



# ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL



## FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

**TEMA: DISEÑO DE UNA MAQUINA PARA ELIMINAR LA  
CASCARILLA DE LA PALANQUILLA MEDIANTE EL USO DE  
CHORRO DE AGUA.**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERO MECÁNICO**

**PARDO BRAVO EDER PAUL**

**eder.pardo@epn.edu.ec**

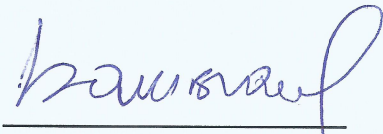
**DIRECTOR: ING. IVÁN ZAMBRANO OREJUELA, M.Sc.**

**ivan.zambrano@epn.edu.ec**

**Quito, enero del 2023**

## CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por **Pardo Bravo Eder Paul**, bajo mi supervisión.



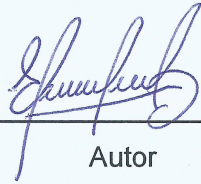
Ing. Iván Zambrano Orejuela M.Sc.

**DIRECTOR DE PROYECTO**

## DECLARACIÓN

Yo, **Pardo Bravo Eder Paul**, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondiente a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.



---

Autor

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo de titulación se lo dedico a Dios por bendecirme con existencia y salud, durante todo este proceso. A mi madre por estar junto a mí en este periodo de mi vida, por brindarme amor, educación y no permitir rendirme. A mis hermanas Margoth, Gisela y Mishell que siempre aportaron su grano de arena durante mis estudios.

A mis sobrinos Miller, Arianna, Micaela, Camille y Evelyn, por dar un giro de 180° en mi vida y tener otra perspectiva de la vida, verlos crecer junto a mi es una de las bendiciones que me puede dar Dios.

A la familia Pardo Chuquirima, Pardo Navarrete y Pardo Jiménez, formaron parte en diferentes etapas de mi educación, siempre recibiendo su apoyo moral y siendo guías en aspectos de crecimiento personal y profesional.

## AGRADECIMIENTO

Agradecido a Dios, por permitir en toda esta etapa tener salud y que mi núcleo familiar se mantenga a mi lado. A mi madre por enseñarme diferentes valores que a lo largo de la vida siguen siendo puestos en prácticas dando buenos resultados.

A mis hermanas Margoth, Gisela y Mishell, por siempre estar conmigo, en las buenas y malas decisiones ser mi soporte.

A mi director de tesis Ing. Iván Zambrano, M. Sc, por ser una guía durante este trayecto, compartir conocimiento, despejar las dudas que se presentaron y tener paciencia ante diferentes problemas que se generaron a lo largo de la elaboración del presente trabajo de titulación.

A la empresa Novacero S.A planta Lasso, su directorio por permitir realizar pasantías y al Ing. Luis Herrera jefe de proyectos y todo el equipo, por compartir su conocimiento y experiencia durante mi etapa en la empresa.

A la Ing. Patricia Calero gerente de la empresa VeatPetroleum, por la experiencia de desarrollo en el área de trabajos de verificación donde se aplica ingeniería mecánica.

Al Ing. Iván Osorio, por la oportunidad de adquirir conocimiento en diferentes áreas de ingeniería mecánica, seguir ganando experiencia y desarrollo profesional.

A Galo Tenelema y Ricardo Trujillo, agradecerles por su amistad brindada durante toda la carrera, caímos y supimos levantarnos al mismo sin ningún interés, siempre estuvieron en las buenas y malas situaciones que se presentaron.

# ÍNDICE

CERTIFICACIÓN.....	ii
DECLARACIÓN.....	iii
DEDICATORIA .....	iv
AGRADECIMIENTO .....	v
1. MARCO TEÓRICO.....	15
1.1    Conceptos fundamentales.....	15
1.1.1    Laminación.....	15
1.1.2    Palanquilla .....	16
1.1.3    Cascarilla .....	17
1.2    Eliminación de cascarilla de la palanquilla.....	18
1.2.1    Métodos de limpieza superficial .....	18
1.3    Benchmarking .....	22
1.4    Bombas hidráulicas.....	24
1.4.1    Bombas reciprocantes de desplazamiento positivo .....	24
1.4.2    Bombas centrifugas. ....	25
1.5    Elementos mecánicos y accesorios.....	26
1.5.1    Válvulas .....	26
1.5.2    Amortiguador de pulsaciones (Dampeners) .....	27
1.6    Tuberías.....	28
1.7    Diagrama de procesos e instrumentación (P&ID).....	29
2. METODOLOGÍA .....	30
2.1    Determinación de especificaciones .....	31
2.1.1    Voz de usuario y voz del ingeniero.....	31

2.1.2	Casa de la calidad.....	32
	Resultados de la casa de la calidad. ....	32
2.1.3	Especificaciones técnicas .....	33
2.1.4	Análisis funcional .....	33
2.1.5	Estructura Funcional .....	34
2.2	Solución de alternativas para cada módulo .....	34
2.2.1	Modulo 1: Selección de bomba y tipo de arranque del motor. ....	34
2.2.2	Modulo 2: Control y presurización .....	39
2.2.3	Modulo 3: Cabina protectora .....	51
2.2.4	Solución virtual.....	52
2.3	Cálculos hidráulicos .....	52
2.3.1	Dimensionamiento línea de descarga .....	54
2.3.2	Dimensionamiento línea de succión.....	57
2.3.3	Numero de Reynolds ( $N_R$ ).....	58
2.3.4	Perdidas menores y energía .....	60
2.4	Selección de la boquilla y dimensionamiento del anillo. ....	63
2.4.1	Impacto de las boquillas de aspersion plana.....	64
2.5	Dimensionamiento de la cabina protectora.....	66
2.6	Protocolo de pruebas .....	69
2.6.1	Encendido y control de la máquina. ....	69
2.6.2	Control de vibraciones .....	70
2.6.3	Eliminación de cascarilla .....	71
	CABEZAL DESCASCARILLADOR .....	72
	PALANQUILLA.....	72

2.7	Análisis de costos .....	73
3.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	76
4.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	78
4.1	Conclusiones .....	78
4.2	Recomendaciones .....	78
4.3	Líneas futuras .....	79
5.	REFERENCIAS.....	79

### ÍNDICE TABLAS

Tabla 1.	Dimensiones de tuberías.....	28
Tabla 2.	Tipos de demanda del usuario .....	32
Tabla 3.	Especificaciones técnicas .....	33
Tabla 4.	Evaluación del tipo de bomba de cada criterio .....	38
Tabla 5.	. Evaluación del tipo de bomba del criterio presión del trabajo. ....	38
Tabla 6.	Evaluación del tipo de bomba del criterio costo.....	38
Tabla 7.	Evaluación del tipo de bomba criterio consumo de energía.....	38
Tabla 8.	Evaluación del tipo de bomba del criterio mantenimiento .....	38
Tabla 9.	Conclusiones del módulo 1 .....	39
Tabla 10.	Evaluación del equipo para la reducción de vibraciones de cada criterio ....	42
Tabla 11.	Evaluación del equipo para el control de vibraciones del criterio reducción de vibraciones.....	42
Tabla 12.	. Evaluación del equipo para el control de vibraciones del criterio presión de trabajo .....	42
Tabla 13.	Evaluación del equipo para el control de vibraciones del criterio mantenimiento .....	42
Tabla 14.	Conclusiones del control de pulsaciones .....	42
Tabla 15.	Evaluación del equipo para el control de flujo de cada criterio.....	44
Tabla 16.	Evaluación del equipo para el control de flujo del criterio presión de trabajo	44
Tabla 17.	Evaluación del equipo para el control de flujo del criterio caudal .....	44
Tabla 18.	Evaluación del equipo para el control de flujo del criterio costo .....	44



Tabla 19.	Evaluación del equipo para el control de flujo del mantenimiento .....	45
Tabla 20.	Conclusiones válvula de control de flujo .....	45
Tabla 21.	Evaluación del equipo para el anillo descascarillador de cada criterio ...	46
Tabla 22.	Evaluación del equipo para el anillo descascarillador del criterio facilidad de construcción.....	47
Tabla 23.	Evaluación del equipo para el anillo descascarillador del criterio acceso de materiales .....	47
Tabla 24.	Evaluación del equipo para el anillo descascarillador del criterio facilidad de montaje .....	47
Tabla 25.	Conclusiones anillo descascarillador.....	47
Tabla 26.	Evaluación del equipo para el tipo de boquilla según su pulverización de cada criterio .....	50

## ÍNDICE FIGURAS

Figura 1.	Esquema del proceso de laminación.....	15
Figura 2.	Palanquilla o Billet.....	17
Figura 3.	.....	17
Figura 4.	Óxido de Hierro (Cascarilla o Calamina) .....	17
Figura 5.	Método de limpieza superficial .....	18
Figura 6.	Descascarillado de palanquilla mediante chorros de agua .....	19
Figura 7.	Aspersión cono hueco.....	19
Figura 8.	Chorro de agua con boquilla de cono lleno .....	20
Figura 9.	Chorro de agua solido .....	20
Figura 10.	Chorro de agua solido .....	21
Figura 11.	Aplicación de Sand Blasting .....	21
Figura 12.	Máquina para eliminar palanquilla modelo Wheelabrator.....	22
Figura 13.	Máquina para eliminar cascarilla modelo Hermetik.....	23
Figura 14.	Esquema de clasificación de los tipos de bombas hidráulicas .....	24
Figura 15.	Bomba de embolo .....	25
Figura 16.	Amortiguador de pulsaciones .....	27
Figura 17.	Esquema de un P&ID .....	29
Figura 18.	Metodología para la construcción de la máquina para eliminar la cascarilla de la palanquilla .....	30
Figura 19.	Función Global .....	34

Figura 20.	Estructura funcional .....	34
Figura 21.	Esquema de selección de bombas .....	35
Figura 22.	Alternativas de solución modulo 1 .....	36
Figura 23.	Bomba centrífuga .....	36
Figura 24.	Bomba reciprocante de embolo .....	37
Figura 25.	Idea conceptual .....	39
Figura 26.	Alternativas de solución modulo 2 .....	40
Figura 27.	Amortiguador de pulsaciones .....	41
Figura 28.	Manguera Flexible .....	41
Figura 29.	Anillo rectangular .....	45
Figura 30.	Anillo circular .....	46
Figura 31.	Pulverización cono lleno .....	48
Figura 32.	Pulverización plana.....	48
Figura 33.	Pulverización con hueco.....	49
Figura 34.	Bomba de embolo .....	51
Figura 35.	Vista Frontal .....	52
Figura 36.	Vista Superior BD .....	52
Figura 37.	Bomba Triplex 125 T M-4 .....	53
Figura 38.	Esquema para calcular perdidas menores.....	61
Figura 39.	Dimensiones de la palanquilla. ....	63
Figura 40.	Vista lateral cabezal descascarillador. ....	64
Figura 41.	Vista frontal cabezal descascarillador. ....	64
Figura 42.	Esquema de distribución de flujo por boquilla .....	65
Figura 43.	Camino de rodillos. ....	66
Figura 44.	Puerta salida de palanquilla desde el horno hacia el camino de rodillos.67	
Figura 45.	Posición de la cabina.....	68
Figura 46.	Cabina protectora 3D.....	68
Figura 47.	Esquema encendido y control.....	69
Figura 48.	Ciclo de funcionamiento de la maquina tubería .....	77
Figura 49.	Funcionamiento del sistema descadillador/ desde la cabina.....	77

## RESUMEN

La empresa Novacero S.A planta Lasso, se encuentra en la implementación de un nuevo tren de laminación en caliente, denominado "Tren A". El nuevo tren de laminación ofrecerá varillas corrugadas de diferentes diámetros y alambros. En los procesos de laminación en caliente antes de iniciar la conformación, al material de trabajo (palanquilla) se lo calienta en un horno a una temperatura superior a la de recristalización para obtener una estructura maleable y fácil de conformar. Dentro del horno se empieza a formar capas óxidos de hierro en la superficie y a la salida del mismo por contacto con el medio ambiente estas capas siguen incrementando. Las capas de óxido de hierro se las conoce como calamina o cascarilla, las cuales afectan a las propiedades mecánicas del producto final. La empresa Novacero S.A planta Lasso en búsqueda de eliminar las capas de óxido de hierro desea implementar una máquina o sistema que se adapte a la demanda de producción y logre eliminar las capas de óxido, de las 4 caras superficiales de la palanquilla.

En el presente trabajo de titulación se presentan diferentes métodos de limpieza superficial para la palanquilla y siendo seleccionada la eliminación de óxido de hierro mediante el uso de chorro de agua (Waterjetting), al presentar mayores ventajas en el tiempo útil de la máquina. El diseño se basó en realizar un diagrama de procesos e instrumentación (P&Id), en el cual se planteó la idea conceptual de los equipos necesarios para la eliminación de las capas de óxido, estos equipos fueron una bomba de agua de alta presión, válvula de control, seguridad y boquillas de aspersion plana útiles para este servicio. Posteriormente, seleccionados los equipos se realizó el dimensionamiento de las tuberías y espesor (Schedule) de las mismas mediante la norma ASME B31.3. Se realizó un análisis de pérdidas de energía mediante las ecuaciones recomendadas por la mecánica de fluidos.

**Palabras clave:** laminación, cascarilla, palanquilla.

## ABSTRACT

The company Novacero S.A Lasso plant is in the process of implementing a new hot rolling mill, called "Train A". The new rolling mill will offer rebar of different diameters and wire rod. In hot rolling processes, before starting forming, the work material (bill) is heated in an oven at a temperature higher than the recrystallization temperature to obtain a malleable structure that is easy to form. Inside the furnace, iron oxide layers begin to form on the surface and when it comes out of it, due to contact with the environment, these layers continue to increase. Iron oxide layers are known as calamine or scale which affect the mechanical properties of the final product. The company Novacero S.A flat Lasso in search of removing the iron oxide layers wants to implement a machine that adapts to the production demand and manages to remove the layers of the 4 superficial faces of the billet.

In the present titling work, different methods of superficial cleaning for the billet are presented and the removal of iron oxide by the use of water jet (Waterjetting) is selected, as it presents greater advantages in the useful time of the machine. The design was based on making a process and instrumentation diagram (P&Id), in which the conceptual idea of the necessary equipment for the elimination of oxide layers was raised, this equipment was a high-pressure water pump, valves of control, security and useful nozzles for this service. Subsequently, after selecting the equipment, the sizing of the pipes and their thickness (Schedule) was carried out using the ASME B31.3 standard. An analysis of energy losses was carried out using the equations recommended by fluid mechanics.

**Keywords:** rolling, hell, billet.

# **DISEÑO DE UNA MAQUINA QUE PERMITA ELIMINAR LA CASCARILLA DE LA PALANQUILLA, MEDIANTE EL USO DE CHORRO DE AGUA.**

## **INTRODUCCIÓN**

### **Planteamiento del problema**

La laminación es un proceso de formado que se produce en una sola dirección del espacio, que consiste en el cambio de sección transversal o reducir el espesor de una pieza larga mediante fuerzas de compresión aplicadas por un conjunto de rodillos. La temperatura de trabajo es uno de los factores que permiten clasificar en procesos de laminación en caliente o en frío.

Actualmente, la empresa Novacero S.A planta Lasso, se encuentra en la implementación de un nuevo tren laminación en caliente, el problema o desventaja que presenta mencionado proceso es la formación de capas de cascarilla/calamina por oxidación del hierro a altas temperaturas , la cascarilla se la define como un defecto superficial e indeseable en el proceso de laminación en caliente debido a que afectan las propiedades mecánicas del producto final, y además , degradan la apariencia de la superficie.

Por tales razones, el presente trabajo de titulación pretende realizar el diseño de un sistema/máquina eficaz que permita eliminar la cascarilla de la palanquilla, mediante el uso de chorro de agua a alta presión y garantice una superficie libre de cascarilla.

El diseño de la máquina consiste en un sistema de bombeo para obtener el chorro de agua, un cabezal descascarillador donde se instalarán boquillas de alta presión, que permitan la eliminación de cascarilla de cada cara superficial de la palanquilla, además se requiere del diseño de una cabina protectora la cual no permita que los residuos de la cascarilla se dispersen alrededor del anillo descascarillador.

## **Objetivo general**

Diseñar una máquina que permita eliminar la cascarilla de la palanquilla mediante el uso de chorro de agua.

## **Objetivos específicos**

- Definir los elementos y equipos mecánicos que constituyen el proceso de eliminación de cascarilla de la palanquilla, así como los servicios que van a prestar los mismos.
- Generar alternativas de procesos o máquinas para eliminar la cascarilla de la palanquilla de manera funcional.
- Determinar la presión, caudal, velocidad y diámetro de las tuberías que forman parte del proceso de eliminación de cascarilla.
- Diseñar un diagrama de tuberías e instrumentación (P&ID), en el cual se exprese el proceso de eliminación de cascarilla e identifique todos los elementos y equipos que formen parte del mismo

## **Alcance**

Mediante el uso de chorro de agua, considerado un método mecánico-hidráulico, se realizará el diseño de una máquina que permita eliminar las capas de cascarilla que se generan en la palanquilla durante el procedimiento de laminación en caliente. Se realizará el dimensionamiento de la tubería de succión y descarga de la bomba y selección de equipos mecánicos para obtener el correcto funcionamiento de la máquina. Con el uso de un diagrama de procesos e instrumentación se definirá en primera instancia los equipos, accesorios e instrumentos necesarios para el funcionamiento correcto de la maquina y definir su ubicación. Definido toda la parte hidráulica, flujo, presiones mediante el uso de catálogos se selecciona el tipo de boquilla para esta aplicación y los parámetros necesarios para su correcto funcionamiento. Finalmente, definido el tipo de boquilla y las dimensiones del cabezal donde van ubicadas las mismas, se dimensiona la cabina protectora la cual funciona como anclaje del cabezal, protección de dispersión de residuos de cascarilla por al área donde está ubicado el cabezal y además brindar protección al personal.

# 1. MARCO TEÓRICO

## 1.1 Conceptos fundamentales

### 1.1.1 Laminación

Según Katpakjian et all en su libro “Manufactura, ingeniería y tecnología”: La laminación es un proceso de conformado en el cual mediante fuerzas de compresión ejercidas por un conjunto de rodillos que giran de manera opuesta se reduce el espesor del material de trabajo (palanquilla). Existen diferentes procesos de laminado como pueden ser laminado plano en el cual se obtiene planchas, laminado de forma (perfiles), laminado de cuerdas, laminados de anillos, laminado de tuberías con y sin costura.

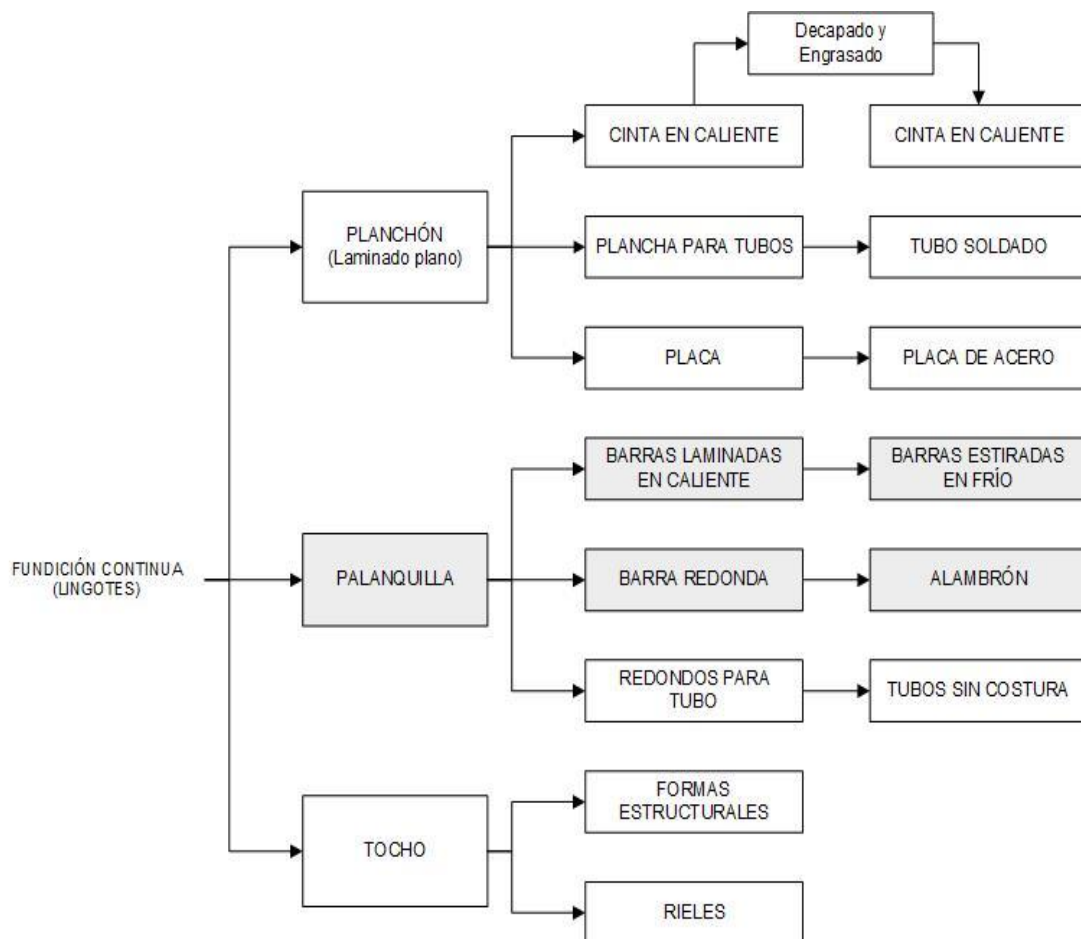


Figura 1. Esquema del proceso de laminación.

(Fuente: Kalpakjian,2008)

Generalmente, la temperatura de trabajo permite definir si es una laminación en caliente o en frío.

### **Laminación en frío**

La laminación en frío se realiza a temperatura ambiente produce laminas y cintas de mejor acabado superficial (ausencia de cascarilla) (KALPAKJIAN,2008, pág. 355).

### **Laminación en caliente**

La laminación en caliente realiza los pasos iniciales de laminado del material por encima de la temperatura de recristalización del metal. La laminación en caliente convierte la estructura fundida en maleable con granos más finos y ductilidad mejorada. Los intervalos característicos de temperatura de laminación en caliente 450 °C a 1250 °C para aceros. (Enriquez, Tremps, De Élio, & Fernandez, 2010)

Los productos más comunes son placas, barras, varillas, perfiles estructurales, etc. Los productos laminados en caliente presentan superficies ligeramente rugosas cubiertas de óxido conocido como cascarilla o calamina. Las tolerancias dimensionales se sitúan entre el 2 y 5 %. (Roledo, 2013).

La laminación en caliente presenta desventajas, una de estas es la presencia de óxido característico en la superficie externas de la palanquilla. Este óxido se le conoce como cascarilla o calamina que afecta a las propiedades mecánicas y no permite que el producto se mantenga en tolerancias adecuadas.

#### **1.1.2 Palanquilla**

Según (Salazár, 2019): La palanquilla o también llamada billet, es un producto semi-terminado de acero, cuya parte transversal puede tener diferentes dimensiones. Son habitualmente usados para la laminación de productos largos, como barras de acero para concreto armado, alambón, perfiles estructurales, pequeños y medianos, ángulos y tubos, así como en la forja de autopartes.





Figura 2. Palanquilla o Billet.

(Fuente: Novacero)

### 1.1.3 Cascarilla

Es la formación de capas de oxido en la superficie del acero al producirse la reacción del oxígeno ambiental con el metal caliente produciéndose el óxido de hierro, este proceso ocurre después de la colada, durante el recocido y laminación en caliente. (Salazar, 2019).

El proceso de cascarilla según Henao y Restrepo se obtiene en tres etapas: en la primera etapa el oxígeno es absorbido en la superficie del acero, en la segunda etapa, se obtiene una película fina de óxidos, después de ello se forman núcleos de óxido en la superficie, los mismos que se expanden y crecen e incrementan su velocidad de crecimiento eventualmente. En la etapa final se produce el crecimiento de la capa de óxidos constituyente de la cascarilla.



Figura 4. Óxido de Hierro (Cascarilla o Calamina)

(Fuente: Novacero S.A)

## 1.2 Eliminación de cascarilla de la palanquilla

La revista inglesa (Wheelabrator, 2019) nos dice que la eliminación de cascarilla es un mecanismo importante en los procesos de laminación en caliente ya que permite al material de trabajo tener una superficie libre de cascarilla u otros contaminantes. Para la eliminación de cascarilla se pueden utilizar métodos químicos o mecánicos.

### 1.2.1 Métodos de limpieza superficial

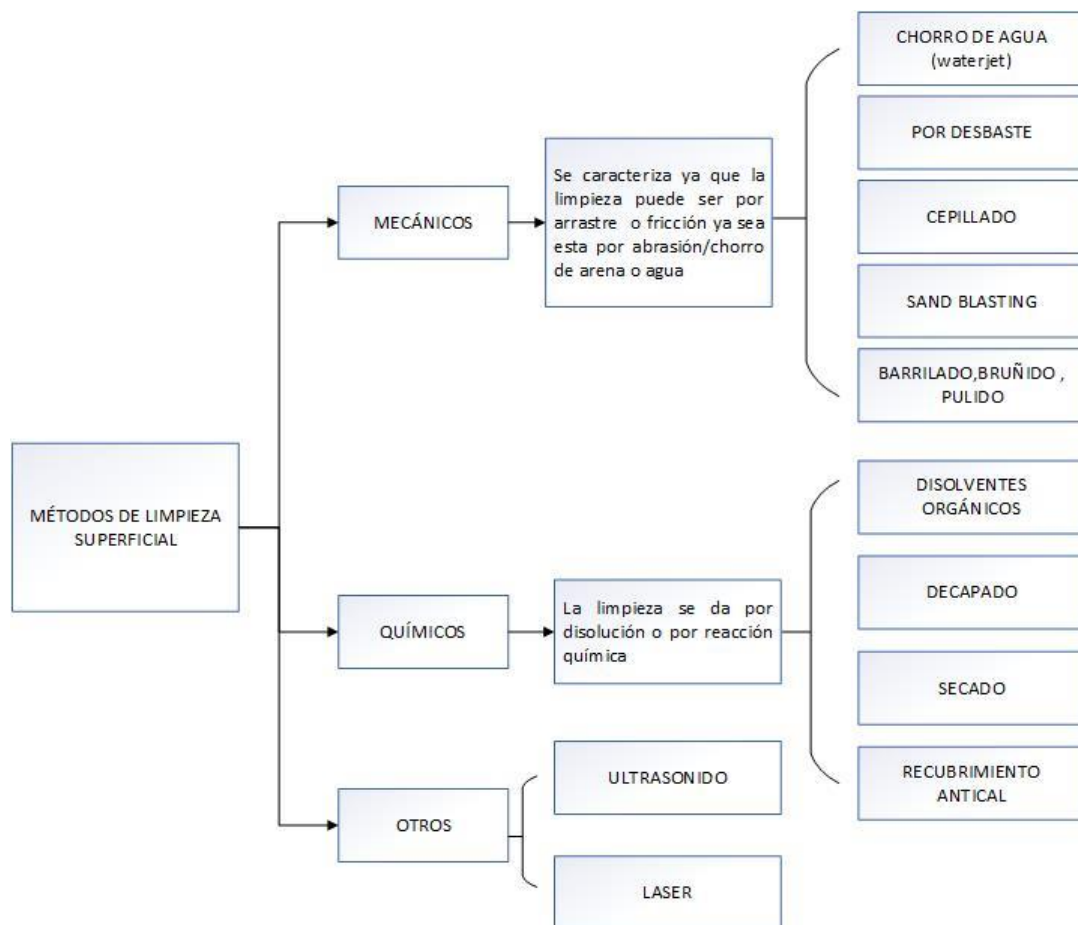


Figura 5. Método de limpieza superficial  
(Fuente: Propia)

#### 1.2.1.1 Método Químico

##### Decapado

El decapado es un proceso que permite eliminar la cascarilla de metales ferrosos mediante el uso de una solución de ácido sulfúrico o clorhídrico. (Chavez, 2016)

### 1.2.1.2 Método mecánico

#### **Eliminación de cascarilla hidromecánica (Waterjetting)**

Es un proceso en el cual se logra la limpieza de la superficie de la palanquilla mediante el uso de un chorro de agua presurizado en un rango de presión 80 a 450 [bar] (Lechler, 2016).

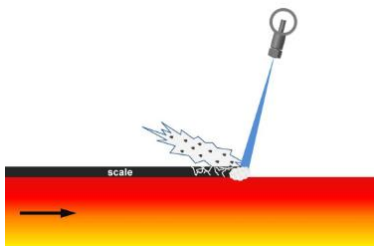


Figura 6. Descascarillado de palanquilla mediante chorros de agua  
(Fuente: MUNZ JOCHEN)

En la eliminación de cascarilla es importante conocer los tipos de aspersiones que existen y seleccionar la más óptima para este tipo de aplicaciones. A continuación, se mencionan los tipos de aspersiones que existen a partir de las boquillas.

- Cono Hueco

Este tipo de aspersión forma un patrón circular en forma de anillo en la sección en la cual va hacer aplicada, puede producir gotas pequeñas y en la industria se las utiliza para insecticidas, sistemas contra incendios y sistemas de refrigeración.

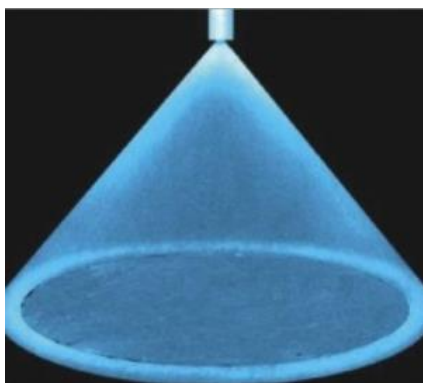


Figura 7. Aspersión cono hueco  
(Fuente: Induservicesecuador)

- Cono lleno

Produce gotas más gruesas y un patrón circular lleno sobre la superficie aplicada o la zona donde será utilizada este tipo de aspersión. Es común ver este tipo de aspersiones en tratamientos contra polvo, lavado automotriz.

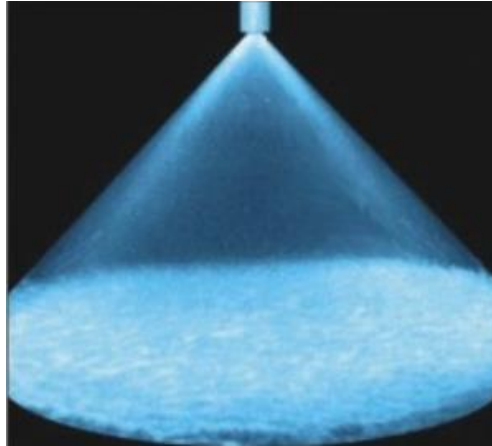


Figura 8. Chorro de agua con boquilla de cono lleno  
(Fuente: Induservicesecuador)

- Chorro solido

Presenta una forma como aguja sobre la superficie, entre sus aplicaciones encontramos para cortar mediante chorro de agua.

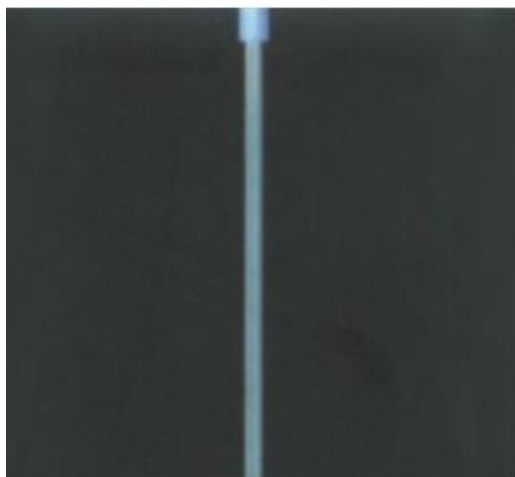


Figura 9. Chorro de agua solido  
(Fuente: Induservicesecuador)

- Aspersión plana

Se caracteriza por mantener una distribución uniforme en el área pulverizada, lo que permite eliminar la cascara, para este tipo de aplicación es importante considerar el ángulo de trabajo, para que cumpla un trabajo eficiente.



Figura 10. Chorro de agua sólido  
(Fuente: Induservicesecador)

### **Desbaste**

Desbastar es eliminar la rugosidad en la superficie de un material y se lo puede lograr de distintas maneras, una es el mecanizado mediante el arranque de viruta y otra mediante deslizamiento.

### **Chorro de arena (Sand blasting)**

Es el proceso en el cual se utiliza un abrasivo granulado que es expulsado de una boquilla mediante aire comprimido hacia la superficie de la palanquilla, logrando de esta manera eliminar la cascarilla/calamina.



Figura 11. Aplicación de Sand Blasting  
(Fuente: Propia)

### 1.3 Benchmarking

#### **Maquinas actuales para eliminar cascarilla de la palanquilla en el Ecuador.**

En el Ecuador existen varias empresas dedicadas a la laminación en caliente y su proceso de eliminación de cascarilla de la palanquilla es privada, por lo cual no se obtiene una información exacta que procesos utilizan para mencionada aplicación. En el país no se cuenta con el registro de una empresa que fabrique y venda máquinas para eliminar la cascarilla de la palanquilla.

#### **Maquinas actuales para eliminar cascarilla de la palanquilla en el extranjero.**

Mediante el levantamiento de información en artículos y catálogos se obtuvo información de diferentes tipos de máquinas, a continuación, se las presenta:

#### Wheelabrator (Estados Unidos)

##### Características

- Puede eliminar cascarilla de una palanquilla o de una barra circular.
- Su funcionamiento se basa en el uso en serie de turbinas de flujo abrasivo.
- Eficiente uso de energía, gracias la regulación de flujo abrasivo.
- Adaptables al cambio de producción.
- Bajo costos de producción.
- Larga vida útil.



Figura 12. Máquina para eliminar palanquilla modelo Wheelabrator  
(Fuente: Wheelabrator)

## Hermetik Descaling (Alemania)

### Características:

- Eliminación de cascarilla mediante el uso de chorro de agua a alta presión.
- Cuenta con boquilla de aspersión plana para la aplicación.
- Su aplicación es solo para palanquillas, en caso de cambiar de producción no se adapta.



Figura 13. Máquina para eliminar cascarilla modelo Hermetik  
(Fuente: Hermetik Descaling) (ingots, 2017)

## 1.4 Bombas hidráulicas.

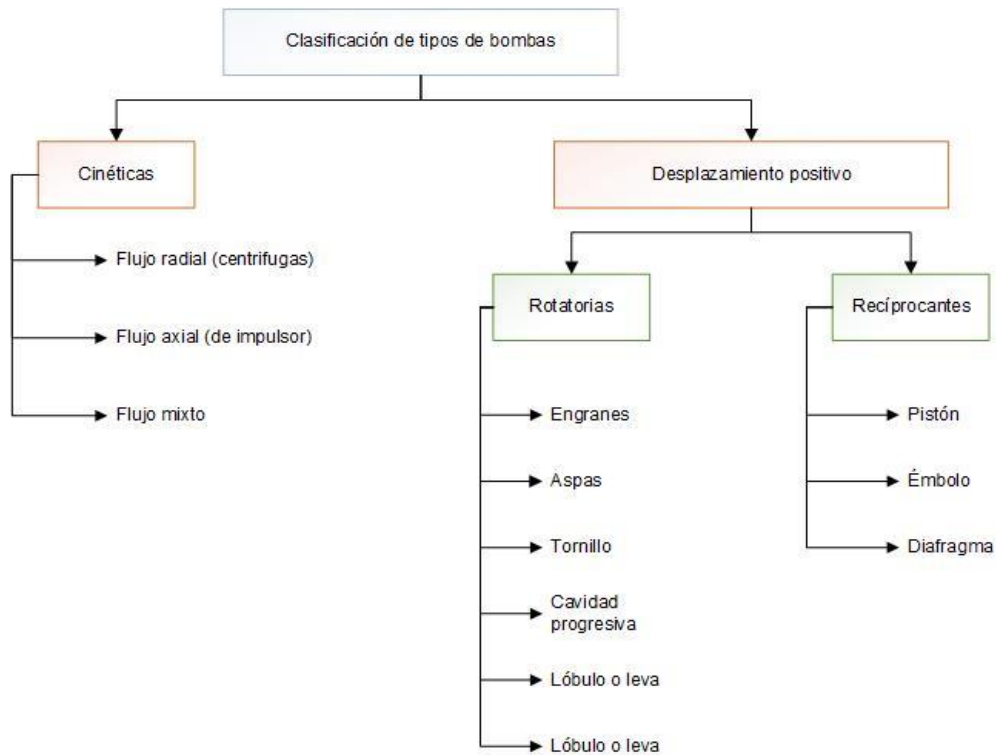


Figura 14. Esquema de clasificación de los tipos de bombas hidráulicas  
(Fuente: Propia)

Según su caudal las bombas pueden ser de caudal fijo y variable, las de caudal fijo entregan el mismo volumen por unidad de tiempo, las de caudal variable cuentan con la ventaja de variar el volumen por unidad de tiempo sin disminuir la velocidad de giro.

### 1.4.1 Bombas recíprocantes de desplazamiento positivo

Existen diferentes tipos de bombas de desplazamiento positivo sin embargo todas mantienen el mismo principio de funcionamiento, al succionar el flujo este ingresa a un volumen de expansión y para la descarga este volumen se contrae, la diferencia o clasificación de este tipo de bombas es en el mecanismo que provoca el cambio de volumen. Las bombas de desplazamiento positivo presentan varias aplicaciones para sistemas que requieran trabajar a alta presión o bombeo de lodos, líquidos viscosos y aplicaciones médicas. (Cengel & Cimbala, 2018)



#### 1.4.1.1 Bombas de pistón o embolo

Mott y Untener especifican en su texto de Mecánica de Fluidos que los émbolos llevan en forma alternada el fluido al interior de sus cilindros a través de válvulas de succión, y luego lo fuerzan a salir por una válvula de descarga contra la presión del sistema. La entrega del fluido varia de cero a máximo. (Mott & Untener, Mecanica de fluidos, 2015)



Figura 15. Bomba de embolo  
(Fuente: PCM)

El rendimiento volumétrico  $n_v$  oscila entre 0.85 a 0.99. (Mataix, 1986)

#### **Tipos de bombas de émbolo**

Este tipo de bombas se clasifica en simplex, multiplex, dúplex, triplex y cuádruplex. La bomba triplex cuenta con 3 bombas de simple efecto que consta de tubos de succión y descarga comunes.

El principio de funcionamiento de la bomba de desplazamiento positivo de pistón y embolo es similar la diferencia entre las mismas es la presión que pueden generar siendo la de émbolos la que llega a presiones más altas.

#### **1.4.2 Bombas centrifugas.**

Fluideco España nos dice que una bomba centrífuga es aquella máquina, también denominada bomba rotodinámica, cuyo objetivo es convertir la energía en velocidad y posteriormente en energía a presión. Es decir, transforman la energía mecánica en energía hidráulica. De esta manera, puede mover el mayor volumen de líquido posible.

## **1.5 Elementos mecánicos y accesorios**

### **1.5.1 Válvulas**

Las válvulas se pueden definir como aparatos mecánicos que tienen diferentes funciones, según su categoría permiten iniciar, regular, controlar, aliviar, mantener la dirección de flujo y cerrar la circulación de un líquido o gas. A continuación, se señalan las categorías a las cuales recaen los tipos de válvulas:

#### **Válvula de compuerta**

Son válvulas de cierre o apertura de la conducción de flujo, pueden soportar altas presiones y temperatura.

#### **Válvula de mariposa**

Las válvulas de mariposa permiten regular flujo y la apertura o cierre total de la circulación de fluido.

#### **Válvula de bola**

Este tipo de válvulas son excelentes en aplicaciones de bloque, su operación es ON/OFF, por lo que no es recomendable su uso en control de flujo.

#### **Válvula de globo**

Al igual que las válvulas de mariposa permiten regular la cantidad de circulación de flujo.

#### **Válvula de control**

Son válvulas que permiten controlar el flujo y presión en caso de ser necesario, existen diferentes tipos de estas válvulas, pueden ser activadas neumáticamente o hidráulicamente y perciben señal eléctrica para su funcionamiento mediante la programación establecida en el diseño.

#### **Válvula Check**

El objetivo principal de este tipo de válvulas es que la dirección de flujo se mantenga en un solo sentido, al existir un cambio de dirección se acciona automáticamente por gravedad el cierre de la misma.

## Válvula de seguridad

La válvula de seguridad o PSV (Pressure safety valve) en sus siglas en inglés, se utilizan para evitar controlar la presión en equipos o líneas evitando daños a la integridad de la línea y personal operativo, a causa de una sobrepresión que se pueda presentar en el sistema.

### 1.5.2 Amortiguador de pulsaciones (Dampeners)

Según el portal (Notas-Fampro, 2016) el amortiguador de pulsaciones es un equipo que se utiliza en la succión y descarga de bombas de desplazamiento positivo de pistón y diafragma durante su funcionamiento. Este equipo ofrece protección a las bombas ya que tienen como objetivo minimizar o reducir las vibraciones y pulsaciones que se generan en el funcionamiento de la bomba. Estas pulsaciones son destructivas ya que pueden generar un choque hidráulico en la bomba y afectar a los sistemas de tuberías.

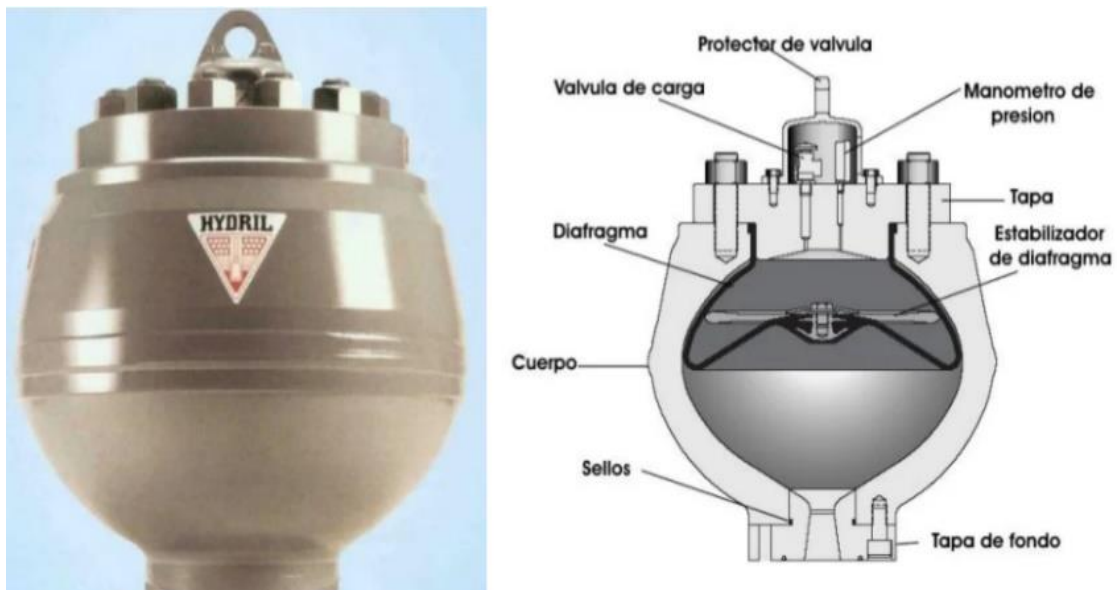


Figura 16. Amortiguador de pulsaciones  
(Fuente: Hydril)

El sitio web de (Hidracar S.A, 2019) define al amortiguador de pulsaciones como un recipiente que en su interior contiene nitrógeno seco. Además, tiene un separador entre el flujo del circuito y el nitrógeno seco, básicamente la función del elemento separador es evitar que el nitrógeno seco se filtre con el flujo del circuito.

## 1.6 Tuberías

Según Mott la especificación de tubos y tuberías para una aplicación particular es responsabilidad del diseñador y tiene un impacto significativo en el costo, la duración, la seguridad y el rendimiento del sistema. En muchas aplicaciones, se deben seguir los códigos y las normas que establezcan las dependencias gubernamentales u otras organizaciones como las siguientes:

- American Water Works Association (AWWA)
- American Fire Sprinkler Association (AFSA)
- National Fire Protection Association (NFPA)
- ASTM International (ASTM)
- NSF International (NSF)
- International Association of Plumbing and Mechanical Officials (IAPMO)

(Mott & Untener, Mecanica de fluidos, 2015)

Tabla 1. Dimensiones de tuberías.

<b>DIMENSIONES DE TUBERÍAS</b>					
<b>Designación</b>		<b>Diámetro externo in[mm]</b>	<b>SCHEDULE N° in [mm]</b>		
<b>NPS</b>	<b>DN</b>		<b>SCH 40</b>	<b>SCH 80</b>	<b>SCH 160</b>
1	25	1,315 [33,4]	0,133 [3,38]	0,179 [4,55]	0,250 [6,35]
1 1/4	32	1,660 [42,2]	0,140 [3,56]	0,191 [4,85]	0,250 [6,35]
1 1/2	40	1,900 [48,3]	0,145 [3,68]	0,200 [5,08]	0,281 [7,14]
2	50	2,375 [60,3]	0,154 [3,91]	0,218 [5,54]	0,344 [8,74]
2 1/2	65	2,875 [73]	0,203 [5,16]	0,276 [7,01]	0,375 [9,52]
3	80	3,5 [88,9]	0,216 [5,49]	0,300 [7,62]	0,438 [11,13]
3 1/2	90	4 [101,6]	0,226 [5,74]	0,318 [8,08]	----
4	100	4,5 [114,3]	0,237 [6,02]	0,337 [8,56]	----

Fuente: (ASTM A53, 2020)

## 1.7 Diagrama de procesos e instrumentación (P&ID)

Es un diagrama de tuberías e instrumentación, muy útil en la ingeniería ya que permite obtener todos los detalles de un proceso. En este diagrama se incluye todos los equipos, instrumentos de medición, control, seguridad y accesorios. Además, en el P&ID se coloca toda la información que se determina para el diseño. A continuación, se menciona la información que entrega un P&ID:

- Parámetros de diseño (Presión, Caudal, Voltaje)
- Balances de energía, flujo, materia.
- Las tuberías principal y secundaria.
- Líneas según el flujo (agua, aire comprimido, aceite) y si un equipo requiere de señal eléctrica lo representa.

Existen diferentes normas para realizar un levantamiento de P&ID como la ISO, ISA, PIP, Din, JIS-ISO, donde cada una representa los equipos según sus parámetros establecidos.

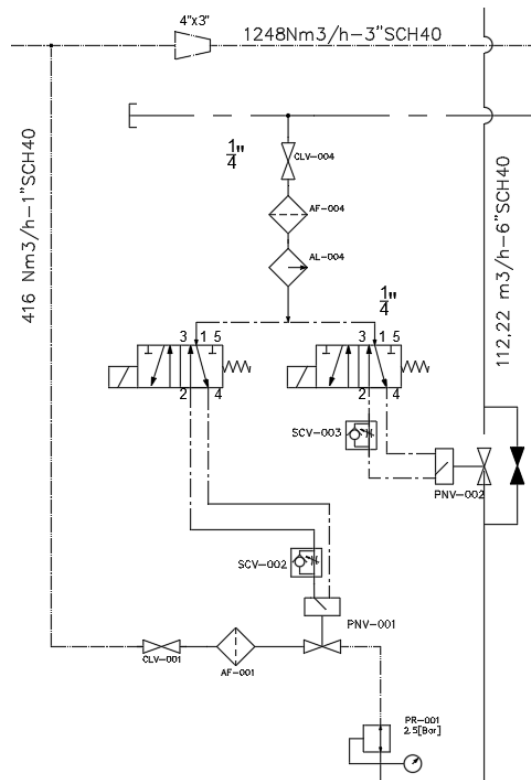


Figura 17. Esquema de un P&ID  
(Fuente: Propia)

## 2. METODOLOGÍA

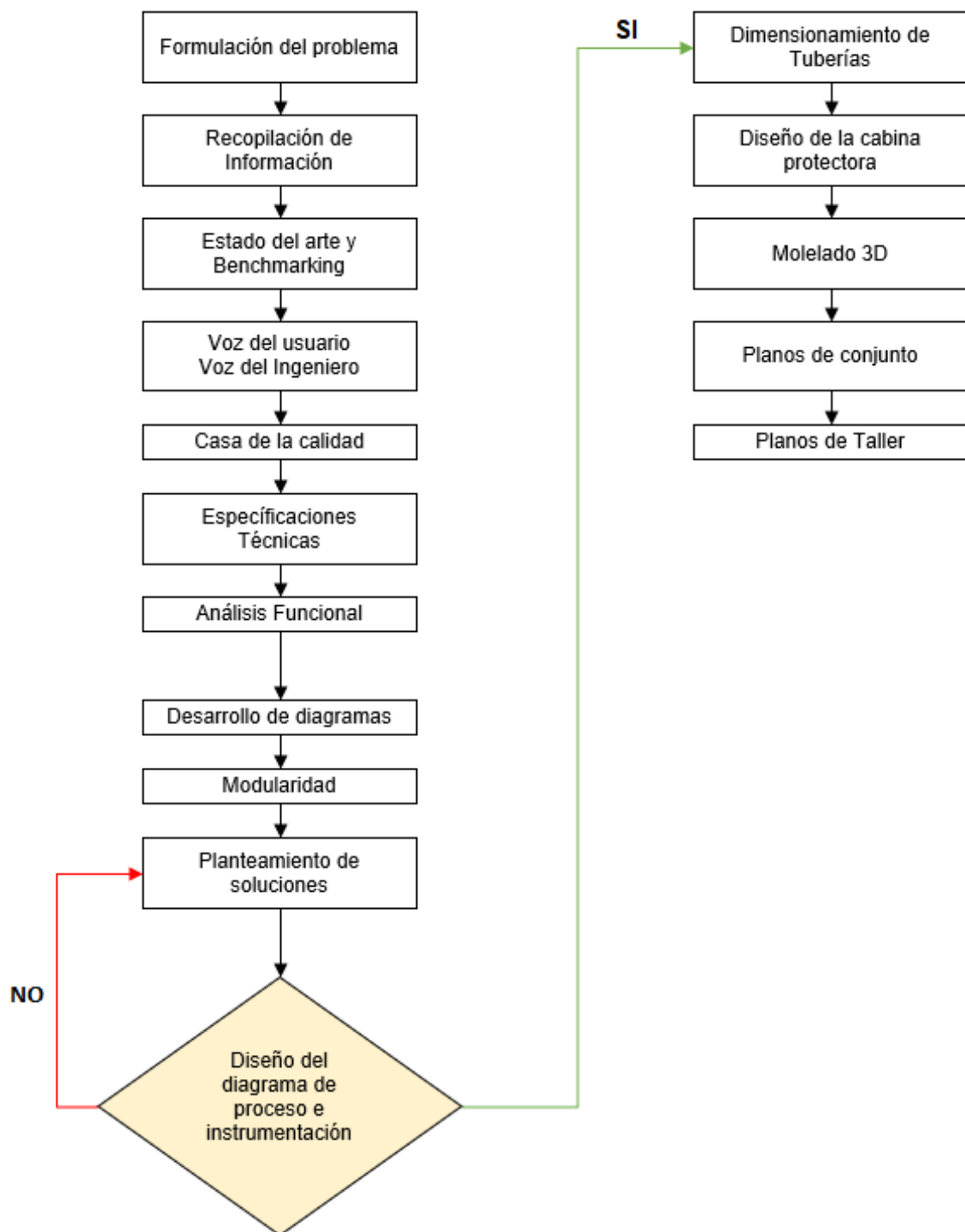


Figura 18. Metodología para la construcción de la máquina para eliminar la cascarilla de la palanquilla  
(Fuente: Propia)

## **2.1 Determinación de especificaciones**

El actual trabajo de titulación tiene como finalidad cumplir con los requerimientos de limpieza superficial de la palanquilla, antes del proceso de laminación en caliente para la obtención de diferentes productos como varillas de diferentes diámetros. La empresa “Novacero S.A”, sede Lasso se encuentra en la implementación de un nuevo tren de laminación y la cual se toma como referencia.

La empresa actualmente cuenta con sistemas para la eliminación de cascarilla, sin embargo, el nuevo tren de laminación presenta mayor capacidad y diferentes variables en las cuales no se puede utilizar los sistemas existentes, razón por la cual requiere implementar una máquina que se acople a las características del nuevo tren (ubicación, nivel) y permita obtener productos con mayor calidad.

### **2.1.1 Voz de usuario y voz del ingeniero**

#### **Voz de usuario**

El usuario bajo su criterio requiere que se cumpla con las siguientes características:

- La máquina sea funcional
- Facilidad de montaje
- Uso de agua tratada para eliminar la cascarilla de la palanquilla.
- Fácil accionamiento/encendido
- Mínimo mantenimiento
- Elimine la cascarilla de dos o cuatro caras superficiales de la palanquilla.
- Controlar el chorro de agua sabiendo que el ciclo de palanquillas a descascarillas es de 40/palanquillas por hora.
- Dimensionamiento de tuberías
- Uso de energía de fácil acceso
- Seguridad para el operador
- Selección de materiales de fácil acceso

#### **Voz del ingeniero**

Cuando se conocen los requerimientos usuario, se procede a transformarlos en una especificación técnica:

- Eficiencia
- Fácil operatividad
- Eliminar la cascarilla de cuatro caras superficiales de la palanquilla

- Tener en cuenta todos los riesgos que pueden afectar al funcionamiento de la máquina para eliminar la cascarilla.
- Dimensionamiento de las tuberías y su cedula bajo normas existentes.
- Selección de elementos, equipos mecánicos que permitan tener funcional y seguridad de operación de la máquina.

## 2.1.2 Casa de la calidad

La casa de la calidad es una metodología dentro del diseño que permite conocer los requerimientos del cliente y determina las especificaciones técnicas de la máquina o diseño, ver Anexo A.

### Resultados de la casa de la calidad.

A continuación, en la tabla 8 se presentan los resultados de la casa de la calidad bajo el criterio de demanda, punto de importancia y posición.

Tabla 2. Tipos de demanda del usuario

<b>Demandas</b>	<b>Puntos de importancia</b>	<b>Posición</b>
Básicas (B)	Elimine la cascarilla de 3 caras superficiales de la palanquilla	1
	Vida útil de la maquina	9
	Dimensionamiento de la tubería	4
	Uso de agua tratada	3
Unidimensionales (O)	Uso de energía de fácil acceso	5
	Control de agua en el ciclo 40 palanquillas/min	6
	Encendido rápido	7
	Fácil de mantenimiento	8
Estimulante (E)	Facilidad de montaje	2

(Fuente: Propia)

El análisis de competencia, permite evidenciar que 4 de los 9 puntos presentan una incidencia importante sobre la máquina, estos puntos son la limpieza superficial de 4 caras de la palanquilla, el sistema de bombeo, el mantenimiento y la eficiencia.



### 2.1.3 Especificaciones técnicas

Las especificaciones técnicas, son el resultado de la voz del usuario, voz del ingeniero y el desarrollo de la casa de calidad.

Tabla 3. Especificaciones técnicas

Empresa/Cliente	Producto	Fecha inicial: 01/06/2021		
Novacero S. A	<b>BILLET DESCALER</b>	Última revisión: 07/07/2022		
Empresa de ingeniería		Página 1/1		
<b>EPN-FIM</b>				
<b>Especificaciones</b>				
<b>Concepto</b>	<b>Fecha</b>	<b>Propone</b>	<b>R/D</b>	<b>Descripción</b>
Función		<b>C+I</b>		Eliminar la cascarilla de la palanquilla, de 4 caras superficiales de la misma
Energía		<b>I</b>		Utilización de energía trifásica, para encendido del motor de la bomba de alta presión
Materiales		<b>C+I</b>		El material de las tuberías bajo norma ASTM A-53/API-5L. Boquillas que soporten presiones altas de trabajo.
Señales y control		<b>I</b>		Utilización de equipos y elementos mecánicos para el correcto funcionamiento de la maquina
Dimensionamiento de la tubería		<b>C+I</b>		El dimensionamiento se lo realizara bajo la norma ASME B31.3

(Fuente: Propia)

### 2.1.4 Análisis funcional

Nivel 0: Función principal de la máquina.

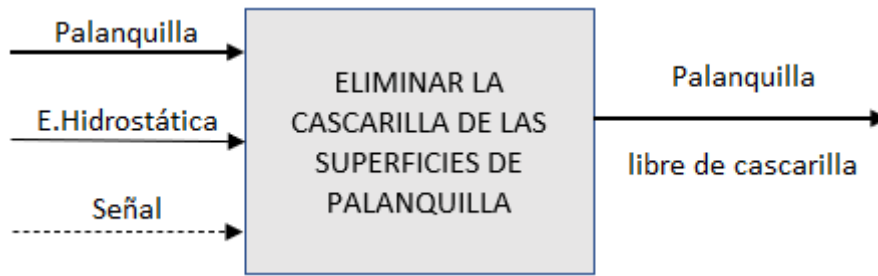


Figura 19. Función Global  
(Fuente: Propia)

### 2.1.5 Estructura Funcional

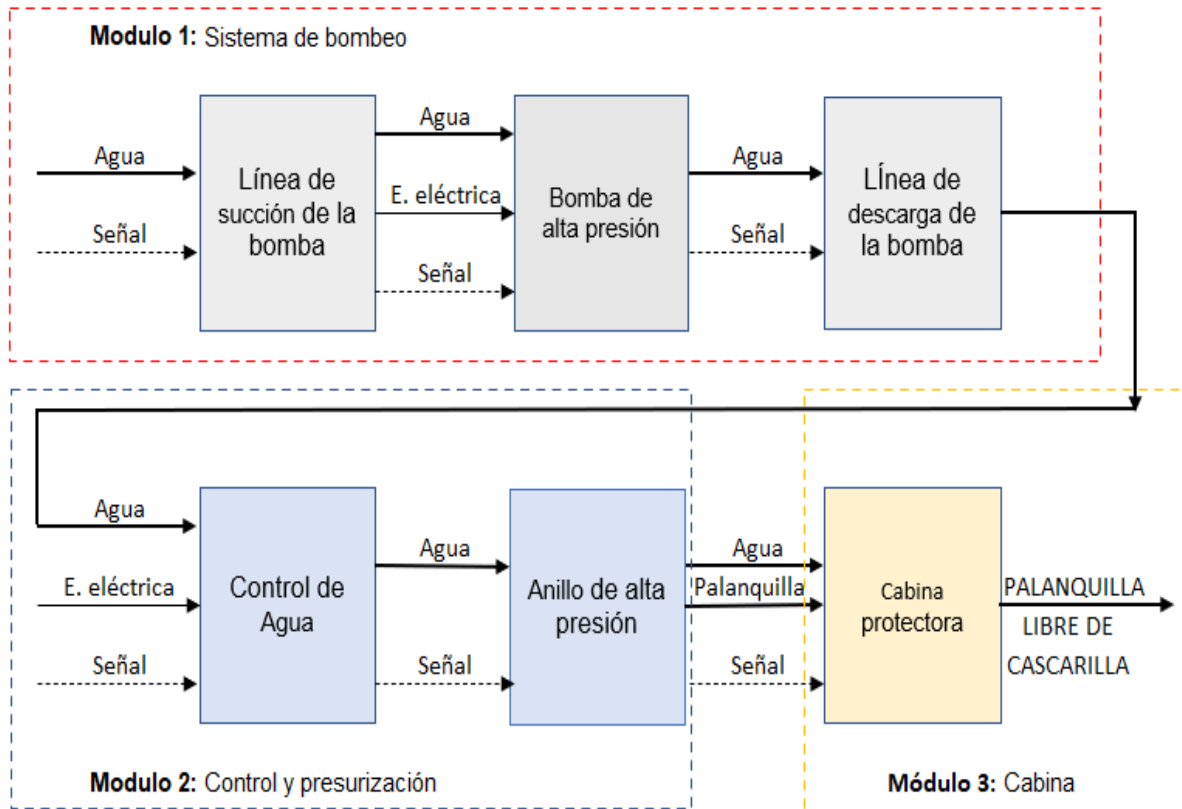


Figura 20. Estructura funcional  
(Fuente: Propia)

## 2.2 Solución de alternativas para cada módulo

### 2.2.1 Modulo 1: Selección de bomba y tipo de arranque del motor.

El siguiente modulo cumple la siguiente función:

- Obtener agua presurizada en un rango de presión de 80 a 450 [Bar] (Lechler, 2016) y un bajo caudal.
- Garantizar un largo tiempo de vida de la bomba

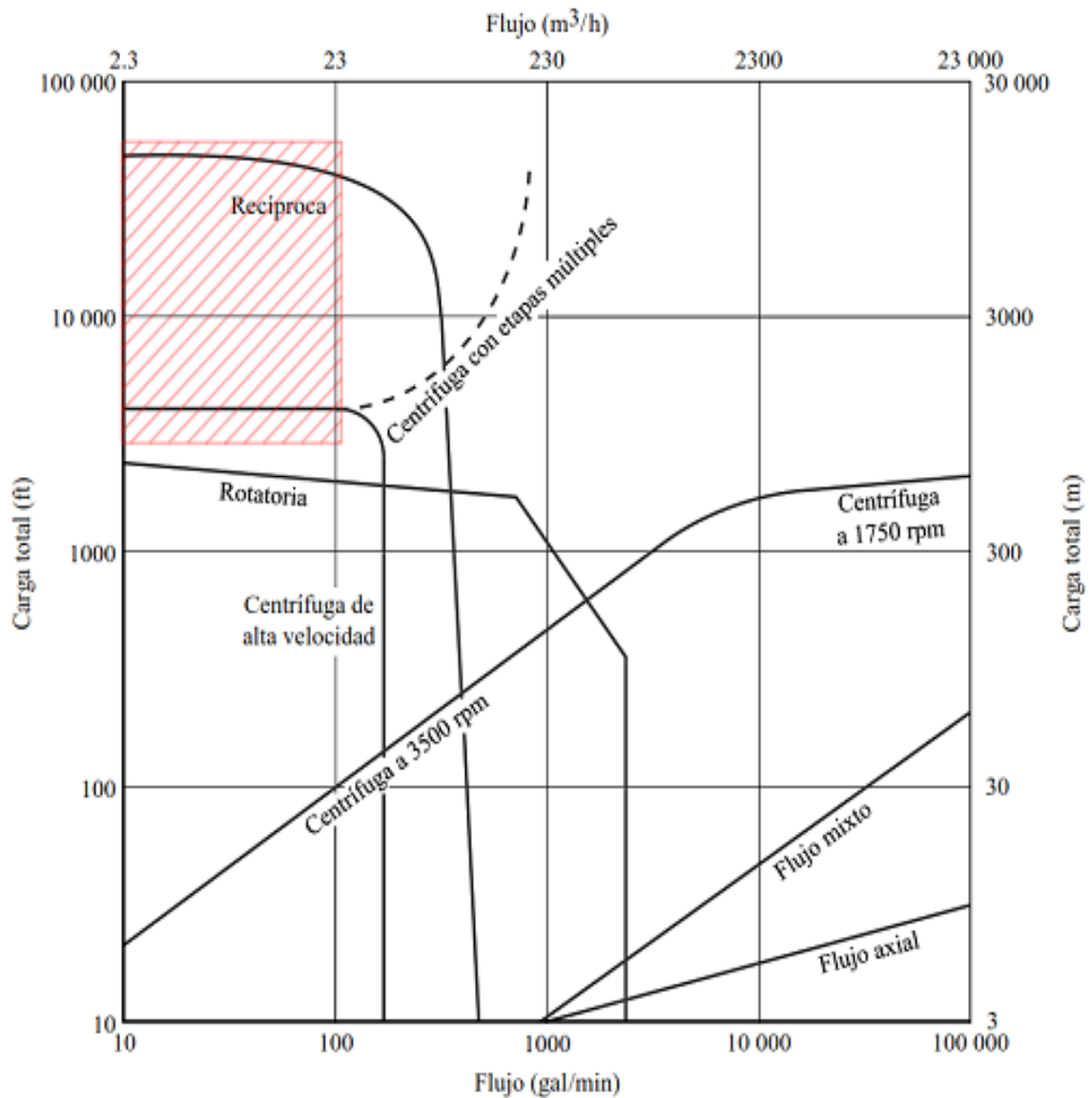


Figura 21. Esquema de selección de bombas  
(Mott & Untener, Mecánica de Fluidos, 2015)

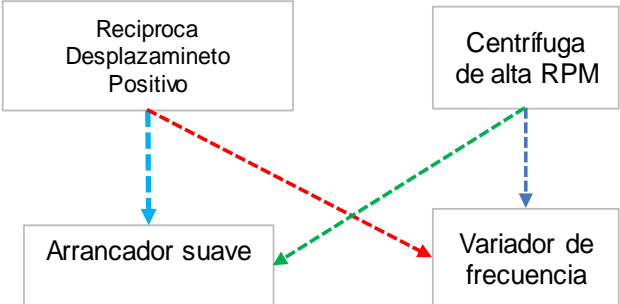
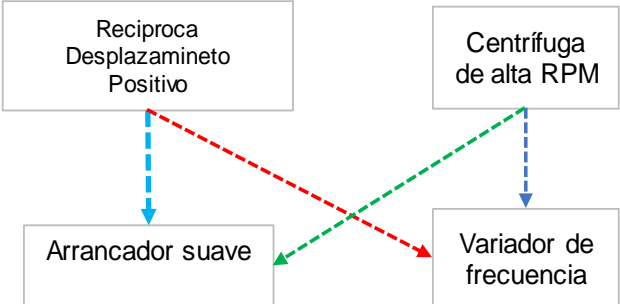




Función	Componente
Bomba de alta presión	
Encendido/Arranque de la bomba	
	Alternativa 1
	Alternativa 2
	Alternativa 3
	Alternativa 4

Figura 22. Alternativas de solución modulo 1  
(Fuente: Autor)

#### 2.2.1.1 Selección de bomba

**Solución 1:** Bombas Centrifugas de alta velocidad.



Figura 23. Bomba centrifuga  
(Fuente: Cornell Pump)

#### Ventajas

- Permiten obtener altos caudales
- Fácil de control
- Costo intermedio

- Fácil mantenimiento programado

#### Desventajas

- Presiones de trabajo altas a mayores revoluciones
- Tener en cuenta la cavitación y golpe de ariete
- A altas presiones de trabajo, vida útil de trabajo corto

**Solución 2:** Bombas reciproca de desplazamiento positivo impulsada por motor eléctrico

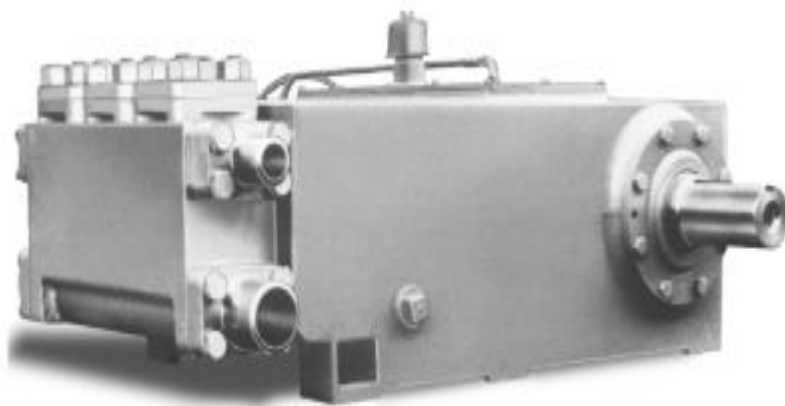


Figura 24. Bomba reciprocante de embolo  
(Fuente: National Oilwell Varco)

#### Ventajas

- Presión de trabajo alta
- Larga vida útil
- Fácil mantenimiento programado
- Las bombas reciprocantes de desplazamiento positivo de pistón, variando del diámetro del pistón pueden obtener diferentes valores de presión.

#### Desventajas

- Generación de fluctuaciones/pulsaciones (Vibraciones)
- Tener en cuenta el golpe de ariete
- Alto costo

Tabla 4. Evaluación del tipo de bomba de cada criterio

Criterio	Presión de trabajo	Consumo de energía	Mantenimiento	Costo	$\Sigma+1$	Ponderación
Presión de trabajo		1	1	1	4	0,36
Cosumo de energía	0,5		0	0,5	2	0,18
Mantenimiento	0	0		0,5	1,5	0,14
Costo	1	1	0,5		3,5	0,32
				<b>Suma</b>	11	1
Presión de trabajo>Costo>Consumo de energia>Matenimiento						

Tabla 5. Evaluación del tipo de bomba del criterio presión del trabajo.

Presión de trabajo	Solución 1	Solución 2	S+1	Ponderación
Solución 1		0	1	0,3
Solución 2	1		2	0,7
		<b>Suma</b>	3	1
Solución 2 > Solución 1				

Tabla 6. Evaluación del tipo de bomba del criterio costo.

Costo	Solución 1	Solución 2	S+1	Ponderación
Solución 1		1	2	0,7
Solución 2	0		1	0,3
		<b>Suma</b>	3	1
Solución 1 > Solución 2				

Tabla 7. Evaluación del tipo de bomba criterio consumo de energía.

Consumo de energía	Solución 1	Solución 2	$\Sigma+1$	Ponderación (%)
Solución 1		0,5	1,5	50
Solución 2	0,5		1,5	50
		<b>Suma</b>	3	100
Solución 1 = Solución 2				

Tabla 8. Evaluación del tipo de bomba del criterio mantenimiento

Mantenimiento	Solución 1	Solución 2	S+1	Ponderación
Solución 1		0,5	1,5	0,4
Solución 2	1		2	0,6
		<b>Suma</b>	3,5	1
Solución 2 > Solución 1				

Tabla 9. Conclusiones del módulo 1

Criterio	Presión de trabajo	Consumo de energía	Mantenimiento	Costo	$\Sigma$	Prioridad
Solución 1	0,3*0,36	0,50*0,18	0,40*0,14	0,7*0,32	0,48	2
Solución 2	0,7*0,36	0,50*0,18	0,60*0,14	0,3*0,32	0,52	1

### 2.2.1.2 Encendido del motor de la bomba.

El encendido de la maquina se lo realizara mediante un arrancador suave, para prevenir el cuidado del motor.

## 2.2.2 Modulo 2: Control y presurización

El **módulo 2** es el encargado de seleccionar equipos y/o elementos mecánicos para garantizar un correcto funcionamiento de la bomba y seguridad de operación.

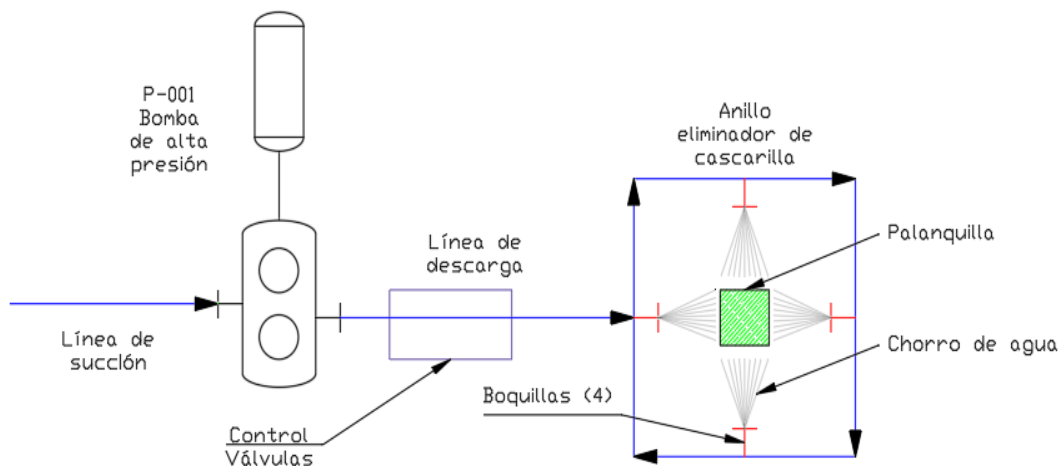


Figura 25. Idea conceptual  
(Fuente: Propia)

Los objetivos de este módulo son los siguientes:

- Controlar o reducir las vibraciones/pulsaciones que genera la bomba reciproca.
- Escoger la válvula que permita controlar el caudal a altas presiones considerando el ciclo de palanquillas a descascarillar en un intervalo de tiempo.
- Seleccionar una válvula en caso de existir sobrepresiones en la bomba.

- Seleccionar las boquillas adecuadas para la eliminación de cascarilla.
- Definir la forma del anillo en el cual serán colocadas las boquillas.

**Alternativas de solución Modulo 2**

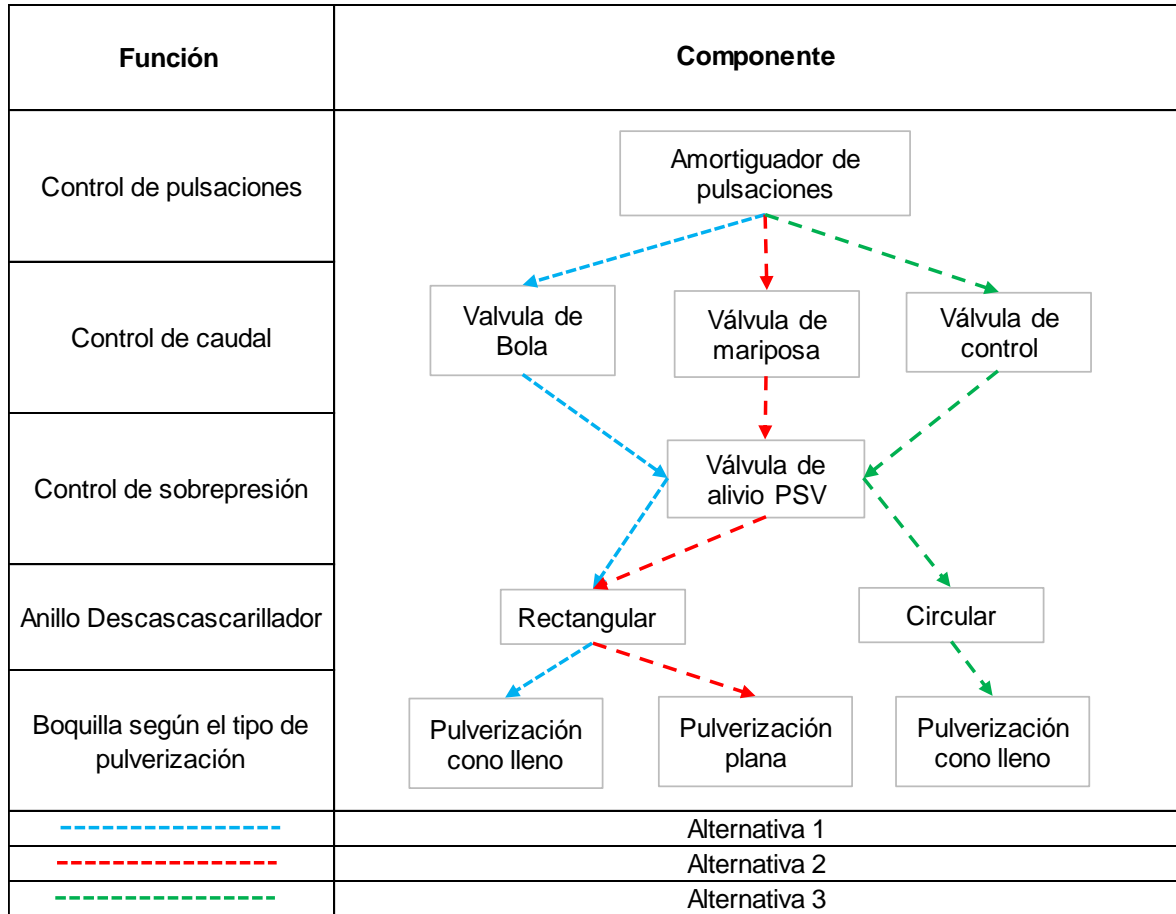


Figura 26. Alternativas de solución modulo 2  
(Fuente: Propia)

2.2.2.1 Control de pulsaciones/vibraciones

Las bombas reciprocantes de embolo, pistón y diafragma generan frecuencias de pulsaciones, que afectan en la succión y descarga del fluido, mencionadas pulsaciones si no son controladas generan daños en la bomba. A continuación, se presentan dos tipos de soluciones para reducción de las mismas.

**Solución 1:** Amortiguador de pulsaciones (Dampeners)





Figura 27. Amortiguador de pulsaciones

(Fuente: Hydril)

#### Ventajas

- Reducen las pulsaciones a bajas y altas presiones de trabajo.
- Fácil montaje
- Evitan la cavitación de la bomba.

#### Desventajas

- El mantenimiento debe ser programado

**Solución 2:** Manguera flexible a la descarga de la bomba.



Figura 28. Manguera Flexible

(Fuente: All pumps argentina)

#### Ventajas

- Se aplican para bombas reciprocas de diafragma
- Bajo costo en comparación al amortiguador de pulsaciones.
- Requiere poco mantenimiento

#### Desventajas

- La reducción de pulsaciones puede ser hasta un 30%.

Tabla 10. Evaluación del equipo para la reducción de vibraciones de cada criterio

<b>Criterio</b>	Presión de trabajo	Reducción de vibraciones	Mantenimiento	S+1	Ponderación
Presión de trabajo		0,5	1	2,5	0,36
Reducción de vibraciones	1		1	3	0,43
Mantenimiento	0,5	0		1,5	0,21
			<b>Suma</b>	7	1
Reducción de vibraciones > Presión de trabajo > Mantenimiento					

Tabla 11. Evaluación del equipo para el control de vibraciones del criterio reducción de vibraciones

<b>Reducción de vibraciones</b>	Solución 1	Solución 2	$\Sigma+1$	Ponderación (%)
Solución 1		1	2	0,7
Solución 2	0		1	0,3
		<b>Suma</b>	3	1
Solución 1 > Solución 2				

Tabla 12. . Evaluación del equipo para el control de vibraciones del criterio presión de trabajo

<b>Presión de Trabajo</b>	Solución 1	Solución 2	S+1	Ponderación
Solución 1		1	2	0,7
Solución 2	0		1	0,3
		<b>Suma</b>	3	1
Solución 1 > Solución 2				

Tabla 13. Evaluación del equipo para el control de vibraciones del criterio mantenimiento

<b>Mantenimiento</b>	Solución 1	Solución 2	S+1	Ponderación (%)
Solución 1		0	1	0,3
Solución 2	1		2	0,7
		<b>Suma</b>	3	1
Solución 2 > Solución 1				

Tabla 14. Conclusiones del control de pulsaciones

<b>Criterio</b>	Presión de trabajo	Reducción de vibraciones	Mantenimiento	$\Sigma$	Prioridad
Solución 1	0,7*0,36	0,7*0,43	0,3*0,21	0,61	1
Solución 2	0,3*0,36	0,3*0,43	0,7*0,21	0,41	2

### 2.2.2.2 Válvula control de flujo a altas presiones.

#### **Solución 1:** Válvula de globo

##### Ventajas

- Trabaja a altas presiones
- Fácil de instalación
- Sirven para regular, abrir o cerrar por completo el paso de flujo
- Apertura manual o automática

##### Desventajas

- Por su diseño es complejo la realización del mantenimiento.
- Fuga parcial del flujo debido a fallas en los empaques
- Puede trabarse y no permitir el cierre o apertura de la válvula.

#### **Solución 2:** Válvula de Mariposa

##### Ventajas

- Diseño económico
- Fácil de dar mantenimiento e instalación
- Permite regular, abrir o cerrar por completo el paso de flujo
- Apertura manual o automática

##### Desventajas

- En sistemas de alta presión tienen poca resistencia al paso de flujo
- Se la encuentra en diámetros superiores a 2 in.

#### **Solución 3:** Válvula de Control solenoide

##### Ventajas

- Trabaja a altas presiones
- Larga vida útil de trabajo

- Fácil de instalación

#### Desventajas

- Mantenimiento complejo.

Tabla 15. Evaluación del equipo para el control de flujo de cada criterio

Criterio	Presión de trabajo	Caudal	Mantenimiento	Costo	Ponderado	Ponderación
Presión de trabajo		1	1	1	4	0,3
Caudal	0,5		1	0,5	3	0,3
Mantenimiento	0	0,5		0,5	2	0,2
Costo	0,5	0,5	0,5		2,5	0,2
<b>Suma</b>					11,5	1,0
Presión de trabajo>Caudal>Costo>Mantenimiento						

Tabla 16. Evaluación del equipo para el control de flujo del criterio presión de trabajo

Presión de trabajo	Solución 1	Solución 2	Solución 3	S+1	Ponderación
Solución 1		0,5	0	1,5	0,25
Solución 2	0,5		0	1,5	0,25
Solución 3	1	1		3	0,50
<b>Suma</b>				6	1
Solución 3>Solución 2=Solución 1					

Tabla 17. Evaluación del equipo para el control de flujo del criterio caudal

Caudal	Solución 1	Solución 2	Solución 3	S+1	Ponderación
Solución 1		0,5	0,5	2	0,18
Solución 2	0,5		0,5	2	0,18
Solución 3	0,5	0,5		2	0,18
<b>Suma</b>				6	1
Solución 3=Solución 2=Solución 1					

Tabla 18. Evaluación del equipo para el control de flujo del criterio costo

Costo	Solución 1	Solución 2	Solución 3	S+1	Ponderación
Solución 1		0,5	0	1,5	0,14
Solución 2	0		1	2	0,18
Solución 3	0	0		1	0,09
<b>Suma</b>				4,5	0

Tabla 19. Evaluación del equipo para el control de flujo del mantenimiento

Mantenimiento	Solución 1	Solución 2	Solución 3	S+1	Ponderación	
Solución 1		0,5	0,5	2	0,18	
Solución 2	1		0,5	2,5	0,23	
Solución 3	0,5	0,5		2	0,18	
				<b>Suma</b>	6,5	1
Solución 2 > Solución 1 = Solución 3						

Tabla 20. Conclusiones válvula de control de flujo

Criterio	Presión de trabajo	Caudal	Mantenimiento	Costo	$\Sigma$	Prioridad
Solución 1	0,14*0,35	0,18*0,26	0,18*0,17	0,17*0,22	0,16	3
Solución 2	0,17*0,35	0,18*0,26	0,23*0,17	0,18*0,22	0,185	2
Solución 3	0,27*0,35	0,18*0,26	0,18*0,17	0,09*0,22	0,1917	1

### 2.2.2.3 Cabezal descascarillador porta boquillas

El anillo descascarillador es una estructura compuesta por tubería y accesorios, en la cual se ubicarán las boquillas que permiten presurizar el agua y cumplir el objetivo principal de tener la palanquilla libre de cascarilla. Para el anillo descascarillador se consideran dos posibles soluciones.

#### Solución 1: Anillo en forma rectangular

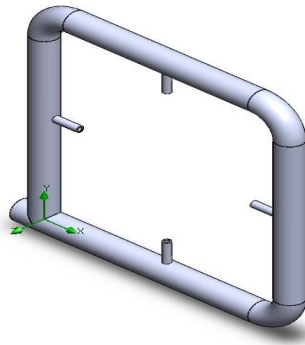


Figura 29. Anillo rectangular  
(Fuente: Propia)

#### Ventajas

- Facilidad de construcción y montaje
- Fácil acceso de los accesorios y tuberías que conforman la estructura
- No requiere de ningún proceso de manufactura para lograr su forma

### Desventajas

- El mantenimiento de la estructura

### Solución 2: Anillo en forma circular

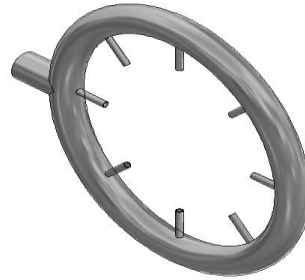


Figura 30. Anillo circular  
(Fuente: Propia)

### Ventajas

- Permite tener mayor número de boquillas, con diferentes ángulos para la limpieza de la palanquilla.
- Facilidad de montaje
- Su uso es para elementos de volumen cilíndrico
- Uso especial para la eliminación de cascarilla de tubería sin soldadura.

### Desventajas

- El mantenimiento de la estructura
- Requiere de doblado de tubería para obtener la forma circular

Tabla 21. Evaluación del equipo para el anillo descascarillador de cada criterio

Criterio	Facilidad de construcción	Acceso a los materiales	Facilidad de montaje	S+1	Ponderación
Facilidad de construcción		1	1	3	0,43
Acceso a los materiales	0,5		0,5	2	0,29
Facilidad de montaje	0,5	0,5		2	0,29
				Suma	7
Facilidad de construcción > Facilidad de montaje = Acceso de materiales					1

Tabla 22. Evaluación del equipo para el anillo descascarillador del criterio facilidad de construcción

<b>Facilidad de construcción</b>	Solución 1	Solución 2	S+1	Ponderación
Solución 1		1	2	0,7
Solución 2	0		1	0,3
		<b>Suma</b>	3	1
Solución 1 > Solución 2				

Tabla 23. Evaluación del equipo para el anillo descascarillador del criterio acceso de materiales

<b>Acceso a los materiales</b>	Solución 1	Solución 2	S+1	Ponderación
Solución 1		1	2	0,6
Solución 2	0,5		1,5	0,4
		<b>Suma</b>	3,5	1
Solución 1 > Solución 2				

Tabla 24. Evaluación del equipo para el anillo descascarillador del criterio facilidad de montaje

<b>Facilidad de montaje</b>	Solución 1	Solución 2	S+1	Ponderación
Solución 1		0,5	1,5	0,5
Solución 2	0,5		1,5	0,5
		<b>Suma</b>	3	1
Solución 1= Solución 2				

Tabla 25. Conclusiones anillo descascarillador

<b>Criterio</b>	Facilidad de construcción	Acceso a los materiales	Facilidad de montaje	$\Sigma$	Prioridad
Solución 1	0,7*0,43	0,6*0,29	0,5*0,29	0,62	1
Solución 2	0,3*0,43	0,4*0,29	0,5*0,29	0,39	2

El cabezal porta boquilla debe ser rectangular porque la materia prima que se va a eliminar la cascarilla es palanquilla, materia prima de sección cuadrangular, y el anillo de forma circular es de uso únicamente para secciones circulares (tubería).

#### 2.2.2.4 Tipo de boquilla según pulverización

##### **Solución 1:** Pulverización cono lleno



Figura 31. Pulverización cono lleno  
(Fuente: LECHLER)

##### Ventajas

- Trabaja a altas presiones
- Elimina incrustaciones superficiales
- Presentan mayor área de mojado.

##### Desventajas

- Trabaja a distancias cortas.

##### **Solución 2:** Pulverización plana

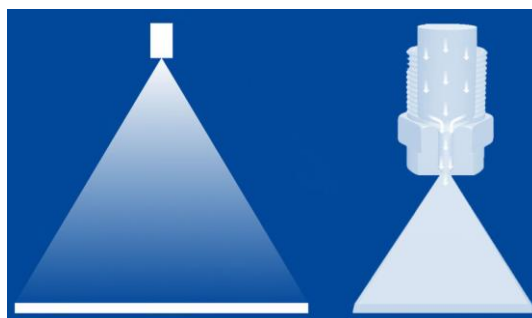


Figura 32. Pulverización plana  
(Fuente: LECHLER)



### Ventajas

- Elimina incrustaciones superficiales, a superficies en movimiento relativo.
- Trabaja a altas presiones
- Presenta mayor impacto, sobre la superficie a limpiar

### Desventajas

- No pueden ser monitoreadas, en caso de daño se requiere el cambio por una nueva.

### **Solución:** Pulverización con hueco



Figura 33. Pulverización con hueco

(Fuente: LECHLER)

### Ventajas

- Trabaja a altas presiones
- Fácil de instalar
- Entre sus aplicaciones está en sistemas de refrigeración.

### Desventajas

- Por su forma de chorro no se aplica para la eliminación de incrustaciones superficiales.
- No pueden ser monitoreadas, en caso de daño se requiere el cambio por una nueva.
- No trabaja a altas presiones.

Tabla 26. Evaluación del equipo para el tipo de boquilla según su pulverización de cada criterio

<b>Criterio</b>	Limpeza superficial*	Presión de Trabajo	Caudal	Ponderado	Ponderación
Limpeza Superficial		1	1	3	0,38
Presión de trabajo	0,5		1	2,5	0,31
Caudal	1	0,5		2,5	0,31
			<b>Suma</b>	8	1
Limpeza Superficial $\times$ Presión de trabajo = Caudal					
* La limpieza se realiza a material en movimiento (palanquilla)					

Tabla 27. Evaluación del equipo para el tipo de boquilla según su pulverización del criterio limpieza superficial

<b>Limpeza superficial</b>	Solución 1	Solución 2	Solución 3	S+1	Ponderación
Solución 1		0	0,5	1,5	0,25
Solución 2	1		1	3	0,50
Solución 3	0,5	0		1,5	0,25
			<b>Suma</b>	6	1
Solución 2 $\times$ Solución 1 = Solución 3					

Tabla 28. Evaluación del equipo para el tipo de boquilla según su pulverización del criterio presión de trabajo

<b>Presión de trabajo</b>	Solución 1	Solución 2	Solución 3	S+1	Ponderación
Solución 1		0,5	0,5	2	0,33
Solución 2	0,5		0,5	2	0,33
Solución 3	0,5	0,5		2	0,33
			<b>Suma</b>	6	1
Solución 3 = Solución 2 = Solución 1					

Tabla 29. Evaluación del equipo para el tipo de boquilla según su pulverización del criterio limpieza caudal

<b>Caudal</b>	Solución 1	Solución 2	Solución 3	S+1	Ponderación
Solución 1		0,5	0,5	2	0,33
Solución 2	0,5		0,5	2	0,33

Solución 3	0,5	0,5		2	0,33
			Suma	6	1
Solución 3=Solución 2=Solución 1					

Tabla 30. Conclusiones para el tipo de boquilla según la pulverización

Criterio	Limpieza superficial*	Presión de Trabajo	Caudal	$\Sigma$	Prioridad
Solución 1	0,25*0,38	0,33*0,31	0,33*0,31	0,300	2
Solución 2	0,50*0,38	0,33*0,31	0,33*0,31	0,395	1
Solución 3	0,25*0,38	0,33*0,31	0,33*0,31	0,300	2

### 2.2.3 Modulo 3: Cabina protectora

La cabina protectora es la encargada de que la cascarilla eliminada mediante el uso de chorro de agua no caiga a los alrededores. Además, esta cabina protectora debe adaptarse al anillo descascarillador y los caminos de rodillos que transportan a la palanquilla.

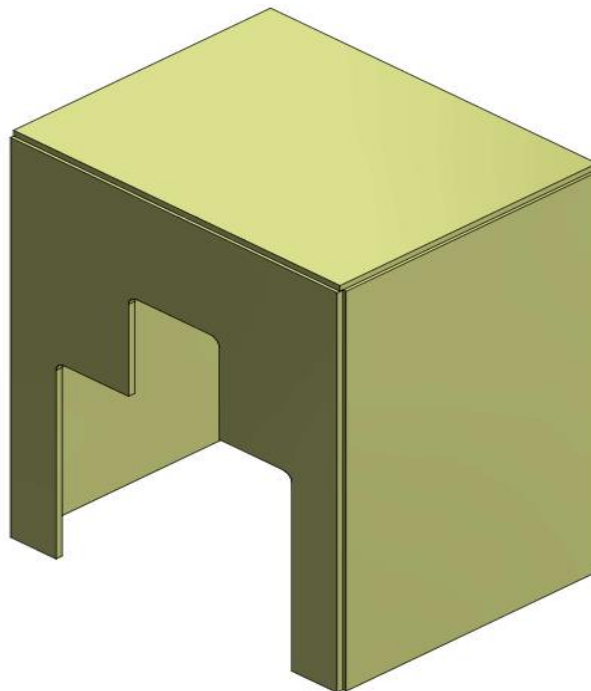


Figura 34. Bomba de embolo  
(Fuente: Propia)

## 2.2.4 Solución virtual

La solución virtual es un bosquejo, en el cual se representa como será la maquina con todos las partes que lo conforman.

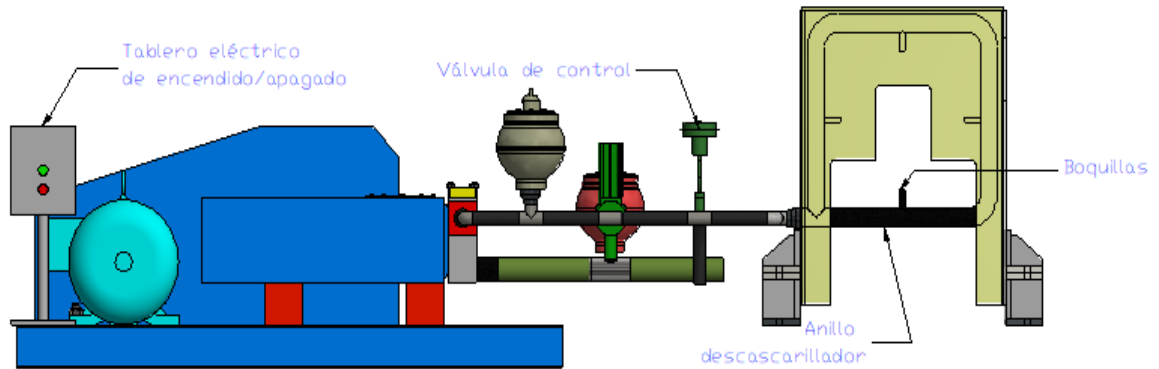


Figura 35. Vista Frontal  
(Fuente: Propia)

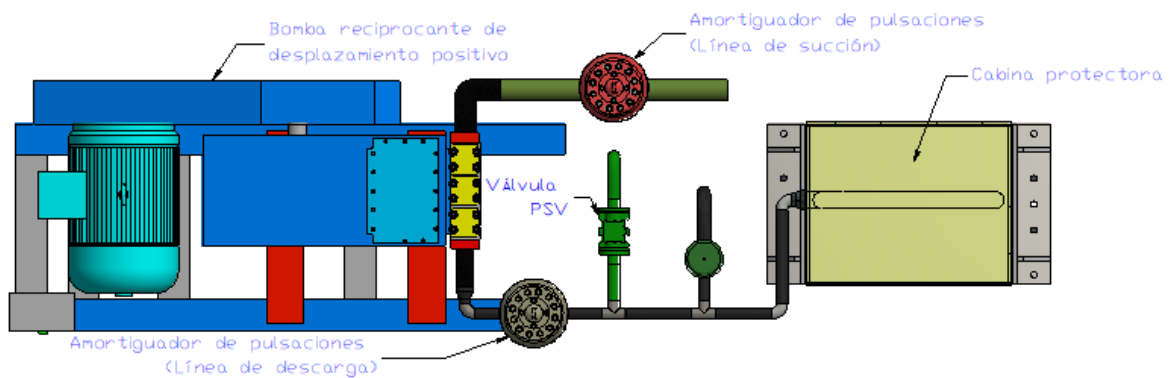


Figura 36. Vista Superior BD  
(Fuente: Propia)

## 2.3 Cálculos hidráulicos

La bomba seleccionada para obtener agua a alta presión es una bomba triplex 125T-M4 que presenta las siguientes características:

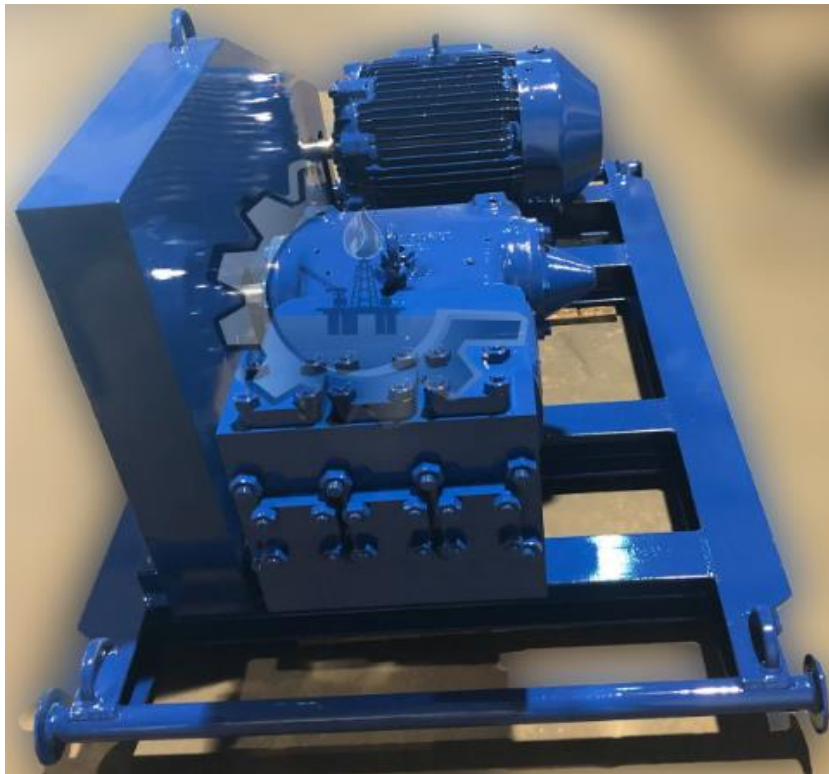


Figura 37. Bomba Triplex 125 T M-4  
(Fuente: Ingrosuppliers)

Tabla 31. Características de la bomba seleccionada

<b>Características de la Bomba triplex 125T-M4</b>	
<b>Marca</b>	National Oilwell
<b>Serie</b>	125 T-M4
<b>Tipo</b>	Triplex Reciprocante
<b>Ø Pistón</b>	2 3/8 [in]
<b>Carrera (s)</b>	4 [in]
<b>Caudal (Q)</b>	20 [m <sup>3</sup> /h]
<b>Presión (P)</b>	1900 [PSI]
<b>Ø Succión</b>	4 [in] SCH 40
<b>Ø Descarga</b>	3 [in] SCH 160
<b>Potencia (HP)</b>	125 HP

(Fuente: Propia)

Para el dimensionamiento de tuberías, la velocidad de flujo es parámetro importante para obtener un buen desempeño razonable del sistema. A continuación, se presenta la tabla con rangos de velocidades recomendados dependiendo el tipo de servicio de la línea:

Tabla 32. Rango de velocidades recomendada

Tipo de servicio	Rango de velocidad recomendado	
	ft/s	m/s
Líneas de succión	2 - 4	0,6 - 1,2
Línea de retorno	4 -13	1,5 - 4,0
Línea de descarga	7- 25	2,1 - 7,6

(Mott & Untener, Mecanica de fluidos, 2015)

En el presente trabajo, para el dimensionamiento de las tuberías se considera la recomendación de la tabla 32 y tomando los datos de la bomba. Utilizando la ecuación de flujo volumétrico se determina la velocidad de flujo para diferentes diámetros de tubería. El flujo volumétrico de la bomba es de 20 [m<sup>3</sup>/h].

Tabla 33. Velocidad de flujo para diferentes diámetros.

NPS [in]	DN [mm]	V [m/s]
1	25	11,32
1 ¼	32	6,91
1 1/2	40	4,42
2	50	2,83
2 1/2	65	1,67
3	80	1,11
3 1/2	90	0,87
4	100	0,71

(Fuente: Propia)

En la tabla 33, se muestra las velocidades obtenidas para diámetros en el rango de 1 [in] a 4 [in], concluyendo que el diámetro de tubería para la línea de succión es de 4 [in] con una velocidad aproximada de 0.71 [m/s] y para la línea de descarga una tubería de diámetro de 2 [in] teniendo una velocidad aproximada de 2.83 [m/s]. Las velocidades obtenidas tanto para la descarga como la succión no superan los valores recomendados en la Tabla 32.

### 2.3.1 Dimensionamiento línea de descarga

#### Presión de diseño

La presión de diseño es el 10% de la presión máxima

$$P_{dis} = 10\% \times P_{m\acute{a}x} \quad (1)$$

$$P_{dis} = 1900 \text{ [Psi]} * 1.1 = 2090 \text{ [Psi]}$$

### Espesor de la tubería de descarga

El código ASME B31.3 “*Tuberías de proceso*”, presenta las siguientes ecuaciones para determinar el espesor o cedula de la tubería para tuberías rectas:

$$T_m = T + C \quad (2)$$

$$T = \frac{P_{dis} * D}{2 * (S * E * W + P_{dis} * Y)}$$

$$C = C_1 + C_2 \quad (3)$$

Donde:

- C: Suma de tolerancias mecánicas por corrosión y erosión [in o mm]
- C<sub>1</sub>: Sobre espesor por corrosión, 2 [mm] en aceros al carbono (Mott & Untener, Mecanica de fluidos, 2015)
- C<sub>2</sub>: Profundidad de rosca [in o mm]
- D: Diámetro externo del tubo [in o mm]
- T<sub>m</sub>: Espesor de pared mínimo requerido el valor de C [in o mm]
- P<sub>dis</sub>: Presión de diseño [Psig o MPa]
- E: Factor de calidad (Vea tabla referencia Tabla A-1A o A-1B, ASME B31.3)
- Y: Coeficiente (Vea tabla referencia 304.1.1, ASME B31.3) (ANEXO 3)
- W: Factor de reducción de la resistencia de la junta soldada (ANEXO 2).
- S: Valor de esfuerzo (Vea tabla referencia A-1, ASME B31.3) (ANEXO 4)

La fabricación de tubería comercial se las realiza con una tolerancia +0/-12 % (Mott & Untener, Mecanica de fluidos, 2015), obtenido la siguiente expresión para calcular el espesor nominal:

$$T_m = \frac{8}{7} * \left[ \frac{P_{dis} * D}{2 * (S * W * W + P_{dis} * Y)} \right] + C_1 + C_2 \quad (4)$$

Para el cálculo del espesor de la tubería de descarga se tiene los siguientes datos:

- Diámetro externo de la tubería NPS2 (D)= 2.375 [in]
- Presión de diseño (P<sub>dis</sub>)= 2200 [Psi]
- E=1 (Ver Anexo #)
- S<sub>@400°F</sub>=16 [Ksi]=16000 [Psi] (ANEXO 4)

- Y=0.40 (Ver ANEXO 3)
- C<sub>1</sub>=0.125 [in]
- C<sub>2</sub>=0
- W=1

Remplazado los valores en la ecuación (4) se obtiene el siguiente resultado:

$$T_m = \frac{8}{7} * \left[ \frac{2200 \text{ [Psi]} * 2.375 \text{ [in]}}{2 * (16000 \text{ [Psi]} * 1 * 1 + 2200 \text{ [Psi]} * 0.4)} \right] + 0.125 \text{ [in]}$$

$$T_m = \frac{8}{7} * \left[ \frac{5225 \text{ [Psi]} \cdot \text{[in]}}{2 * (16880 \text{ [Psi]})} \right] + 0.125 \text{ [in]}$$

$$T_m = \frac{8}{7} * [0.1548 \text{ [in]}] + 0.125 \text{ [in]}$$

$$T_m = 0.3019 \text{ [in]} (7.68 \text{ [mm]})$$

El diámetro de la tubería seleccionado para la descarga es de NPS2 cedula (SCH) 160.

### **Velocidad de flujo a la descarga**

La velocidad de flujo se la determina despejando de la ecuación de flujo volumétrico obteniendo una relación entre el flujo volumétrico y al área de la sección transversal. En base a la tabla # el valor diámetro interior para una tubería NPS2 y SCH160 es 1.687 [in] (0.04282 [m]).

$$V = \frac{Q}{A} \quad (5)$$

$$v = \frac{4 * 0.00556 \left[ \frac{m^3}{s} \right]}{\pi * (0.04282 \text{ [m]})^2}$$

$$v = 3.86 \left[ \frac{m}{s} \right]$$

El cabezal descascarillador se lo realizara con un diámetro de NPS3 y SCH160, por facilidad de construcción para la ubicación de las boquillas. La velocidad de flujo dentro del cabezal es la siguiente:



$$v = \frac{4 * 0.00556 \left[ \frac{m^3}{s} \right]}{\pi * (0.06664 [m])^2}$$

$$v = 1.6 \left[ \frac{m}{s} \right]$$

### 2.3.2 Dimensionamiento línea de succión

La succión de la bomba se dará a partir de una línea existente de la empresa y es de 8 Bar (115 Psi). Para determinar el valor de la presión de diseño se utiliza la ecuación (1).

#### Presión de diseño

$$P_{dis} = 10\% * P_{m\acute{a}x}$$

$$P_{dis} = 115 [Psi] * 1.1 = 126.5 [Psi]$$

#### Espesor de la tubería de descarga

- Diámetro externo de la tubería NPS4 (D)= 2.375 [in]
- Presión de diseño ( $P_{dis}$ )= 115 [Psi]
- E=1 (Ver Anexo #)
- $S_{@400^{\circ}F}$ =16 [Ksi]=16000 [Psi] (ANEXO)
- Y=0.40 (Ver Anexo)
- $C_1$ =0.125 [in]
- $C_2$ =0
- W=1

Remplazando los valores en la ecuación (4) se obtiene los siguientes resultados.

$$T_m = T + C$$

$$T_m = \frac{8}{7} * \left[ \frac{126.5 [Psi] * 4.5[in]}{2 * (16000 [Psi] * 1 + 126.5 [Psi] * 0.4)} \right] + 0.125 [in]$$

$$T_m = \frac{8}{7} * \left[ \frac{569.25 [Psi][in]}{2 * (16050 [Psi])} \right] + 0.125 [in]$$

$$T_m = \frac{8}{7} * [0.0177] + 0.125 [in]$$

$$T_m = 0.1453 \text{ [in]} \text{ (3.69 [mm])}$$

El diámetro de la tubería seleccionado para la descarga es de 4NPS SCH 40.

### Velocidad de flujo en la succión

Utilizando la ecuación (5) se obtiene el valor de la velocidad de flujo de la succión.

$$v = \frac{Q}{A}$$

$$v = \frac{4 * 0.00556 \left[ \frac{m^3}{s} \right]}{\pi * (0.10226 \text{ [m]})^2}$$

$$v = 0.68 \left[ \frac{m}{s} \right]$$

### 2.3.3 Numero de Reynolds ( $N_R$ )

Es un numero adimensional que determina si el flujo que se encuentra fluyendo en el sistema de tuberías es laminar o turbulento. Si  $N_R > 4000$  se define que el flujo es turbulento y si  $N_R < 2000$  el flujo es laminar.

$$N_R = \frac{v * D * \rho}{n} \quad (6)$$

Donde:

$\rho$ : Densidad de flujo 998 [kg/m<sup>3</sup>]

D= Diámetro de la tubería

n: Viscosidad

- Numero de Reynolds a la línea de descarga:

Se determina el numero Reynolds para determinar el comportamiento en la descarga de la bomba, utilizando la ecuación (6) se obtiene:

$$N_{R2} = \frac{3.86 \left[ \frac{m}{s} \right] * \frac{42.82}{1000} * 998 \left[ \frac{kg}{m^3} \right]}{1 \times 10^{-3} \text{ [Pa * s]}}$$

$$N_{R2''} = 161720.2251$$

$$N_{R3''} = \frac{1.6 \left[ \frac{m}{s} \right] * \frac{66.64}{1000} * 998 \left[ \frac{kg}{m^3} \right]}{1 \times 10^{-3} \left[ Pa * s \right]}$$

$$N_{R3''} = 106410.7520$$

**$N_{R2'',3''} > 4000$**  el flujo es turbulento en toda su trayectoria

- Factor de fricción para flujo turbulento

El flujo al entrar en contacto con las paredes interiores de la tubería, se genera una fricción, dependiendo del tipo del comportamiento del flujo (turbulento o laminar), la ecuación (7) es una expresión que se utiliza para flujos calcular el factor de fricción de flujos turbulentos.

$$f = \frac{0.25}{\left[ \log \left( \frac{1}{3.7 * \left( \frac{D}{\varepsilon} \right) + \frac{5.79}{N_R^{0.9}}} \right) \right]^2} \quad (7)$$

La ecuación (8), define como se calcula la rugosidad, que es una relación entre el diámetro interno de la tubería y el material. La rugosidad para acero es de  $4.6 \times 10^{-5}$

$$\frac{D_{2''}}{\varepsilon} = \frac{42.82 \text{ [mm]}}{0.046 \text{ [mm]}} = 930 \quad (8)$$

El factor de fricción para la tubería de descarga es de 0.020, el cual se utiliza para determinar las pérdidas menores que producen a lo largo de la descarga de la bomba.

$$f_{2''} = \frac{0.25}{\left[ \log \left( \frac{1}{3.7 * (930) + \frac{5.79}{161720.2251^{0.9}}} \right) \right]^2}$$

$$f_{2''} = 0.020$$

Utilizando la ecuación (7) se determina el factor de fricción que se genera en el cabezal descascarillador, que tiene un diámetro NPS3.

$$\frac{D_{3''}}{\varepsilon} = \frac{66.64 [mm]}{0.046 [mm]} = 1448.70$$

$$f_{3''} = \frac{0.25}{\left[ \log \left( \frac{1}{3.7 * (930) + \frac{5.79}{106410.7520^{0.9}}} \right) \right]^2}$$

$$f_{3''} = 0.018$$

el factor de fricción del cabezal descascarillador es de 0.018.

### 2.3.4 Perdidas menores y energía

Las perdidas menores de energía se originan debido al uso de elementos mecánicos como válvulas y accesorios que se encuentran en el sistema de tuberías. Estos elementos mecánicos y accesorios permiten controlar las condiciones de flujo. Las perdidas menores se las obtiene mediante el uso de la ecuación #.

$$h_L = K * \left( \frac{v^2}{2 * g} \right) \quad (9)$$

Donde:

- K: Coeficiente de resistencia, depende del tipo de elemento o accesorio.
- V: Velocidad de flujo [m/s]
- g: valor de la gravedad 9.81 [m/s<sup>2</sup>].

#### 2.3.4.1 Coeficiente de resistencia para válvulas y accesorios

En el caso de un amplio gradual el valor de  $k$ , se puede determinar mediante el uso del (ANEXO 10), en la cual se debe conocer el ángulo de expansión y determinar la relación que existe entre el diámetro mayor y diámetro menor.

En general, el coeficiente de resistencia para válvulas y accesorios se reporta de la siguiente forma

$$K = \left( \frac{L_E}{D} \right) * f_T \quad (10)$$

Donde:

- $L_E/D$  longitud equivalente, el valor de  $L_E$  se lo obtiene en el (ANEXO 9)
- $f_T$  Factor de fricción, se lo determina utilizando la ecuación 8.

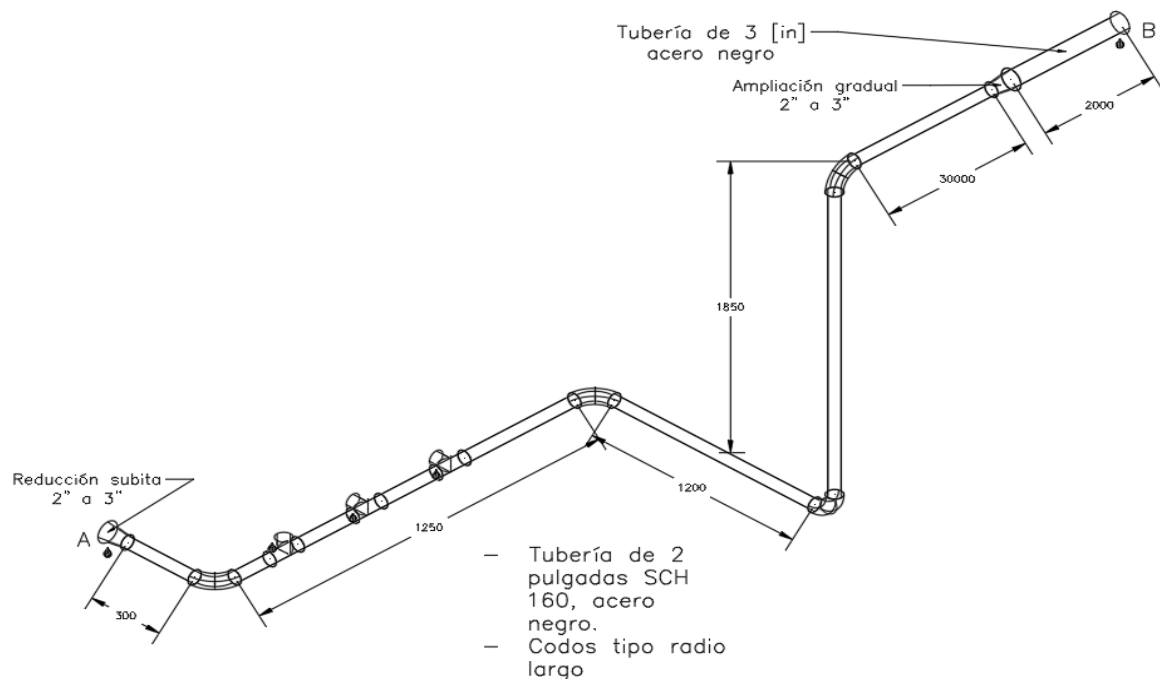


Figura 38. Esquema para calcular pérdidas menores  
(Fuente: Propia)

Mediante la ecuación (11), se realiza las pérdidas menores que generan en la trayectoria.

$$\begin{aligned}
 h_L = & h_{L2"} + h_{L \text{ Contracción súbita } 3" \text{ a } 2"} + 3h_{LTess} + 4h_{LCodos RL} + h_{L2"} + h_{L3"} \\
 & + h_{L \text{ ampliación súbita } 2" \text{ a } 3"}
 \end{aligned}
 \tag{11}$$

En la figura 38, se observa la trayectoria de la tubería de descarga de la bomba de alta presión, donde es importante determinar las pérdidas.

Donde:

- $h_{L2"}$ : Pérdidas por fricción en la tubería de 2 [ in].
- $h_{L \text{ Contracción súbita } 3" \text{ a } 2"}$ : Pérdidas por fricción por reducción súbita de 2 a 3 [ in].
- $h_{LTess}$ : Pérdidas por fricción debido al uso de las tes.
- $h_{LCodos RL}$ : Pérdidas por fricción por uso de codos de Radio largo.
- $h_{L3"}$ : Pérdidas por fricción en la tubería de 2 [ in].
- $h_{L \text{ Ampliación súbita } 2" \text{ a } 3"}$ : Pérdidas por fricción por reducción súbita de 2 a 3 [ in].

$$h_L = f_2'' \frac{L_2''}{D_2''} * \frac{v_2''^2}{2g} + f_3'' \frac{L_3''}{D_3''} * \frac{v_3''^2}{2g} + K_{3''a2''} * \frac{v_2''^2}{2g} + K_{2''a3''} * \frac{v_3''^2}{2g} + 3 * f_2'' * \frac{L_e}{D} * \frac{v_2''^2}{2g} + 3 * f_2'' * \frac{L_e}{D} * \frac{v_2''^2}{2g}$$

$$h_L = \frac{v_2''^2}{2g} * \left( f_2'' \frac{L_2''}{D_2''} + K_{3''a2''} + 3 * f_2'' * \frac{L_e}{D} + 3 * f_2'' * L_e \right) + \frac{v_3''^2}{2g} \left( K_{2''a3''} + f_3'' \frac{L_3''}{D_3''} \right)$$

$$h_L = \frac{3.86^2}{2 * 9.8} * \left( 0.020 * \left( \frac{28.40}{0.04282} \right) + 0.26 + 3 * 0.020 * 20 + 3 * 0.020 * 20 \right) + \frac{1.66^2}{2 * 9.8} * \left( 0.018 * \frac{3}{0.0664} + 0.26 \right)$$

$$h_L = \frac{3.86^2}{2 * 9.8} (15.92) + \frac{1.66^2}{2 * 9.8} (1.0733)$$

$$h_L = 12.1021 + 0.1509 = 12.25 \left[ \frac{mN}{N} \right]$$

Las pérdidas menores en la trayectoria de la línea de descarga de la bomba hasta llegar al cabezal portan boquilla es de 12.25 [m].

## 2.4 Selección de la boquilla y dimensionamiento del anillo.

Para la selección de las boquillas es fundamental tener definido la velocidad de flujo, presión de trabajo y el ángulo de pulverización, el cual tiene mucha importancia ya que permite definir el ancho de pulverización que se puede lograr. En la figura 31 se muestra las dimensiones de la palanquilla a eliminar la cascarilla.

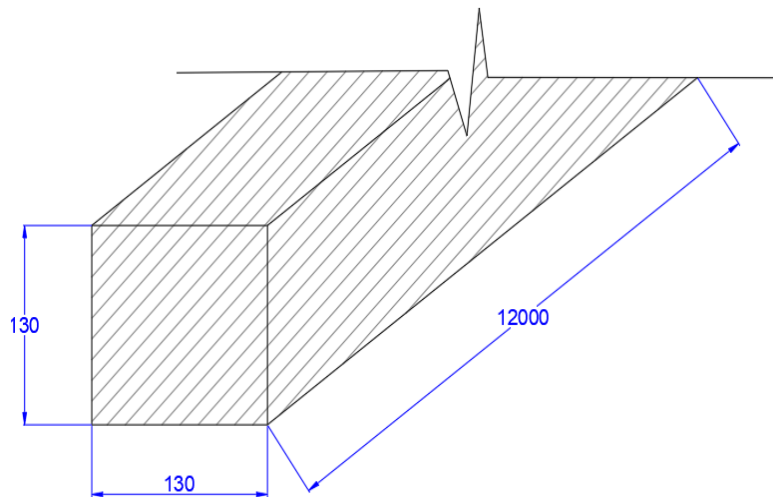


Figura 39. Dimensiones de la palanquilla.  
(Fuente: Propia)

Los datos para la selección de las boquillas se presentan se presentan en la tabla 34.

Tabla 34. Datos para la selección de la boquilla

Datos	
Presión de trabajo	2100 PSI (145 Bar)
Caudal	22 gpm (5 m <sup>3</sup> /h)
Ancho mínimo de pulverización	5 in (130 mm)

(Fuente: Propia)

En la figura 32 y 33, se observa que el ángulo de la boquilla respecto al tubo es de 15° y la distancia entre la punta de la boquilla-palanquilla es de 250 [mm]. Las boquillas al ser de aspersión plana, requieren distancias mínimas según el catalogo lo indique, se debe respetar las distancias recomendadas ya que son probadas, el alterar o cambiar las mismas afectan a la eliminación de cascarilla.

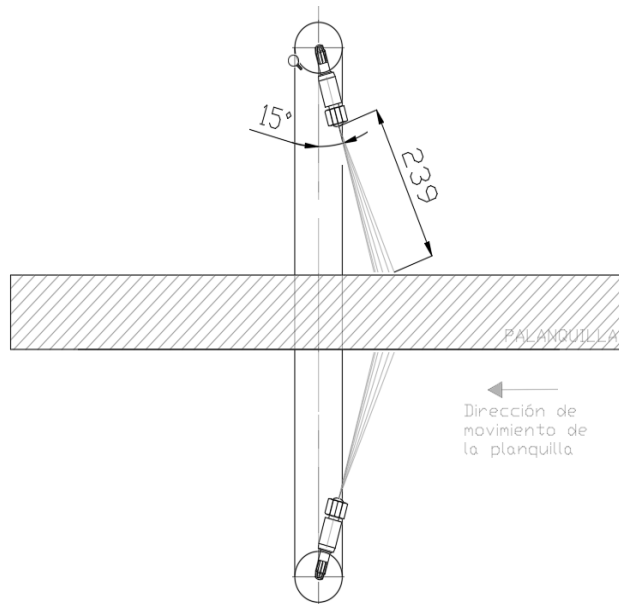


Figura 40. Vista lateral cabezal descascarillador.  
(Fuente: Propia)

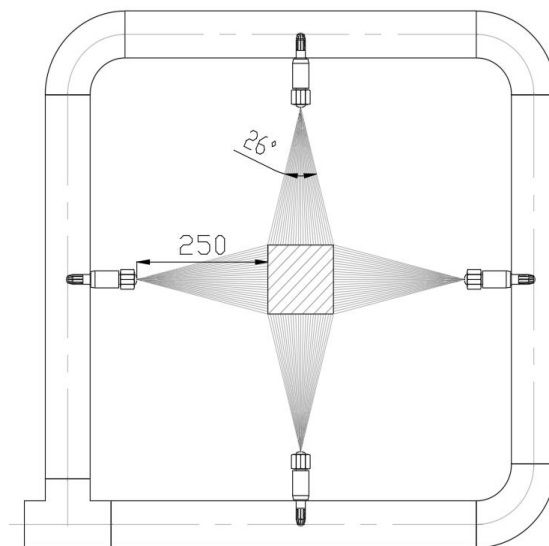


Figura 41. Vista frontal cabezal descascarillador.  
(Fuente: Propia)

### 2.4.1 Impacto de las boquillas de aspersión plana.

Para determinar el cálculo del impacto de la boquilla respecto a la palanquilla se utiliza la ecuación (12), la cual expresa una relación directa entre la fuerza y el área.



$$I = \frac{F}{A} \quad (12)$$

Donde:

- I: Impacto [N/mm<sup>2</sup>]
- F: Fuerza de impacto [N]
- A: Área de impacto [mm<sup>2</sup>]

El valor de la fuerza (F) lo determinamos con la ecuación (13)

$$F = \dot{m} * \sqrt{\frac{2 * p}{\rho}} \quad (13)$$

Donde:

- $\dot{m}$  flujo másico por boquilla [kg/s]
- p presión de trabajo inicial [Pa]
- $\rho$  densidad del agua 998 [kg/m<sup>3</sup>]

Del diseño se obtiene que el flujo de la descarga de la bomba es de 20 [m<sup>3</sup>/h], este flujo al ingresar al cabezal porta boquillas, este caudal se divide para el numero de boquillas planteados. Cada boquilla tiene un caudal de 5 [m<sup>3</sup>/h].

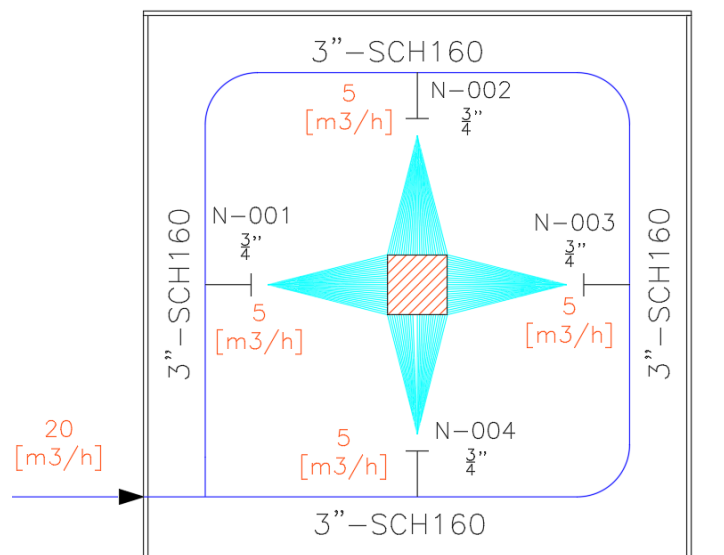


Figura 42. Esquema de distribución de flujo por boquilla

(Fuente: Propia)

De la ecuación de la (1), la presión de diseño es de 2100 [Psi] o  $1.44 \times 10^7$  [Pa] y la densidad del agua es un valor conocido 998 [kg/m<sup>3</sup>], reemplazando estos valores en la ecuación (13) se obtiene el valor de la fuerza de impacto por boquilla.

$$F = 5 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} * 998 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} * \sqrt{\frac{2 * 1.44 \times 10^7 [\text{Pa}]}{998 \left[ \frac{\text{kg}}{\text{s}} \right]}}$$

$$F = 230 [\text{N}]$$

El área de impacto es la longitud transversal de la palanquilla por el espesor del chorro plano. En la figura 40, se observa que la longitud de la palanquilla es de 130 [mm], utilizando la ecuación (12), se obtiene que el valor del impacto es de 1761 [N/mm<sup>2</sup>].

## 2.5 Dimensionamiento de la cabina protectora

La cabina protectora, tiene como principal función que los residuos de cascarilla al estar en contacto con el chorro de agua, no se dispersen sobre el camino de rodillos y pueda proteger al personal. Esta cabina debe adaptarse a dos condiciones, la primera a las dimensiones del cabezal descascarillador y segundo al camino de rodillos por donde se transporta la palanquilla.



Figura 43. Camino de rodillos.

(Fuente: Novacero S.A)

En la figura 34, se puede apreciar en la parte posterior el horno en el cual se calienta la palanquilla hasta la temperatura de laminación, y siguiente al horno se observa el camino de rodillos, en el cual se transporta la palanquilla.



Figura 44. Puerta salida de palanquilla desde el horno hacia el camino de rodillos.

(Fuente: Novacero S.A)

La ubicación de la caseta protectora es de 6 metros respecto a la puerta de salida de palanquilla hacia los caminos de rodillos. En el Anexo # se puede apreciar los planos de construcción de la cabina.

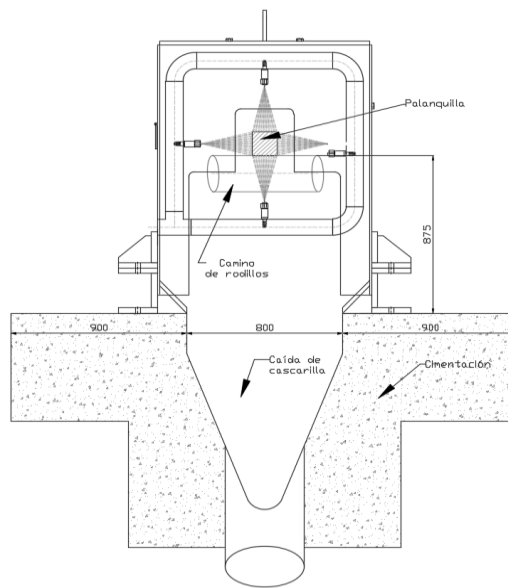


Figura 45. Posición de la cabina  
(Fuente: Propia)

De la figura 35, se observa que ira ubicada sobre una cimentación que en centro tiene un vacío para que la cascacarilla eliminada se aloje y además el camino de rodillos por donde se transporta la palanquilla esta a una altura de 875 [mm]. Los cuales son parámetros a tomar en cuenta. La cabina protectora está compuesta de diferentes componentes, en la figura 37 se muestran las mismas.

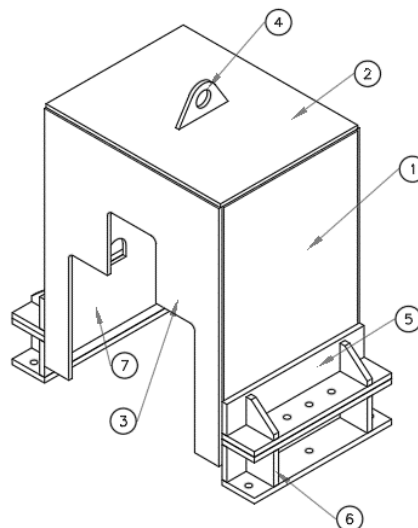


Figura 46. Cabina protectora 3D.  
(Fuente: Propia)

Las partes que componen la cabina protectora son las siguientes:

1. Placa (PL) lateral izquierda.
2. Placa (PL) superior
3. Placa (PL) frontal/posterior
4. Placa (PL) de anclaje
5. Soporte anclaje cabina/soporte anclaje cimentación
6. Soporte anclaje cimentación
7. Placa (PL) lateral derecha

## 2.6 Protocolo de pruebas

El protocolo de pruebas permite comprobar el funcionamiento correcto de la máquina, para poder tomar acciones predictivas y correctivas al diseñador. En la máquina para eliminar la cascarilla de la palanquilla se considera tres parámetros principales en las pruebas y estos son:

- Encendido y control del sistema.
- Control de vibraciones generados por la bomba de alta presión.
- Eliminación de la cascarilla (4 caras de la palanquilla).

### 2.6.1 Encendido y control de la máquina.

El objetivo de el encendido y control es verificar el encendido del motor de la bomba mediante un arrancador suave, además, de que cumpla con el ciclo de funcionamiento de la máquina, en la figura 38, se observa el funcionamiento del encendido y control de la máquina.

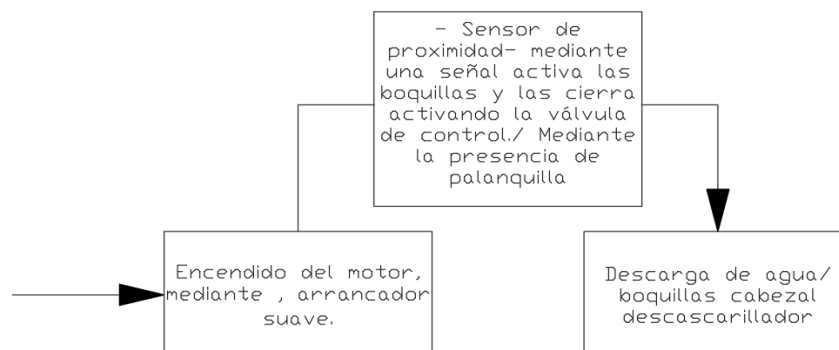


Figura 47. Esquema encendido y control

(Fuente: Propia)

Por medio de la figura 38, en la tabla 35, se establece el siguiente protocolo de prueba para esta sección.

- Protocolo de prueba encendido y control de la máquina.

Tabla 35. Protocolo de prueba/control de la máquina.

Nombre del proceso:	Encendido y control máquina		
Objetivo:	Verificar el control eléctrico, sensores de la máquina con presencia de palanquilla.		
Actividades:	Si	No	Observaciones
Encendido del motor de la bomba.			
Si no existe la señal de paso de palanquilla, debe estar activa la válvula de control y cerrado el paso de agua con dirección al cabezal descascarillador. La válvula de control se encuentra descargando agua hacia un tanque acumulador/			
Existe la presencia de palanquilla y mediante un sensor de proximidad se envía una señal a la válvula de control, esta se cierra y permite el paso de flujo con dirección hacia el cabezal descascarillador			
El sensor de proximidad envía la señal de que no se encuentra palanquilla cerca y activa la válvula de control, cerrando el flujo de agua en el cabezal descascarillador. Y empieza de nuevo el ciclo desde el paso 1 al 4.			
Conclusión:			
Realizado por:			
Fecha:		Hora:	
Nombre del encargado de la prueba.			
Firma:			

(Fuente: Propia)

## 2.6.2 Control de vibraciones

Las bombas de desplazamiento positiva generan vibraciones, y estas vibraciones no permiten tener un flujo regular, para prevenir las mismas se requiere utilizar amortiguadores de pulsaciones, el objetivo es tomar 10 mediciones del manómetro seleccionado y observar el comportamiento de la presión a la descarga de la bomba. En la tabla # se muestra el protocolo de pruebas para esta sección.

- Protocolo de prueba control de vibraciones.

Tabla 36. Protocolo de prueba/control de vibraciones.

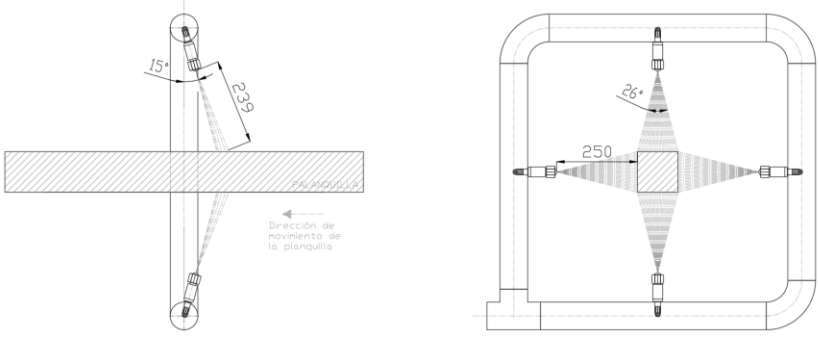
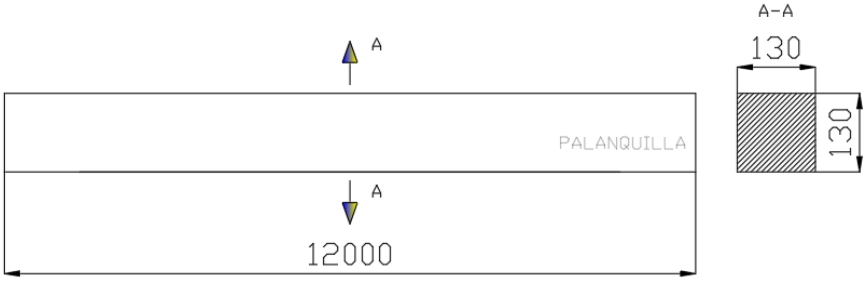
Nombre del proceso:	Control de vibraciones/ pulsaciones.		
Objetivo:	Verificar el control eléctrico, sensores de la máquina con presencia de palanquilla.		
Actividades:	Tomar mediciones de la presión.		
Toma de muestra	[Psi]	$\Delta P$ [Psi] / Presión 2- Presión 1	Observaciones
Presión 1			
Presión 2			
Presión 3			
Presión 4			
Presión 5			
Presión 6			
Presión 7			
Presión 8			
Presión 9			
Presión 10			
Conclusión:			
Realizado por:			
Fecha:		Hora:	
Nombre del encargado de la prueba.			
Firma:			

(Fuente: Propia)

### 2.6.3 Eliminación de cascarilla

El apartado 2.6.3 tiene como objetivo comprobar el área sin cascarilla que se logra en la palanquilla, una vez que termino su paso por el cabezal descascarillador y concluir si es correcto el funcionamiento de las boquillas seleccionadas para esta aplicación.

Tabla 37. Protocolo de prueba/eliminación de cascarilla.

Nombre del proceso:	Eliminación de cascarilla	
Objetivo:	Comprobar el área de limpieza de la palanquilla mediante inspección visual.	
Actividades:	Mediante inspección visual, determinar si se logró la limpieza de 100% de la palanquilla, si no es así, tomar acciones correctivas.	
Cabezal descascarillador		
Palanquilla		
Conclusión:		
Realizado por:		
Fecha:	Hora:	
Nombre del encargado de la prueba.		
Firma:		

(Fuente: Propia)



Se ha desarrollado tres protocolos de prueba, considerando los principales aspectos principales para el funcionamiento de la máquina, si uno de estos sistemas no funciona de la manera correcta, es necesario aplicar medidas correctivas.

## 2.7 Análisis de costos

El análisis de costos nos permite obtener el valor real de la fabricación de la máquina, considerando todos los gastos que se generan para poder desarrollar la construcción de la máquina.

### Costos de equipos normalizados

En el análisis de costos de equipos normalizados, se considera todos los equipos mecánicos seleccionados por medio de catálogo. Mediante el diagrama P&ID (Anexo 11), se observa todos los equipos, elementos y accesorios necesarios para la construcción de la maquina eliminadora de cascarilla.

Tabla 38. Costo de equipos normalizados

<b>MATERIA EQUIPOS/ELEMENTOS NORMALIZADOS</b>				
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>CANT</b>	<b>UND</b>	<b>COSTO UNIT.</b>	<b>COSTO TOTAL</b>
Bomba triplex 125T-M4	1	[u]	\$ 173.740,06	\$ 173.740,06
Pulsation Dampener	2	[u]	\$ 3.433,83	\$ 6.867,66
Valcula de control VAL-TROL	1	[u]	\$ 14.756,00	\$ 14.756,00
Valvula PSV 2000 [PSI]	1	[u]	\$ 2.286,00	\$ 2.286,00
Boquilla descascarilladora HXC 2642F1GB	4	[u]	\$ 130,00	\$ 520,00
Weld Nipple ZWA 0080 B2	4	[u]	\$ 58,50	\$ 234,00
Filtro estabilizador XHX DG20 T1	4	[u]	\$ 13,00	\$ 52,00
Tuerca boquilla 3/4" - VAWA075 B1	4	[u]	\$ 13,00	\$ 52,00
Gasket dia24x20x2	4	[u]	\$ 2,30	\$ 9,20
Alignment nozzle -HWZ 01A1B1	4	[u]	\$ 19,50	\$ 78,00
Pernos de anclaje ø1 plg- 3 plg	6	[u]	\$ 1,50	\$ 9,00
Pernos M25	6	[u]	\$ 3,50	\$ 21,00
Socketweld NTP 1/2 plg	1	[u]	\$ 5,00	\$ 5,00
Maómetro 0-3000 PSI	1	[u]	\$ 250,00	\$ 250,00
PLC Logo	1	[u]	\$ 200,00	\$ 200,00
Sensor de proximidad	1	[u]	\$ 120,00	\$ 120,00
			<b>Total</b>	<b>\$ 199.079,92</b>

(Fuente: Propia)

La tabla 38, concluye que la bomba de alta presión tiene un costo elevado en comparación con los demás componentes normalizados, al seleccionar este tipo de bombas de

desplazamiento positivo se busca tener en cuenta el costo-beneficio, y este tipo de bombas presentan larga vida útil.

### Costos de materia prima

La máquina eliminadora de cascarilla de palanquilla, al ser una maquina hidromecánica, necesita conexiones con tubería (piping), para lo cual se requiere tubos y accesorios, que forman parte de la materia prima, junto con las planchas para la fabricación de la cabina protectora.

Tabla 39. Costos de materia prima

<b>MATERIA PRIMA</b>				
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>CANT,</b>	<b>UDN</b>	<b>COSTO UNIT.</b>	<b>COSTO TOTAL</b>
Tubería Ø2 PLG In SCH 160	9	[u]	\$ 260,00	\$ 2.340,00
Tubería Ø2 PLG SCH 40	9	[u]	\$ 450,00	\$ 4.050,00
Plancha Acero Negro Standar A36 (e=20 m	2	[u]	\$ 1.004,16	\$ 2.008,32
Tee 4 PLG	1	[u]	\$ 80,00	\$ 80,00
Tee 2 PLG	4	[u]	\$ 50,00	\$ 200,00
CODOS 90° 3 PLG	1	[u]	\$ 80,00	\$ 80,00
CODOS 90° 2 PLG	2	[u]	\$ 50,00	\$ 100,00
REDUCCIÓN 3 a 2 PLG	2	[u]	\$ 40,00	\$ 80,00
BRIDAS SLIP ON,4 PLG	1	[u]	\$ 150,00	\$ 150,00
BRIDAS SLIP ON, 3 PLG	1	[u]	\$ 125,00	\$ 125,00
Gratas Metálica	1	[u]	\$ 6,00	\$ 6,00
			<b>Total</b>	\$ 9.219,32

(Fuente: Propia)

### Costos de mano

Es un análisis donde se toma en cuenta el personal, procesos de manufactura necesarios para la fabricación de la máquina.

Tabla 40. Costos mano de obra

<b>COSTOS MANO DE OBRA</b>				
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>UND</b>	<b>COSTO UNIT</b>	<b>COSTO TOTAL</b>
Supervisor	30	[hh]	\$ 6,50	\$ 195,00
Armado	60	[hh]	\$ 5,50	\$ 330,00
Soldador	60	[hh]	\$ 5,50	\$ 330,00
Pintor	16	[hh]	\$ 5,00	\$ 80,00
Corte por plasma	20	[m]	\$ 10,80	\$ 216,00
Perforado	12	[u]	\$ 2,50	\$ 30,00
			<b>Total</b>	\$ 1.181,00

(Fuente: Propia)

### Costos acabados

Se consideran los costos de pintura, consumibles de soldadura, discos de corte y desbaste, necesarios para el acabado externo de la máquina, estos costos se los puede observar en la tala 41.

Tabla 41. Costos acabados

<b>COSTOS ACABADOS</b>				
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>UND</b>	<b>COSTO UNIT</b>	<b>COSTO TOTAL</b>
Disco de corte	15	[u]	\$ 2,55	\$ 38,25
Disco de desbaste	20	[u]	\$ 2,55	\$ 51,00
Elcetodo 6011-1/8"	30	KG	\$ 2,85	\$ 85,50
Electrodo 7018 1/8"	10	KG	\$ 2,80	\$ 28,00
Thinner	7	Gln	\$ 8,00	\$ 56,00
Pintura de esmalte color amarillo	3	Gln	\$ 25,00	\$ 75,00
Juntas de Soldadura	50	Juntas	\$ 8,50	\$ 425,00
			<b>Total</b>	<b>\$ 758,75</b>

(Fuente: Propia)

### Costo total de la maquina

Tabla 42. Costo total de la maquina

<b>COSTO TOTAL</b>	
Costo Material	\$ 9.219,32
Costo Elementos/ equipos Normalizad	\$ 199.079,92
Costo mano de obra	\$ 1.181,00
Costo de acabados	\$ 758,75
Costo de diseño	\$ 2.000,00
Subtotal	\$ 212.238,99
Utilidad (10%)	\$ 21.223,90
<b>Total</b>	<b>\$ 445.701,88</b>

(Fuente: Propia)

En la tabla 42, se indica que el valor total de la maquina es de \$445.705.88, donde el mayor costo está en los y equipos elementos normalizados, no esta contemplado el valor de la programación de control, para poder que la maquina cumpla el ciclo de cierre y apertura de válvulas cuando sea necesario.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1. Resultados

Tabla 43. Resultados obtenidos.

Resultados			
Equipo/Máquina	Eliminador de cascarilla		
Método utilizado	Hidráulico-Mecánico Chorro de Agua		
Objetivo	Eliminar la cascarilla de la palanquilla mediante el uso de chorro de agua		
Equipos/elementos mecánicos			
<b>Bomba reciprocante triplex</b>	Marca National Oilwell Varco		
<b>Válvula de control</b>	Marca Valv Trol 3000 [PSI]		
<b>Válvula de alivio</b>	PSV Valve/ calibrada para activarse a 2000 [psi]		
<b>Dampener de succión y descarga</b>	Reducir las vibraciones en la succión y descarga		
<b>Boquillas</b>	Boquillas de aspersión plana/ cantidad 4		
Datos del sistema/ Descarga de la bomba			
<b>Diamtro de tubería D</b>	2 in	<b>Fluido</b>	Agua
<b>Material</b>	SA-A106-Gr B	<b>Densidad de flujo</b>	998 kg/m <sup>3</sup>
<b>Schedule</b>	160	<b>Viscosidad cinemática</b>	0,001 Pa*s
<b>Área</b>	0,001484	<b>Número de Reynolds</b>	1,62E+05
<b>Rugosidad relativa</b>	0,046	<b>Tipo de flujo</b>	Turbulento
<b>Presión punto 1</b>	1862 [PSI]	<b>Velocidad de flujo</b>	3,86 m/s
<b>Presión punto 2</b>		<b>Caudal</b>	20 m <sup>3</sup> /h
<b>Elevación punto 1</b>	0		
<b>Elevación punto 2</b>	1,8 [m]		

(Fuente: Propia)

El funcionamiento de la máquina para eliminar cascarilla mediante el uso de chorro de agua, una vez definido los equipos mecánicos y de control manejan la siguiente secuencia:

Nota:

- La válvula de alivio se activa cuando se supere la presión de trabajo del sistema, para evitar daños de la bomba y precautelar el bienestar del operador o al área donde se encuentre montada.
  - La bomba reciprocante triplex 125 T-M4 se encuentra en funcionamiento todo el tiempo.
1. La válvula de control (ON) está conectada de manera paralela a la línea principal, con el fin de que el flujo de la descarga de la bomba se direcciona hacia un tanque acumulador

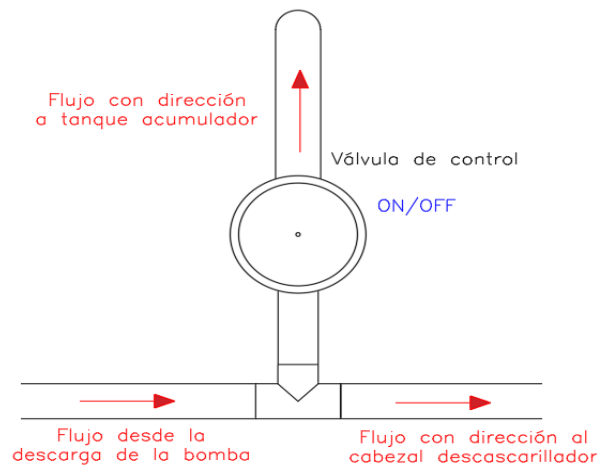


Figura 48. Ciclo de funcionamiento de la maquina tubería  
(Fuente: propia)

2. La cabina protectora cuenta con un sensor de proximidad que activa al cabezal porta boquillas, al sentir la presencia de palanquilla activa las boquillas, cerrando la válvula de control (OFF) y permitiendo que la dirección del flujo sea al cabezal porta boquillas.

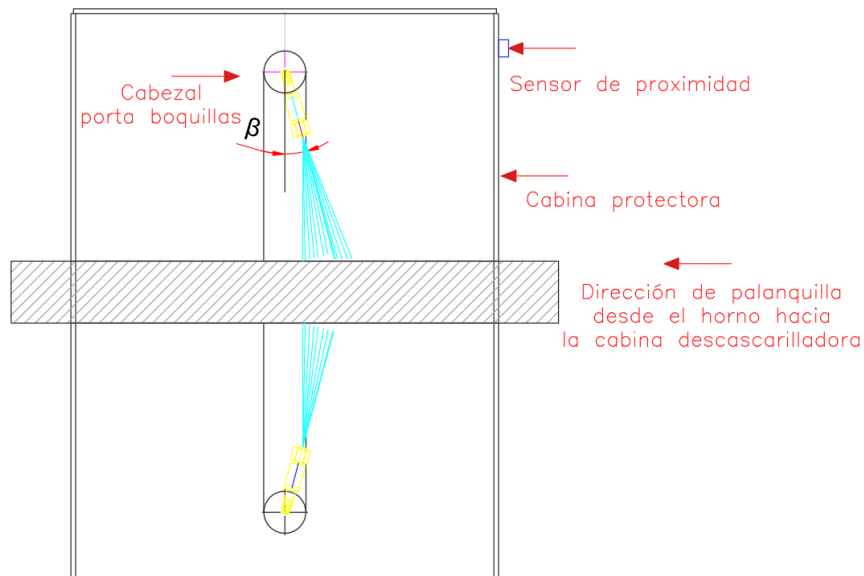


Figura 49. Funcionamiento del sistema descadillador/ desde la cabina  
(Fuente: Propia)

3. Una vez termina el paso de la palanquilla se desactivan las boquillas y la válvula de control se activa (ON), y se cumple el ciclo de funcionamiento de la máquina para eliminar la cascarilla.

## **4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **4.1 Conclusiones**

El chorro de agua es el método más utilizado para la limpieza de palanquilla, ya que permite trabajar con la palanquilla en caliente, además, los equipos mecánicos y de control son de fácil acceso.

El amortiguador de pulsaciones (dampener) es un elemento mecánico que evita la cavitación de las bombas reciprocantes debido a las pulsaciones que generan el movimiento de sus pistones o émbolos, por lo que su uso es obligatorio en este tipo de bombas.

En sistemas de alta presión la válvula de seguridad requiere ser instalada para el cuidado de los equipos e instalaciones y la presión de activación debe ser definida para su correcta calibración.

Para este tipo de máquinas, las boquillas deben ser de aspersión plana, ya que permite tener una mejor limpieza superficial de la palanquilla, la distancia entre la punta de la boquilla y la palanquilla debe ser mínima, para evitar algún tipo de tratamiento térmico.

El ángulo de la boquilla debe estar en un rango de 0 a 15° de inclinación para obtener una limpieza eficiente, al ser mayor pueden afectar en el funcionamiento de la mismas.

La cascarilla es eliminada por dos efectos térmicos e hidromecánicos, las gotas del chorro de agua al entrar en contacto con la palanquilla caliente, se evaporan y debido a este efecto se logra eliminar la cascarilla de la palanquilla.

### **4.2 Recomendaciones**

Realizar un mantenimiento de las boquillas cada 2 meses, para la limpieza de los filtros que tienen internamente.

Utilizar un arrancador suave para el encendido de la bomba, debido a que permite proteger al motor de la misma y al no tener que variar la velocidad en ningún momento.

En caso de requiera mayor presión para eliminar las capas de óxido de la palanquilla, disminuir el diámetro del pistón, hasta donde el catálogo de la bomba lo permita.

Es recomendable el uso de mangueras en la descarga y succión de la bomba, con el fin de que ayuden a los amortiguadores a reducir las pulsaciones que genera la bomba.

Se recomienda realizar pruebas hidrostáticas bajo la norma ASME B31.3 vigente, para comprobar que no exista la presencia de liqueos en la trayectoria de flujo y comprobar la resistencia de la tubería seleccionada para descarga de la bomba.

### **4.3 Líneas futuras**

Realizar el estudio, del uso cuatro bombas en paralelo de un pistón de acción simple, cada bomba estaría a cargo de limpieza de una cara superficial de la palanquilla.

Para el diseño y construcción utilizar una válvula de control de 3 vías y 2 posiciones, para que pueda ser instalada en la línea principal de descarga de la bomba y no de forma paralela como en el diseño presentado en el presente trabajo de titulación.

## **5. Referencias**

ASME. (2020). *B31.3 Process Piping Code for Pressure Piping*.

ASTM A53, I. (2020). *A53 Standard Specification for Pipe, Steel, Black and Hot-Dipped, Zinc-Coated, Welded and Seamless*.

Cengel, Y., & Cimbala, J. (2018). *Mecánica de fluidos: Fundamentos y aplicaciones*. Mexico D.F.: McGrawHill Education.

Chavez, M. (2016). *Proceso de decapado de metales*.

Creus, A. (2010). *Instrumentación industrial*. Mexico : Marcombo.

Enriquez, J., Tremps, E., De Élio, S., & Fernandez, D. (2010). *Monografías sobre tecnología del acero*. Madrid.

- Hidracar S.A. (01 de 01 de 2019). *Amortiguadores de pulsaciones*. Obtenido de Hidracar.com: <https://pulsation-dampers-hidracar.com/productos/amortiguadores-de-pulsaciones/>
- ingots, D. f. (10 de agosto de 2017). *HERMETIK-Hochdruckpumpen-Ventile-Duesenkoepfe-Entzunderungsanlagen; Hermetik Pump International GmbH*. Obtenido de <https://hermetikpump.com/en/applications/steel/descaler-for-ingots>
- Lechler. (2016). *Descaling*. Obtenido de <https://www.lechler.com/en/en/applications/descaling>
- Martinez Gea, J., Villar Martinez, M. Á., Martinez, A. J., & Manjón-Cabeza Muñoz, F. (2001). *Tecnología*. Sevilla: MAD-Eduforma.
- Mataix, C. (1986). *Mecánica de fluidos y maquinas hidráulicas*. Madrid: Ediciones Del Castillo.
- Mott, R., & Untener, J. (2015). *Mecanica de fluidos*. Mexico D.F.: PEARSON Education .
- Mott, R., & Untener, J. (2015). *Mecánica de Fluidos*. Mexico D.F.: PEARSON Education.
- Notas-Fampro. (2016). Amortiguadores de Pulsaciones. *One Stop*, 1.
- Roe-Co. (2020). *Hidrolimpieza de superficies con equipos de agua a alta presión*. Madrid.
- Roledo, C. (2013). Laminación . *Laminación* (pág. 61). Bogota: Escuela Colombiana de Ciencias Industriales.
- Salazar, A. (2019). ¿Que es la cascarilla? *Aceros y laminación*, 1.
- Salazár, A. (2019). ¿Que es la palanquilla? *Laminas y Aceros*, 2.
- Wheelabrator. (2019). Descaling steel in industry. *Wheelabrator A Nordican Industry*, 2.
- world, W. p. (s.f.). Obtenido de (s/f). Nov.com: <https://www.nov.com/>



## **ANEXOS**

**Anexo 1:** Casa de la calidad

**Anexo 2:** Factor de reducción a la resistencia de la junta de soldadura W.

**Anexo 3:** Valores de coeficientes Y

**Anexo 4:** Esfuerzo permisibles en función de la temperatura.

**Anexo 5:** Catálogo de instalación de boquillas.

**Anexo 6:** Catalogo válvula de control.

**Anexo 7:** Catalogo tuberías

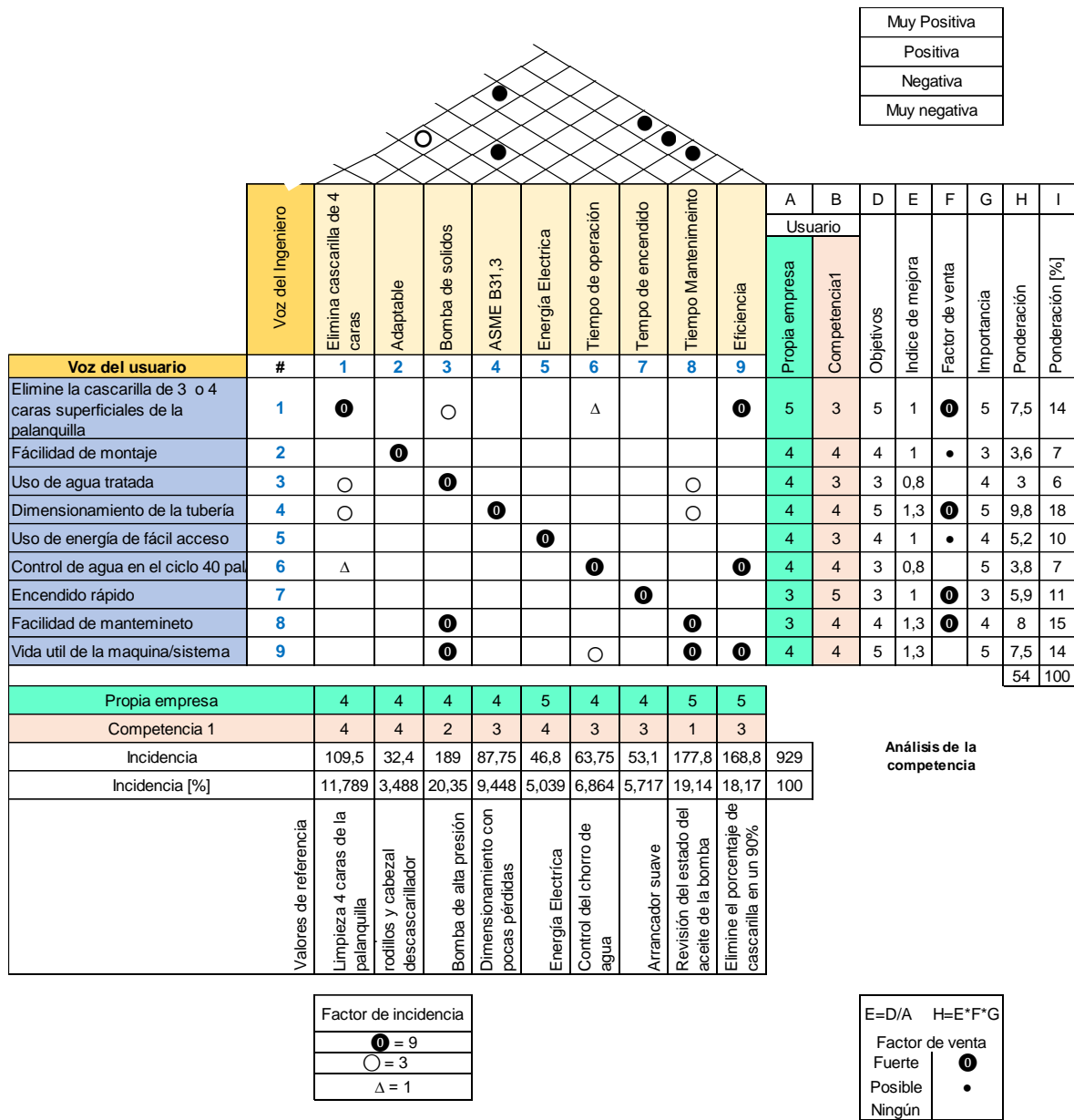
**Anexo 8:** Catalogo Dampener (Amortiguador de pulsaciones)

**Anexo 9:** Resistencia de válvulas y accesorios

**Anexo 10:** Resistencia de contracción y expansión súbita.

**Anexo 11:** P&ID Maquina/Sistema para eliminar la cascarilla.

# Anexo 1: Casa de la calidad



(Fuente: Propia)

**Anexo 2:** Factor de reducción a la resistencia de la junta de soldadura W.

**Table 302.3.5 Weld Joint Strength Reduction Factor, W**

Steel Group	Component Temperature, $T_b$ °C (°F)														
	≤427 (≤800)	454 (850)	482 (900)	510 (950)	538 (1,000)	566 (1,050)	593 (1,100)	621 (1,150)	649 (1,200)	677 (1,250)	704 (1,300)	732 (1,350)	760 (1,400)	788 (1,450)	816 (1,500)
Carbon Steel	1	1	1	1	1	1	1	...	...	...	...	...	...	...	...
CrMo [Notes (1)-(3)]	1	0.95	0.91	0.86	0.82	0.77	0.73	0.68	0.64	...	...	...	...	...	...
CSEF (N + T) [Notes (3)-(5)]	...	...	...	1	0.95	0.91	0.86	0.82	0.77	...	...	...	...	...	...
CSEF [Notes (3) and (4)] (Subcritical PWHT)	...	...	1	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	...	...	...	...	...	...
Autogenous welds in austenitic stainless grade 3xx, and N088xx and N066xx nickel alloys [Note (6)]	...	...	...	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Austenitic stainless grade 3xx and N088xx nickel alloys [Notes (7) and (8)]	...	...	...	1	0.95	0.91	0.86	0.82	0.77	0.73	0.68	0.64	0.59	0.55	0.5
Other materials [Note (9)]	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...

(Fuente: ASME B31.3.-2020)

**Anexo 3:** Valores de coeficientes Y

ASME B31.3-2020

**Table 304.1.1 Values of Coefficient Y for  $t < D/6$**

Material	Temperature, °C (°F)							
	482 (900) and Below	510 (950)	538 (1,000)	566 (1,050)	593 (1,100)	621 (1,150)	649 (1,200)	677 (1,250) and Above
Ferritic steels	0.4	0.5	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
Austenitic steels	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.7	0.7	0.7
Nickel alloys UNS Nos. N06617, N08800, N08810, and N08825	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.7
Gray iron	0.0	...	...	...	...	...	...	...
Other ductile metals	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4

(Fuente: ASME B31.3-2020)

**Anexo 4:** Esfuerzo permisibles en función de la temperatura.

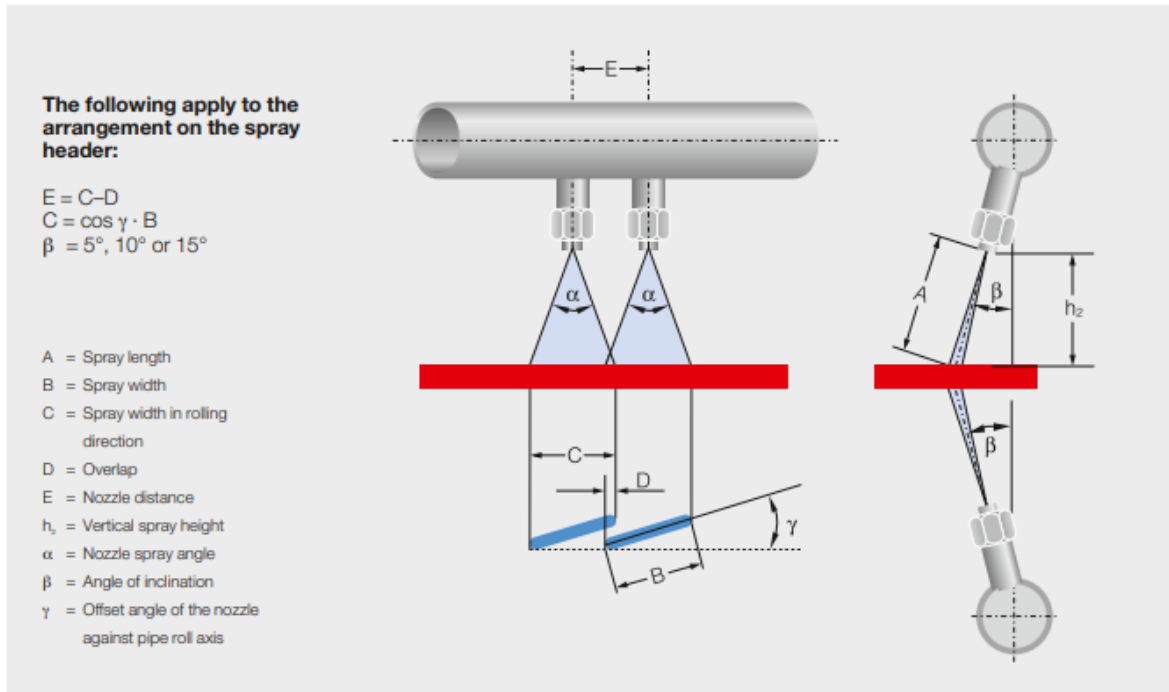
Numbers in Parentheses Refer to Notes for Appendix A Tables; Specifications Are ASTM Unless Otherwise Indicated

Basic Allowable Stress, *S*, ksi, at Metal Temperature, °F [Notes (1), (4a)]

300	400	500	600	650	700	750	800	850	900	950	1,000	1,050	1,100	Type/ Grade	Spec. No.
Carbon Steel — Pipes and Tubes															
14.2	13.7	13.0	12.3	11.9	11.5	10.7	9.2	7.9	5.9	...	...	...	...	...	A134
14.2	13.7	13.0	12.3	11.9	11.5	10.7	9.2	7.9	5.9	4.0	2.5	1.6	1.0	A45	A672
14.7	14.2	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	A25	API 5L
14.7	14.2	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	A25	API 5L
15.3	14.8	14.1	13.3	12.8	12.4	10.7	9.2	7.9	5.9	4.0	2.5	1.6	1.0	...	A179
16.0	16.0	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	A	A53
16.0	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	A	A139
16.0	16.0	16.0	15.3	14.6	12.5	10.7	9.2	7.9	...	...	...	...	...	...	A587
16.0	16.0	16.0	15.3	14.6	12.5	10.7	9.2	7.9	5.9	4.0	2.5	1.6	1.0	A	A53
16.0	16.0	16.0	15.3	14.6	12.5	10.7	9.2	7.9	5.9	4.0	2.5	1.6	1.0	A	A106
16.0	16.0	16.0	15.3	14.6	12.5	10.7	9.2	7.9	5.9	4.0	2.5	1.6	1.0	A	A135
16.0	16.0	16.0	15.3	14.6	12.5	10.7	9.2	7.9	5.9	4.0	2.5	1.6	1.0	FPA	A369
16.0	16.0	16.0	15.3	14.6	12.5	10.7	9.2	7.9	5.9	4.0	2.5	1.6	1.0	A	API 5L
15.9	15.4	14.7	13.8	13.3	12.5	10.7	9.2	7.9	5.9	...	...	...	...	...	A134
15.9	15.4	14.7	13.8	13.3	12.5	10.7	9.2	7.9	5.9	4.0	2.5	1.6	1.0	A50	A672
17.7	17.1	16.3	15.3	14.8	14.3	13.0	10.8	8.7	5.9	...	...	...	...	...	A134
17.7	17.1	16.3	15.3	14.8	14.3	13.0	10.8	8.7	5.9	4.0	2.5	...	...	II	A524
17.7	17.1	16.3	15.3	14.8	14.3	13.0	10.8	8.7	5.9	4.0	2.5	1.6	1.0	1	A333
17.7	17.1	16.3	15.3	14.8	14.3	13.0	10.8	8.7	5.9	4.0	2.5	1.6	1.0	1	A334
17.7	17.1	16.3	15.3	14.8	14.3	13.0	10.8	8.7	5.9	4.0	2.5	1.6	1.0	CA55	A671
17.7	17.1	16.3	15.3	14.8	14.3	13.0	10.8	8.7	5.9	4.0	2.5	1.6	1.0	A55	A672
17.7	17.1	16.3	15.3	14.8	14.3	13.0	10.8	8.7	5.9	4.0	2.5	1.6	1.0	C55	A672

(Fuente: ASME B31.3-2020)

**Anexo 5:** Catálogo de instalación de boquillas.



**Spray length (A), Spray width (B, C), Overlap (D), Nozzle distance (E) at vertical spray height ( $h_v$ ), Nozzle spray angle ( $\alpha$ ) and Angle of inclination ( $\beta$ )**

Vertical spraying height $h_v$ [mm]	Angle of inclination $\beta = 15^\circ$ A [mm]	Nominal nozzle spray angle $\alpha$ at $p = 150$ bar																			
		$\alpha = 22^\circ$				$\alpha = 26^\circ$				$\alpha = 30^\circ$				$\alpha = 34^\circ$				$\alpha = 40^\circ$			
		B [mm]	C [mm]	D [mm]	E [mm]	B [mm]	C [mm]	D [mm]	E [mm]	B [mm]	C [mm]	D [mm]	E [mm]	B [mm]	C [mm]	D [mm]	E [mm]	B [mm]	C [mm]	D [mm]	E [mm]
50	52	26	25	-	-	30	29	-	-	35	34	-	-	39	38	-	-	47	45	5	40 <sup>1</sup>
75	78	36	35	-	-	43	42	5	37 <sup>1</sup>	49	47	5	42 <sup>1</sup>	55	53	6	47 <sup>2</sup>	67	65	7	58 <sup>2</sup>
100	104	47	45	7	38 <sup>1</sup>	56	54	5	49 <sup>2</sup>	64	62	5	57 <sup>3</sup>	71	69	7	62 <sup>3</sup>	88	85	8	77
125	129	57	55	7	48 <sup>2</sup>	68	66	7	59 <sup>3</sup>	78	75	7	68	87	84	9	75	108	104	10	94
150	155	68	66	8	58 <sup>3</sup>	81	78	7	71	93	90	8	82	103	99	9	90	128	124	10	114
200	207	89	86	9	77	106	102	10	92	122	118	10	108	134	129	13	116	168	162	15	147
250	259	111	107	11	96	132	128	10	118	151	146	15	131	166	160	15	145	209	202	15	187

(Fuente: LECHLER)

# VALV-TROL 4" NORMALLY OPEN BALANCED 2-WAY/2-POSITION VALVE

## FOR WATER, 95/5, OIL OR OTHER LIQUIDS

35 PSI (2.4 Bar) air  
recommended on  
diaphragm



The **Valv-Trol 4" Normally Open Balanced 2-Way Valve** (Model D-1022) is our 4" Balanced 2-Way Valve in its normally open configuration. (See Bulletin A-30 for 4" Normally Closed version.) This valve is similar to our smaller Balanced 2-Way Valve (see Bulletin A-5), but comes standard with a steel body. This gives us great flexibility in designing the valve to meet your exact requirements.

**Standard model has 4-bolt socket weld flanges.**  
*Compact to save money, as well as space, since extra companion flanges are not needed. Other flanges available..*

**Other versions of this valve carry conservative ratings up to 6,000 PSI (415 Bar).**

**Maintenance is simplified.**  
*Can be fully serviced without removal from the line.*

Port Model	Max. Size	PSI *	Cv	Construction *		
				Body	Replaceable Trim	Seals
D-1022-S	4" Flanged	3,000 (240 Bar)	153.0	Steel	Hardened S.S.	Buna N

\*Consult factory for special requirements.

### The Valv-Trol Advantage

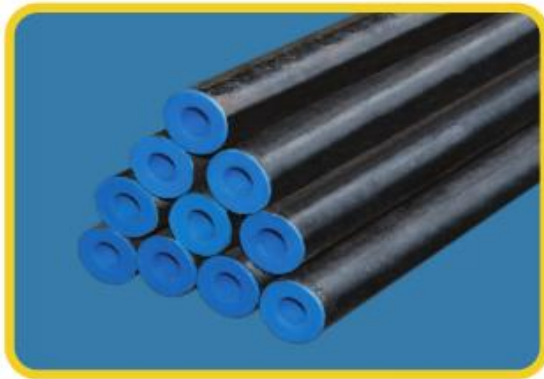
Many parts of Valv-Trol Valves are interchangeable between the same size 2-way, 3-way, and check valves. This helps you to reduce your spare parts inventory and allows us to maintain a more complete inventory for emergency availability and shorter lead times.

Our valves are all subjected to 100% pressure testing to ensure a drop tight seal before we ship to our customers.

THE VALV-TROL COMPANY • 1340 COMMERCE DRIVE • STOW, OHIO 44224  
Phone: 800-497-2136 • Fax: (330) 686-2820 • E-mail: sales@valv-trol.com • www.valv-trol.com

© 2011 The Valv-Trol Company, all rights reserved

**Anexo 7: Catalogo tuberías**



**Especificaciones Generales:**

**ASTM A 53 GRB:** Conducción fluidos y gases en minería, petroquímica, pesca y en general.

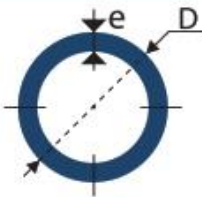
**API 5L:** Tubos para industria petrolera

**ASTM A 106:** Tubos para servicio a altas temperaturas

**Recubrimiento:** Negro o galvanizado

**Largo normal:** 6,00 mts.

**Acabado:** Acero negro



PROPIEDADES MECÁNICAS				
RESISTENCIA MECÁNICA		PUNTO DE FLUENCIA		Elongación % Min
Kg/mm <sup>2</sup>	Psi	Kg/mm <sup>2</sup>	Psi	
42.2	60000	24.6	35000	30 - 35

COMPOSICIÓN QUÍMICA %			
C Max	Mn	P Max	S Max
0.3	1.2	0.05	0.06

DIÁMETRO			PROPIEDADES				
INTERIOR	EXTERIOR (D)		ESPESOR (e)		PRESIÓN/PRUEBA		PESO
pulg	mm	pulg	mm	pulg	kg/cm <sup>2</sup>	lb/pulg <sup>2</sup>	kg/mts
1/2"	21.30	0.84	3.73	0.14	60	850	1.62
3/4"	26.70	1.05	3.91	0.15	60	850	2.19
1"	33.40	1.31	4.55	0.17	60	850	3.23
1 1/4"	42.20	1.66	4.85	0.19	134	1900	4.47
1 1/2"	48.30	1.90	5.08	0.20	134	1900	5.41
2"	60.30	2.37	5.54	0.21	176	2500	7.48
2 1/2"	73.00	2.87	7.01	0.27	176	2500	11.41
3"	88.90	3.50	7.62	0.30	176	2500	15.27
4"	114.30	4.50	8.56	0.33	197	2800	22.31
6"	168.30	6.62	10.97	0.43	193	2740	42.56

(Fuente: Dipac)



## Anexo 8: Catalogo Dampener (Amortiguador de pulsaciones)

ENGINEERING DATA					
275 PSI PRESSURE RATING					
Capacity (Gal)	Model No.	Width	Dimensions (inches)		Weight (lbs)
			Shell Height	Overall Height	
1/2	See Note				
1	IP-1-275	10-1/2	10	16-1/4	70
2-1/2	IP-2 1/2-275	12-3/4	11 1/2	17-1/2	85
5	IP-5-275	16-1/4	14 1/2	20-5/8	130
10	See Note				
20	SS-20-275	24	20 3/4	27	450
NOTE: For 10-gallon units, use IP-10-1440 with ANSI 150 connections. For 1/2-gallon units, use IP-1/2-3600 with ANSI 150 connections.					
1,440 PSI PRESSURE RATING					
Capacity (Gal)	Model No.	Width	Dimensions (inches)		Weight (lbs)
			Shell Height	Overall Height	
1/2	See Note				
*1	IP-1-1440	10-1/2	10 1/4	16 1/2	75
**2-1/2	IP-2 1/2-1440	14 1/4	13	18 1/2	220
**5	IP 5 1440	17 1/2	16 1/4	22 1/2	310
10	IP-10-1440	20 1/4	20 1/8	25	410
NOTE: For 1/2-gallon unit, see IP-1/2-3600 with ANSI 600 connections.					
3,600 PSI PRESSURE RATING					
Capacity (Gal)	Model No.	Width	Dimensions (inches)		Weight (lbs)
			Shell Height	Overall Height	
1/2	IP-1/2-3600	8 1/4	9	14	60
1	IP-1-3600	11 1/4	11	17	165
2-1/2	IP-2 1/2-3600	14 1/4	13-1/4	19-1/2	220
5	IP-5-3600	17 1/2	16-1/2	22-5/8	300
10	IP-10-3600	21 3/8	21-1/4	27-1/2	708
6,000 PSI PRESSURE RATING					
Capacity (Gal)	Model No.	Width	Dimensions (inches)		Weight (lbs)
			Shell Height	Overall Height	
1	IP-1-6000	12-5/8	12-3/4	19	200
2 1/2	IP-2 1/2-6000	15-5/8	15-1/4	21-1/2	330
5	IP-5-6000	20	17-1/2	23-3/4	600
10,000 PSI PRESSURE RATING					
Capacity (Gal)	Model No.	Width	Dimensions (inches)		Weight (lbs)
			Shell Height	Overall Height	
2-1/2	IP-2 1/2-10000	18	16	22-1/2	520
5	IP-5-10000	22-1/2	19-5/8	26	1100

### THE HYDRIL IP ADVANTAGE

Offering outstanding performance and a wide range of compatibility options, Hydril IP dampeners/accumulators were designed specifically for industrial and production operations. Combining efficiency and reliability with superior corrosion resistance, these are the dampeners of choice for surge absorption, thermal expansion and hydraulic accumulator applications.



(Fuente: Hydril)

**Anexo 9:** Resistencia de válvulas y accesorios

**TABLA 10.4** Resistencia en válvulas y accesorios expresada como la longitud equivalente en diámetros de tubería,  $L_e/D$

Tipo	Longitud equivalente en diámetros de tubería $L_e/D$
Válvula de globo —totalmente abierta	340
Válvula de ángulo —totalmente abierta	150
Válvula de compuerta —totalmente abierta	8
—abierta $\frac{3}{4}$	35
—abierta $\frac{1}{2}$	160
—abierta $\frac{1}{4}$	900
Válvula de retención —tipo oscilante	100
Válvula de retención —tipo bola	150
Válvula de mariposa —totalmente abierta, 2-8 in	45
—10-14 in	35
—16-24 in	25
Válvula de pie —tipo disco de vástago	420
Válvula de pie —tipo disco de bisagras	75
Codo estándar de 90°	30
Codo de 90° y radio largo	20
Codo de 90° para calle	50
Codo estándar de 45°	16
Codo de 45° para calle	26
Doblez de retorno cerrado	50
Te estándar —con flujo por la línea principal	20
—con flujo por la ramificación	60

(Reproducido con autorización de Crane Co. *Flow of Fluids through Valves, Fittings and Pipe*, artículo técnico núm. 410, 2011. Todos los derechos reservados).

(Mott & Untener, Mecánica de fluidos, 2015)

(ASME, 2020)

**Anexo 10:** Resistencia de contracción y expansión súbita.

**TABLA 10.3A** Coeficiente de resistencia —contracción súbita—. Datos para la figura 10.8

$D_2/D_1$	Velocidad $v_2$								
	0.6 m/s 2 ft/s	1.2 m/s 4 ft/s	1.8 m/s 6 ft/s	2.4 m/s 8 ft/s	3 m/s 10 ft/s	4.5 m/s 15 ft/s	6 m/s 20 ft/s	9 m/s 30 ft/s	12 m/s 40 ft/s
1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1.1	0.03	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.05	0.05	0.06
1.2	0.07	0.07	0.07	0.07	0.08	0.08	0.09	0.10	0.11
1.4	0.17	0.17	0.17	0.17	0.18	0.18	0.18	0.19	0.20
1.6	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.25	0.25	0.25	0.24
1.8	0.34	0.34	0.34	0.33	0.33	0.32	0.31	0.29	0.27
2.0	0.38	0.37	0.37	0.36	0.36	0.34	0.33	0.31	0.29
2.2	0.40	0.40	0.39	0.39	0.38	0.37	0.35	0.33	0.30
2.5	0.42	0.42	0.41	0.40	0.40	0.38	0.37	0.34	0.31
3.0	0.44	0.44	0.43	0.42	0.42	0.40	0.39	0.36	0.33
4.0	0.47	0.46	0.45	0.45	0.44	0.42	0.41	0.37	0.34
5.0	0.48	0.47	0.47	0.46	0.45	0.44	0.42	0.38	0.35
10.0	0.49	0.48	0.48	0.47	0.46	0.45	0.43	0.40	0.36
$\infty$	0.49	0.48	0.48	0.47	0.47	0.45	0.44	0.41	0.38

**TABLA 10.3B** Coeficiente de resistencia —ampliación súbita—. Datos métricos

$D_2/D_1$	Velocidad $v_2$ , m/s										
	0.5	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0
1.1	0.03	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
1.2	0.07	0.07	0.07	0.08	0.08	0.08	0.09	0.09	0.10	0.10	0.10
1.4	0.17	0.17	0.17	0.18	0.18	0.18	0.18	0.19	0.19	0.19	0.19
1.6	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.25	0.25	0.25	0.25	0.24
1.8	0.34	0.34	0.34	0.33	0.32	0.31	0.31	0.30	0.29	0.29	0.28
2.0	0.38	0.38	0.37	0.36	0.35	0.34	0.33	0.33	0.32	0.31	0.30
2.2	0.40	0.40	0.39	0.38	0.37	0.36	0.35	0.35	0.34	0.33	0.32
2.5	0.42	0.42	0.41	0.40	0.39	0.38	0.37	0.36	0.35	0.34	0.33
3.0	0.44	0.44	0.43	0.42	0.41	0.40	0.39	0.38	0.37	0.36	0.35
4.0	0.47	0.46	0.45	0.44	0.43	0.42	0.41	0.40	0.38	0.37	0.36
5.0	0.48	0.48	0.46	0.45	0.45	0.44	0.42	0.41	0.39	0.38	0.37
10.0	0.49	0.48	0.47	0.46	0.46	0.44	0.43	0.42	0.41	0.40	0.39
$\infty$	0.49	0.49	0.47	0.47	0.46	0.45	0.44	0.43	0.42	0.41	0.40

$D_2/D_1$  —relación del diámetro de la tubería más grande sobre el diámetro de la tubería más pequeña;  $v_2$  —velocidad en la tubería más pequeña.  
Fuente: Brater, Ernest F., Horace W. King, James E. Lindell y C. Y. Wei. 1996. *Handbook of Hydraulics*, 7a. ed. Nueva York: McGraw-Hill, tabla 6-7.

(Mott & Untener, Mecanica de fluidos, 2015)