseño robusto garantiza una larga vida útil y una alta resistencia al desgaste.

### **Especificaciones Técnicas:**

- Rango de trabajo: DN 20-150 mm (3/46").
- Profundidad de inmersión: 250 mm (9.8").
- Diámetro de sujeción: 200-540 mm (7,921,3").
- Accionamiento: Neumático (6-7 bar).

### **B.3. Rectificadora Portátil para Torno**

La rectificadora portátil para torno, de la marca Tecno Maquinaria ([www.ditoma.ar](http://www.ditoma.ar)), se presenta en la Figura 58. Es una herramienta diseñada para el rectificado preciso de bancadas de torno y chavetas en máquinas herramienta.



Figura 58. Rectificadora Portátil para Torno ([www.ditoma.ar](http://www.ditoma.ar)).

**Características principales:**

- Diseño compacto y portátil: su tamaño compacto y peso ligero la hacen ideal para su uso en espacios reducidos y para su transporte a diferentes ubicaciones.
- Precisión de rectificado: garantiza un acabado de alta calidad en las superficies rectificadas, con tolerancias estrechas.
- Facilidad de uso: su diseño intuitivo y controles sencillos facilitan su uso, incluso para operadores sin experiencia previa.
- Versatilidad: se puede utilizar para rectificar bancadas de torno de diferentes tamaños y chavetas de diversas dimensiones, entre otros.
- Robustez: su construcción robusta garantiza una larga vida útil y una alta resistencia al desgaste.
- Accesorios: incluye una amplia gama de accesorios, como herramientas abrasivas, mordazas de sujeción, mesas de trabajo y sistemas de aspiración.

**Especificaciones Técnicas:**

- Potencia eléctrica: 1 HP.
  - Avance máximo: 250 mm.
  - Velocidad máxima: 19000 rpm.
  - Peso: 15 Kg.
  - Precio de referencia: 2000 U\$D.
-