



# *UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA*

*AREA DE LA ENERGÍA, LAS INDUSTRIAS  
Y LOS RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES*

*CARRERA  
INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA*

**TEMA:**

*“DISEÑO DE UNA MÁQUINA DE CORTE DE CHAPAS DE  
ACERO INOXIDABLE POR CHORRO DE AGUA Y  
ABRASIVOS”*

Tesis de Grado previa la obtención  
del Título de Ingeniero en  
Electromecánica.

**AUTOR:**

RODRIGO FABIAN ESPARZA HURTADO

**DIRECTOR:**

ING. DARWIN TAPIA PERALTA

**ASESORES:**

Dr. ALBERTO VELAZQUEZ DEL ROSARIO  
Lic. TOMAS FERNANDEZ COLUMBIE

*LOJA - ECUADOR*

**2004**

## **CERTIFICACIÓN**

Ing. Darwin Tapia Peralta  
DIRECTOR DE TESIS

### **CERTIFICA:**

Haber dirigido, asesorado, revisado y corregido el presente trabajo de tesis de grado, en su proceso de investigación, bajo el tema “**DISEÑO DE UNA MÁQUINA DE CORTE DE CHAPAS DE ACERO INOXIDABLE POR CHORRO DE AGUA Y ABRASIVOS**”, previa a la obtención del título de **INGENIERO ELECTROMECAÁNICO**, realizado por el **Señor Estudiante: Rodrigo Fabián Esparza Hurtado**, la misma que cumple con la reglamentación y políticas de investigación, por lo que utilizamos su presentación y posterior sustentación defensa.

Loja, Septiembre del 2004

---

Ing. Darwin Tapia Peralta  
DIRECTOR DE TESIS

## *DECLARACIÓN DE AUTORIA*

Yo:

*RODRIGO FABIÁN ESPARZA HURTADO*, como autor intelectual de este trabajo de tesis, autorizo a el Área de Energía, Industrias y Recursos Naturales no Renovables; a hacer uso del mismo, con la finalidad que esta estime conveniente.

-----  
Rodrigo Fabián Esparza Hurtado

## *DEDICATORIA*

El presente trabajo de Tesis constituye uno de mis primeros logros para alcanzar las metas propuestas, lo dedico en especial:

A mis padres Víctor y Carmita, por desempeñar su labor de manera adecuada, encaminando mi vida hacia el bien, por inculcar en mi trabajo y sacrificio, bases fundamentales para obtener las metas propuestas y por brindarme todo su apoyo, cariño y comprensión en todo momento en las diferentes etapas de mi vida, además se que este trabajo constituye en una recompensa de mi persona para todos sus inmensos esfuerzos.

A mis hermanos Marcia, Diego, Marcelo, Verónica y Silvana; por toda una vida compartida con ellos por su confianza, apoyo incondicional en cada instante de este largo camino, sentimiento recíproco que se ve reflejado en mi anhelo de verlos a todos ellos triunfar en la vida, alcanzando metas más grandes que las mías.

A Mayrita que se a convertido en uno de los seres más importantes y especiales de mi vida, por depositar en mi amor y confianza y a quien considero un ser triunfador con la suficiente capacidad de sobresalir ante las adversidades, ayudándome de esta manera a tener fuerza y afianzando mis sueños de alcanzar la cima y a querer dar todo de mi en el intento.

A mis abuelitos Alfredo, Segundo, Rosa e Isabel, a mis tíos Maria, Mariana, Laura, Jorge, Rosario, César, Luis, Mercedes, Diana y en especial a mi gran amigo Manuel Alejandro, por ser todos ellos ejemplo de sacrificio y pujanza, por sus consejos inculcados para lograr mis propósitos.

A todos mis primos que de una u otra manera colaboraron en mi persona para alcanzar mis más grandes anhelos de superación.

## **AGRADECIMIENTO**

Primeramente agradezco antes que nada a Dios por permitirme hacer realidad una de mis mas anheladas ilusiones.

A mis padres propulsores de mi formación y educación, y a toda mi familia.

Agradezco a todas y cada una de las personas que me ayudaron durante el desarrollo del presente Trabajo de Tesis desde su concepción hasta su culminación.

Al Ing. Darwin Tapia, por su incentivo de realizar un trabajo encaminado a la búsqueda de nuevos procedimientos y modernas tecnologías, permitiéndome con ello aportar con conocimientos actualizados para el desarrollo de este innovador tipo de máquina.

A todos y cada uno de los docentes y personal administrativo del Área de la Energía, Industrias y Recursos Naturales no renovables por inculcarnos sus conocimientos sin ningún tipo de restricciones.

Al Dr. Alberto Velázquez y al Lic. Tomas Fernández Columbié, mis tutores del Instituto Minero Metalúrgico de Moa - Cuba, al personal Técnico del Departamento de Mecánica del ISMM, por su disposición y desinteresada ayuda en el desarrollo del presente trabajo.

A todos mis compañeros de residencia por su apoyo moral e intelectual, convirtiendo nuestra morada en un lugar grato, lleno de respeto y aprecio.

A los que me han dado su apoyo a lo largo de mi formación como profesional.

A todos desde lo más profundo de mi corazón:

***“MUCHAS GRACIAS”***

## **RESUMEN**

El presente trabajo de tesis consiste en el diseño de una máquina de corte de chapas de acero inoxidable austenítico AISI 310 de hasta 5 mm de espesor por chorro de agua a alta presión combinado con partículas abrasivas; para esta máquina hemos tomado como punto central de diseño al acero AISI 310 ya que posee una mayor resistencia a la rotura que los demás aceros de su clase y también en la industria metalmecánica de la ciudad de Loja no existen esta nueva tecnología de corte lo que hace imprescindible este tipo de investigaciones ya que la demanda de diseños de piezas con este tipo de aceros es amplia; esta máquina en la industria podrá cortar casi todo tipo de material como: acero, hierro, mármol, vidrio, madera, titanio, etc. La energía que producirá la mezcla, más la presión que proporcionará la bomba, son los factores que producirán en el material la denominada micro erosión, en donde el agua trabajará como agente refrescante de la pieza contribuyendo para un acabado de corte con alta calidad estética.

## **SUMMARY**

The present thesis work consists on the design of a machine of court of foils of stainless steel AISI 310 of up to 5 mm of thickness for jet of water to high pressure combined with abrasive particles; for this machine we have taken as central point of design to the steel AISI 310 since it possesses a bigger resistance to the break that the other steels of their class and also in the mechanical industry metal of the city of Loja they don't exist this new court technology that he/she makes indispensable this type of investigations since the demand of designs of pieces with this type of steels is wide; this machine in the industry will be able to almost cut all material type as: I steel, iron, marble, glass, wood, titanium, etc. The energy that will produce the mixture, more the pressure that will provide the bomb, is the factors that will take place in the material the denominated micro erosion where the water will work as refreshing agent of the piece contributing for a court finish with high aesthetic quality.

## **INDICE**

<b>PORTADA.</b>	I
<b>CERTIFICACIÓN.</b>	II
<b>DECLARACIÓN DE AUTORIA</b>	III
<b>DEDICATORIA.</b>	IV
<b>AGRADECIMIENTO.</b>	V
<b>RESUMEN.</b>	VI
<b>INDICE.</b>	VII

## **CAPITULO I**

### **PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN**

1.1	Introducción.	13
1.2	Antecedentes.	14
1.3	Estado del arte.	15
1.4	Situación problemática.	16
1.4.1	Problema general.	16
1.4.2	Objetivo general.	16
1.4.3	Objetivos específicos.	17
1.4.4	Hipótesis general.	17
1.4.5	Hipótesis específica.	18

## **CAPITULO II**

### **DECLARACIÓN TEÓRICA**

#### **CHAPAS**

2.1	Introducción.	19
2.2	Clasificación de las chapas.	19
2.3	Corte de las chapas.	20
2.3.1	Generalidades.	20
2.3.2	Oxicorte.	21
2.3.3	Corte por plasma de arco.	21

## ***ACEROS Y ABRASIVOS***

### ***ACEROS***

2.4	Aceros inoxidables. . . . .	22
2.4.1	Aceros inoxidables austeníticos. . . . .	23
2.4.2	Datos característicos de los aceros inoxidables austeníticos. . . . .	24

### ***ABRASIVOS***

2.5	Introducción. . . . .	25
2.6	El granate. . . . .	27
2.7	Características.. . . .	27
2.7.1	Durezas. . . . .	27
2.8	Estimación experimental de la energía de chorro de agua-abrasivo. . . . .	28
2.8.1	Introducción. . . . .	28
2.8.2	Valores experimentales de las constantes (para aceros inoxidables). . . . .	29
2.9	Origen del microvirutamiento.. . . .	30

### ***TUBO MEZCLADOR***

2.10	Características. . . . .	31
2.10.1	Introducción. . . . .	31
2.10.2	Carburo de tungsteno (WC). . . . .	31
2.10.3	Otras alternativas. . . . .	33

### ***BOMBA DE ALTA PRESIÓN***

2.11	Introducción. . . . .	33
2.11.1	Clasificación. . . . .	34
2.11.2	Irregularidades del caudal. . . . .	35
2.12	Bomba de pistones en línea. . . . .	38

2.13	Bomba de inyección. . . . .	38
2.13.1	Introducción. . . . .	38
2.13.2	Bomba de inyección en línea. . . . .	40
2.13.3	Descripción de la bomba. . . . .	40

***CAPITULO III  
CÁLCULOS PARA EL DISEÑO***

3.1	Medio de corte. . . . .	42
-----	-------------------------	----

***1<sup>ra</sup> ETAPA: CÁLCULO DE LA ENERGÍA NECESARIA***

3.2	Datos característicos del acero inoxidable austenítico AISI 310. . . . .	43
3.3	Fuerza y energía requerida para el corte. . . . .	43

***2<sup>da</sup> ETAPA: ENERGÍA DEL CHORRO DE AGUA***

3.4	Cálculo de la presión de la bomba para un flujo de agua “pura”. . . . .	45
3.5	Cálculo de la presión de la bomba para un flujo mezcla de agua y otro elemento elevador de la densidad. . . . .	48

***3<sup>a</sup> ETAPA: ESTUDIO DEL TIPO Y CARACTERÍSTICAS QUE DEBE REUNIR  
EL ABRASIVO***

3.6	Selección del abrasivo. . . . .	49
3.6.1	Lugares de obtención. . . . .	50
3.6.2	Parámetros fijados. . . . .	51

***4<sup>ta</sup> ETAPA: SISTEMA DE MEZCLADO DEL AGUA Y DEL ABRASIVO***

3.7	Introducción. . . . .	51
-----	-----------------------	----

3.8	Diseño del sistema de mezclado agua-abrasivo. . . . .	52
3.8.1	Dosificación por medio de placa de orificios. . . . .	52
3.9	Valores característicos de la mezcla agua-abrasivo. . . . .	56

**5<sup>ta</sup> ETAPA: BOQUILLA DE CORTE**

3.10	Introducción. . . . .	58
3.11	Análisis del tubo mezclador. . . . .	58
3.12	Tipos de materiales de construcción. . . . .	60
3.12.1	Propiedades de los materiales empleados en los tubos mezcladores. . . . .	60
3.13	Selección de la boquilla de corte. . . . .	61

**6<sup>a</sup> ETAPA: BOMBA DE ALTA PRESIÓN**

3.14	Introducción. . . . .	62
3.14.1	Valores importantes a tener en cuenta en el diseño de una bomba. . . . .	62
3.14.2	Análisis de la presión. . . . .	63
3.15	Análisis de las opciones. . . . .	64
3.16	Transformaciones a realizar. . . . .	65
3.17	Diseño constructivo. . . . .	67

**7<sup>ma</sup> ETAPA: SISTEMA DE RECIRCULACIÓN DEL ABRASIVO**

3.18	Introducción. . . . .	68
3.19	Descripción del diseño del (SRAMC).. . . . .	69

**8<sup>a</sup> ETAPA: ESTUDIO FUNCIONAL DEL SISTEMA**

3.20	Circuito. . . . .	71
3.21	Descripción del diagrama principal. . . . .	71

3.22	Componentes. . . . .	72
3.22.1	Filtro. . . . .	72
3.22.2	Bomba auxiliar de la bomba principal.. . . .	72
3.22.2.1	Introducción. . . . .	72
3.22.2.2	Bomba de simple efecto. . . . .	74
3.22.3	Válvula solenoide de boqueo principal. . . . .	75
3.22.4	Elementos de seguridad del circuito. . . . .	75
3.22.4.1	Introducción. . . . .	75
3.21.5	Manómetros. . . . .	76
3.22.6	Componentes de enlace. . . . .	76
3.22.6.1	Datos característicos del componente n°6. . . . .	77
3.22.6.2	Datos característicos del componente n°7. . . . .	77
3.22.7	Unidad colectora. . . . .	77
3.22.8	Acumulador de gas. . . . .	77
3.22.8.1	Introducción. . . . .	77
3.22.8.2	Descripción. . . . .	79
3.22.9	Válvula solenoide (secundaria). . . . .	79
3.23	Parámetros del proyecto. . . . .	79
3.24	Software aplicado al corte por chorro de agua y abrasivos. . . . .	81

***9<sup>na</sup> ETAPA: DISEÑO DE LA BANCADA***

3.25	Diseño de la mesa principal o longitudinal. . . . .	83
3.26	Diseño de las guías. . . . .	84
3.26.1	Estudio de la guía II parte. . . . .	85
3.27	Diseño de la mesa secundaria o transversal. . . . .	86
3.27.1	Estudio de la mesa transversal II parte. . . . .	88
3.28	Cálculo de las guías de la mesa transversal. . . . .	89
3.29	Diseño de la mesa giratoria. . . . .	89
3.29.1	Estudio de la mesa giratoria II parte. . . . .	90
3.30	Diseño del eje soporte. . . . .	91

3.31	Diseño de los pernos que darán movimiento a las mesas. . . . .	93
3.31.1	Estudio de los pernos que darán movimiento a las mesas II parte. . . . .	94
3.32	Diseño del conjunto de engranajes cónicos. . . . .	96
3.33	Diseño del eje que soportara el piñón cónico. . . . .	98
3.33.1	Estudio del eje que soportara el piñón cónico II parte. . . . .	99
3.34	Diseño de la base general de la bancada. . . . .	100
3.34.1	Estudio de la viga horizontal II parte. . . . .	101
3.35	Diseño de los porta piezas. . . . .	103

## ***CAPITULO IV***

### ***VALORACIÓN ECONÓMICA E IMPACTO AMBIENTAL***

#### ***VALORACIÓN ECONÓMICA***

4.1	Costo de la bancada de la máquina de corte. . . . .	105
4.2	Costo del corte. . . . .	106
4.3	Comparación con el corte por plasma. . . . .	108
4.3.1	Introducción. . . . .	108
4.3.2	Tabla comparativa entre ambos procesos. . . . .	109
4.4	Costo de fabricación de la máquina. . . . .	110

#### ***IMPACTO AMBIENTAL***

4.5	La maquina de corte de chapas por chorro de agua-abrasivos y el medio ambiente. . . . .	115
	CONCLUSIONES. . . . .	117
	RECOMENDACIONES. . . . .	118
	BIBLIOGRAFIA. . . . .	119
	ANEXOS	



## *CAPITULO I*

### *PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN*

#### *1.1 INTRODUCCIÓN*

El corte de las chapas de acero inoxidable en la actualidad se realiza por medio de: punzones, cinceles, cizallas, hojas de sierra, oxicorte y por plasma que es el método más reciente e innovador hasta el momento en lo que a corte de chapas de acero inoxidable se refiere.

El corte por medio de plasma tiene los siguientes inconvenientes:

- Deja escoria => tiempo de trabajo posterior para retirarla.
- La zona de corte está sometida a calentamiento (ZAC) => cambios estructurales.
- En la zona afectada por el calor (ZAC) aparece una aureola que perjudica su terminación estética => para retirarla hay que someterla a un lijado (70 % del tiempo de trabajo).

El diseño de esta máquina de corte de chapas de acero inoxidable, mejorará los inconvenientes que provocan los métodos convencionales, tendrá los parámetros adecuados para poder cortar la chapa de acero inoxidable AISI 310, pasando a ser desde este momento como un método actualizado

La sociedad industrial en general será la gran beneficiada con este diseño ya que el 100% de los talleres metal mecánicos que existen en la ciudad de Loja, realizan las operaciones de corte con los sistemas tradicionales ya descritos y casi nunca utilizan la chapa de acero inoxidable para realizar trabajos, teniendo como el sistema más actual de corte de chapas al oxicorte.

El moderno método de corte por plasma es utilizado en la industria metalmecánica existente en las ciudades grandes de nuestro país como es el caso de Quito, Guayaquil y en pocas partes de Cuenca, al mismo que desearían mejorarlo al máximo con este innovador diseño, obteniendo así una superficie de corte excelente sin descuidar la estética del mismo.



Siendo esta la realidad en la industria metalmeccánica de la ciudad de Loja, el país y por ende en Latinoamérica en general, la alternativa de este nuevo sistema de corte de chapas de acero inoxidable por chorro de agua y abrasivos pasaría a ser desde ahora un sistema de actualidad científica y tecnológica, que servirá a la postre para el desarrollo y crecimiento de la industria tercermundista en general y la de nuestro país y ciudad principalmente que es donde nos desenvolvemos cotidianamente, dando a la misma un pensamiento diferente, proyectándose en el futuro como la máquina herramienta principal para la creación de nuevas industrias y fabricas metalmeccánica, generadoras de diferentes productos que no existen en nuestro país como por ejemplo, las calderas que se las importa de países como Estados Unidos y España, etc., y que en un futuro no muy lejano se les podrá fabricar en nuestro país y especialmente en nuestra ciudad.

## **1.2 ANTECEDENTES**

El crecimiento y desarrollo de las ciencias y la tecnología admite a toda la sociedad favorecerse de cada una de las investigaciones y resultados, beneficiándose mediante las experiencias en industrias que tienen que ver con la metalmeccánica y preferentemente con el corte de chapas de acero inoxidable y de los demás materiales utilizados para realizar un sinnúmero de trabajos que se requieren para el desarrollo de la ciudad y el país.

El claro crecimiento que se ha evidenciado en la región sur del Ecuador y específicamente en la ciudad de Loja, ha sido el indicador que permitirá a los diferente talleres e industrias metalmeccánicas a adoptar nuevas tecnologías para incorporarlas al proceso de producción de las mismas, vislumbrándose dentro del campo de la metalmeccánica la introducción de esta tecnología que consiste en el corte de chapas de acero inoxidable por chorro de agua a alta presión y abrasivos.

Fundamentalmente se cimentó este trabajo en la búsqueda de datos a cerca de esta máquina y por resultar muy escasa en bibliografía, se decidió consultar mediante el internet al Dr. A. W. Momber (Duisburg-Alemania) primer investigador en esta temática el mismo inicio sus investigaciones hace tres años, y nos facilitó consideraciones claves que ayudaron enormemente en la culminación de este trabajo de tesis.



### **1.3 ESTADO DEL ARTE**

Antes de mirar los principios y valor de esta tecnología incursionaremos en la historia de las maquinas de corte por chorro de agua a altas presiones.

Esta tecnología data desde el año de 1870 cuando los mineros de oro Californianos necesitaban quitar capas de arena para realizar sus excavaciones, utilizaron agua presurizada descubriendo el gran efecto de este tipo de método.

Por el año de 1920 la máquina de corte estaba empezando a ser usado para el levantamiento esparcir de piedras en los trabajo de construcción.

Los motores de reacción utilizados para este tipo de trabajo en estos centros mineros tenían las proporciones de flujo grandes característico a los niveles de presión de unos 100 bar y sólo eran hasta el momento utilizados para quitar volúmenes grandes de material, sin ser aun en ese tiempo necesario que estas máquinas realizaran un proceso de corte, hasta que en el año de 1950 fueron creadas las primeras bombas de presión extremadamente altas, desarrolladas por la industria McCartney Manufacturing de Kansas EE.UU. para la inyección del catalizador en la producción de polietileno de baja densidad.

En 1963 Ingersoll-Rand compro la industria McCartney y en 1968 el concepto del corte por chorro de agua se vislumbraba con una máquina patentada la misma poseía una presión de 200 bar.

Como se mencionó previamente, la primera aplicación comercial entró en el año de 1971 con un sistema que inventó la industria pionera McCartney, fue fabricado por la industria Ingersoll-Rand se usó para el corte de tubos de enrollamiento de papel, sucesivamente las aplicaciones siguieron rápidamente incluso el corte de materiales del panal de miel usados en la industria aeroespacial que era difícil de procesar usando los métodos de corte tradicionales.

Posteriormente hasta casi nuestra actualidad esta máquina patentada en los Estados Unidos ha servido para trabajos pesados y otros de poca precisión como los mencionados



anteriormente, no obstante hasta hace unos años para ser mas específico en el año 2001 el Dr. Ing. A. W. Momber de Diusburg-Alemania, realizo los primeros estudios para la invención de una máquina de corte de materiales por chorro de agua y abrasivos con una alta precisión, es así que en el mes de Mayo del 2002 el Dr. Momber, culminó sus estudios dotando a la industria de una máquina que corta chapas de aluminio, cobre, titanio, madera, láminas de plástico, vidrio, mármol, acero entre otros.

#### **1.4 SITUACIÓN PROBLEMÁTICA**

Atendiendo a lo anteriormente expuesto podemos resumir que el empleo de los sistemas convencionales de corte de los diferentes materiales y especialmente de las chapas que actualmente se realizan en la ciudad, en el país y en Latinoamérica en general son motivos para la obtención de superficies afectadas en su estructura y en su estética, lo que hacen necesaria la búsqueda de un nuevo y moderno sistema de corte efectivo y económico en su utilización, que en un futuro no muy lejano esta máquina fomentara la creación de nuevas industrias que primordialmente reactivarán la economía local y del resto del país.

##### **1.4.1 PROBLEMA GENERAL**

La ausencia de un proceso tecnológico de corte que evite modificaciones en la composición estructural cristalina de los diferentes materiales utilizados en la industria metalmecánica y en especial la composición estructural del acero inoxidable austenítico AISI 310.

##### **1.4.2 OBJETIVO GENERAL**

Diseñar una máquina de corte de chapas de acero inoxidable de hasta 5 mm, mediante la acción combinada de agua a presión y abrasivos.



### **1.4.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

2. Establecer el tipo de bomba capaz de producir la presión necesaria para vencer la resistencia a la rotura por tracción que presenta la chapa de acero inoxidable austenítico AISI 310.
3. Describir todos los sistemas de corte de chapas utilizados hasta la actualidad para establecer y proponer alternativas diferenciales entre los métodos convencionales y el método innovador de corte de chapas por medio de chorro de agua y abrasivos.
4. Definir exhaustivamente las características tecnológicas de los metales y principalmente las características de la chapa de acero inoxidable austenítico AISI 310.
5. Identificar las propiedades de los materiales abrasivos en general y posteriormente seleccionar el más apropiado para la utilización en esta máquina de corte.
6. Seleccionar la alternativa adecuada para el sistema de mezclado del agua con el material abrasivo.
7. Definir con exactitud el dispositivo de salida y enfoque de la mezcla agua-abrasivo que debe estar sometida a procesos erosivos por parte de las partículas abrasivas.
8. Analizar la velocidad de salida del agua-abrasivo, mediante simulación en el Software ABRCALC.exe, con fines demostrativos.

### **1.4.4 HIPÓTESIS GENERAL**

El diseño de una máquina de corte de chapas de acero inoxidable por chorro de agua y abrasivos establecerá las bases para la socialización de esta tecnología en la industria metalmecánica de la ciudad de Loja.



#### **1.4.5 HIPÓTESIS ESPECÍFICA**

1. El cálculo de la presión requerida para el corte de la chapa de acero inoxidable determinará la selección del tipo de bomba a utilizar.
2. La selección del adecuado sistema de alimentación y mezclado del abrasivo con el agua, determinará un buen rendimiento en la maquina de corte.
3. El diseño del adecuado sistema de salida agua – abrasivo, minimizará el desgaste que va a efectuar el abrasivo a alta presión en la boquilla.
4. La recirculación progresiva del abrasivo utilizado determinará el ahorro en el consumo del mismo y el equilibrio del ecosistema.



## *CAPÍTULO II*

### *DECLARACIÓN TEORICA*

#### *CHAPAS*

##### *2.1 INTRODUCCIÓN*

“La chapa es un producto siderúrgico plano obtenido por laminación, que puede ser en caliente o en frío. Se presenta en forma de hojas de espesores variables. Este espesor varía desde unas décimas de milímetros hasta más de 400 mm.

Actualmente el espesor de las chapas destinadas a la fabricación de calderas para centrales de energía térmica alcanza los 144 mm de espesor”.<sup>1</sup>

##### *2.2 CLASIFICACIÓN DE LAS CHAPAS*

Las chapas se clasifican en tres grandes grupos: chapas gruesas, chapas medias y chapas delgadas.

Las chapas gruesas son las que tienen un espesor superior a los 20 mm; frecuentemente se obtienen en una operación a partir de lingotes de chapa denominados llantones colados.

Las chapas medias son las que están comprendidas entre los 8 y los 20 mm de espesor. Las chapas se recuecen en un horno calentado con gas de gasógeno o avanzan lentamente sobre rodillos refrigerados por una corriente de agua.

Las chapas delgadas son las que tienen menos de 8 mm de espesor. Se laminan partiendo de un semiproducto ya muy aplanado en origen, llamado pletina.

---

<sup>1</sup> MECÁNICA DE TALLER, Soldaduras, Uniones y Calderías; Pág. 89



## **2.3 CORTE DE LA CHAPA**

### **2.3.1 GENERALIDADES**

“El corte es una operación mediante la cual una pieza de forma y contorno definidos es separada del resto del material en elaboración por medio de máquinas adecuadas. El corte de la chapa puede efectuarse en caliente o en frío. El corte en frío se basa en el efecto de la presión ejercida por una herramienta cortante contra la chapa. Según el tipo de elaboración, y en particular según el tipo de corte, hay diversos procedimientos: Corte manual, Cizallado, Corte mediante sierra, Entallado, Punzonado, Taladrado con arranque de viruta”.<sup>2</sup>

El corte manual y el cizallado son operaciones de corte que siguen según las líneas abiertas (contorno).

El entallado, el punzonado y el taladrado siguen el corte según líneas cerradas.

El corte manual es un procedimiento de corte que consiste en la separación del material mediante una sola herramienta que actúa sobre la chapa. Las herramientas de corte manual son sierras, bulones, escalpelos y gubias.

El cizallado consiste en la separación de las partes a cortar mediante el empleo de dos lamas en ángulo, situadas de modo que una lama pueda moverse respecto a la otra según un determinado plano de contacto. Las herramientas usadas en el cizallado son las tijeras y la cizalla manual o mecánica.

El corte mediante sierra se utiliza para una rápida ejecución de cortes simples, directos o inclinados, sobre perfiles, tubos, barras, etc.; para ello se emplea ventajosamente la máquina aserradora. Este tipo de corte se realiza con arranque de material. Las herramientas empleadas (sierras) disponen de numerosos cortes dispuestos en la periferia de un disco (sierra de disco) o a lo largo de una lama rectilínea (sierra de cinta y sierra alternativa). Son

---

<sup>2</sup> TECNOLOGÍA DE LOS METALES (GTZ); Pág. 143-160



adecuadas para los trabajos de taller, así como la tronzadora, que utiliza sierras de disco de diámetros pequeños.

El entallado consiste en realizar sobre el material una abertura según una línea cerrada, puede realizarse a mano, con escalpelo o a máquina.

El punzonado es una operación que se basa en el mismo principio del cizallado; el corte, en vez de ser efectuado a lo largo de una línea abierta, se efectúa a lo largo de una línea cerrada, como un círculo o un polígono. Las máquinas usadas en el punzonado son la punzonadora y la prensa.

El taladrado es otro método para conseguir agujeros con la punta de un taladro, arrancando el material poco a poco a cada vuelta y con formación de viruta. Por medio del taladrado con broca sólo se obtienen agujeros redondos y de diámetro fijo para cada broca. La herramienta arranca el material girando en su propio eje y avanzando en dirección axial. La máquina adecuada para el taladrado con broca es el taladro.

En los procedimientos de corte en caliente están el oxicorte y el corte por plasma, estos dos sistemas de corte son los más modernos y actuales los mismos que se los desea mejorar con este nuevo diseño de máquina de corte.

### ***2.3.2 EL OXICORTE***

El oxicorte aprovecha la propiedad del oxígeno de quemarse por oxidación del metal. Para ello este ha de adquirir un color rojo-blanco por medio de un calentamiento cercano a los 1.200°C. Se trata de una operación mecánica y de una reacción química que permite un sople concentrado de oxígeno, el cual arranca con violencia pequeñísimas partículas del metal incandescente hasta producir un surco profundo en el material y su separación.

### ***2.3.3 CORTE POR PLASMA DE ARCO***

“En el corte por plasma de arco se calienta la pieza por medio de un chorro de gas puesto a muy altas temperaturas, entre 15000°C y 30000°C, por el arco eléctrico, llegando a



emplearse potencias de 100 a 200 kilowatios. El gas a esta temperatura tan elevada llega a disociarse en iones y electrones y es entonces cuando recibe el nombre de plasma”.<sup>3</sup>

Prácticamente se obtiene el plasma de arco haciendo pasar un chorro de gas entre un electrodo y una tobera refrigerada por agua que concentra y dirige la corriente del plasma.

Según el arco salte entre el electrodo y la tobera o entre el electrodo y la pieza o entre el electrodo y la tobera y la pieza simultáneamente, se realizan tres esquemas diferentes y de distinta aplicación. La fuente de alimentación de corriente del arco productor del plasma es generalmente un generador de corriente continua rotativo o convertidor de tensiones de salida (que es el más corriente) de 150, 300 y 400 voltios. Las intensidades empleadas en el corte por plasma de arco son muy elevadas, superando los 1000 amperios.

Los gases más empleados para la producción del plasma son los siguientes:

- Mezcla de argón e hidrógeno para cortar aleaciones ligeras, aunque también se emplea mezcla de argón y nitrógeno.
- Mezcla de argón e hidrógeno y mezcla de nitrógeno e hidrógeno para los aceros inoxidable.
- Aire para los aceros ordinarios por razones de economía.

## **ACEROS Y ABRASIVOS**

### **ACEROS**

#### **2.4 ACEROS INOXIDABLES**

“Este tipo de aceros se utiliza en aquellos casos que se necesita resistencia a la corrosión y también al efecto de las temperaturas elevadas, para identificarlos se utiliza el sistema numérico de tres cifras, de las cuales las dos últimas no tienen ningún significado especial, y la primera indica al grupo al que pertenecen en la forma siguiente:

---

<sup>3</sup> MECÁNICA DEL TALLER; Soldaduras, Uniones y Caldería, Pág. 46



Tabla N° 1: Designación de los Aceros

<i>Designación de la serie</i>	<i>Grupos</i>
2XX	Cromo-níquel-manganeso; no templable, austenítico, no magnético.
3XX	Cromo-níquel; no templable, austenítico, no magnético.
4XX	Cromo; templable, martensítico, magnético.
4XX	Cromo; no templable, ferrítico, magnético.
5XX	Cromo; bajo en cromo, resistente a altas temperaturas.

La resistencia a la corrosión de estos aceros es debida a la formación de una capa superficial de óxido de cromo u óxido de níquel muy fino y estable que los protege eficazmente de la acción de ciertos agentes de corrosión.

#### **2.4.1 ACEROS INOXIDABLES AUSTENÍTICOS**

Pertencen a este grupo los aceros inoxidable cromo-níquel y cromo-níquel-manganeso, y responden, entre otros, a los tipos **AISI 201, 202, 301, 302, 309, 310 y 316**. Todos estos aceros son austeníticos, esencialmente no magnéticos en estado de recocido y no se endurecen por tratamiento térmico, siendo el contenido total de níquel y cromo por lo menos de un 23%.

Se trabajan en caliente con toda facilidad y pueden trabajarse en frío, teniendo siempre presente que con este tipo de trabajo se endurecen rápidamente. Son muy resistentes al choque y difíciles de mecanizar, salvo que contengan azufre y selenio.

Estos aceros se caracterizan, por ser, de todos los inoxidable, los que presentan mayor resistencia mecánica y a la formación de cascarilla a temperaturas muy elevadas. Así mismo la resistencia a la corrosión de los aceros inoxidable austeníticos es generalmente mayor que la de los aceros martensíticos o ferríticos”.<sup>4</sup>

<sup>4</sup> INTRODUCCIÓN A LA METALÚRGIA FÍSICA; Sidney H. Avner, Pág: 278-298



## 2.4.2 DATOS CARACTERÍSTICOS DE LOS ACEROS INOXIDABLES AUSTENÍTICOS

“Los aceros inoxidable austeníticos son los más resistentes a la corrosión atmosférica. Son austeníticos a cualquier temperatura y los que tienen mayor resistencia mecánica a elevada temperatura

### 1)

- Denominación: AISI 304  $\equiv$  Rosanox 304  $\equiv$  Iram 30304.
- Composición química: C = 0.06 %, Cr = 18.5 %, Ni = 10 %.
- Características generales: muy buena resistencia a la corrosión en atmósfera industrial y marina. Se suelda fácilmente.
- Aplicaciones: piezas para la industria química, alimenticia y del petróleo. Herramientas de cirugía. Alambres y artículos de alambre. Utensilios para la cocina. Artículos de decoración
- Tratamiento térmico: forja = 1100°C - 950°C, recocido (hipertemple) = 1100°C al agua, recocido más trefilado.
- Características mecánicas:  $\sigma_R$  (Kt, resistencia a la rotura por tracción) = 58.14 kgf/mm<sup>2</sup>,  $\sigma_{fl}$  (tensión de fluencia) = 25 kgf/mm<sup>2</sup>, A (alargamiento porcentual) = 67 %,  $\psi$  (estricción) = 77 %, dureza = 142 HB (Brinell).

### 2)

- Denominación: **AISI 310**  $\equiv$  Rosanox 310  $\equiv$  Iram 30310.
- Composición química: C = 0.10 %, Cr = 25 %, Ni = 21 %.
- Características generales: acero resistente hasta 1150°C en atmósfera oxidante (refractario). Se suelda fácilmente.
- Aplicaciones: piezas expuestas a medios extremadamente agresivos. Piezas para temperaturas elevadas (partes de hornos, canastas para temple y/o cementación).
- Tratamiento térmico: forja = 1100°C - 900°C, recocido (hipertemple) = 1100°C al agua.
- Características mecánicas:  $\sigma_R$  (Kt, resistencia a la rotura por tracción) = **63.75 kgf/mm<sup>2</sup>**,  $\sigma_{fl}$  (tensión de fluencia) = 29.07 kgf/mm<sup>2</sup>, A (alargamiento porcentual) = 55 %,  $\psi$  (estricción) = 70 %, dureza = 145 HB (Brinell).



3)

- Denominación: AISI 316  $\equiv$  Rosanox 316  $\equiv$  Iram 30316.
- Composición química: C = 0.05 %, Cr = 16.5 %, Ni = 11.5 %, Mo = 2.2 %.
- Características generales: acero inoxidable austenítico al molibdeno. Excelente resistencia a la corrosión frente a cualquier medio y hasta 300°C.
- Aplicaciones: piezas para cualquier industria. Inclusive la química, petroquímica y alimenticia, construcciones marítimas.
- Tratamiento térmico: forja = 1100°C - 900°C, recocido (hipertemple) = 1100°C al agua, recocido más trefilado.
- Características mecánicas:  $\sigma_R$  (Kt, resistencia a la rotura por tracción) = 58.14 kgf/mm<sup>2</sup>,  $\sigma_{fl}$  (tensión de fluencia) = 25.5 kgf/mm<sup>2</sup>, A (alargamiento porcentual) = 64 %,  $\psi$  (estricción) = 75 %, dureza = 140 HB (Brinell)”<sup>5</sup>

## ABRASIVOS

### 2.5 INTRODUCCIÓN

“Los granos de abrasivo son cristales duros que se encuentran en estado natural o bien se fabrican. Los abrasivos obtenidos por procesos de fabricación han sustituido a los materiales naturales por tener propiedades superiores y controlables, así como una uniformidad de total confianza.

Los abrasivos se clasifican en dos grandes grupos, según la composición de su constituyente activo:

1) Óxido de aluminio ( $Al_2 O_3$ ) o alúmina (abrasivo refractario): Aquí tenemos dos abrasivos naturales: el esmeril (con un contenido del 50 - 60 % de alúmina) y el corindón (cerámico que contiene entre 70 y 90 % de alúmina); pueden tener un color rojo llamado rubí o azul llamado zafiro. También tenemos diversos productos artificiales, superiores a los naturales por la pureza de su composición (95 - 96.9 % de alúmina: color gris, 96.9 -

---

<sup>5</sup> <http://www.losaceros.com>



99.9 % de alúmina: color rosa) y constancia en sus características, conocidos bajo los nombres comerciales de Alundum, Aloxite y otros.

2) Carburo de silicio (C Si) o carborundo: Está constituido por productos artificiales denominados: Carborundum, Crystocon, Korundum y otros.

3) También tenemos otros abrasivos como el granate (garnet), olivine, sílice, nitruro de silicio, etc.

Tanto la alúmina como el carburo de silicio, son muy duros y frágiles. Esta fragilidad denominada friabilidad, puede controlarse para diferentes aplicaciones. Ahora, los abrasivos friables se rompen con facilidad, formándose así bordes afilados. Esto hace que disminuya la fuerza necesaria para penetrar en el material de la pieza, así como el calor generado durante el proceso de corte. Estos abrasivos (C Si y  $Al_2 O_3$ ) generan una muy buena terminación superficial.

El tamaño de los granos abrasivos viene indicado por un número, que aproximadamente expresa el número de hilos por pulgada lineal, del cedazo que sirvió para cribarlo. Por ejemplo: abrasivo de grano (mesh) 100 pasa a través del tamiz n° 100 que tiene 1012 = 10201 agujeros por pulgada cuadrada, pero es retenido por el n° 120 (ISO 8486/1).

El diámetro de los agujeros, en dos tamices sucesivos varía con la razón geométrica:  $\sqrt[4]{2} = 1,189$  Los polvos con numeración superior a 280 se separan por decantación. Además posee una tolerancia de tamaño de grano de  $\pm 4 \%$ .

Como conclusión podemos decir que las tres características fundamentales del abrasivo son:

- Dureza
- Tamaño
- Cantos vivos”<sup>6</sup>

---

<sup>6</sup> LAS ESPECIES MINERALES; Ing. Albert Fraga, Pág. 365



## 2.6 EL GRANATE



*Figura 1.* Granate en estado natural

Para el mecanizado por chorro de agua abrasivo, la cantidad y carácter de las partículas raspantes llegan a ser parte importante de la ecuación de productividad donde el abrasivo realiza el 90 % del corte. El granate (garnet) es el abrasivo más usualmente aplicado con los tamaños de malla (mesh) que van del 36 al 150 (36, 46, 54, 60, 70, 80, 90, 100, 120 y 150), aunque más comúnmente en la gama 60 ( $\varnothing$ partícula  $\cong$  0.255 mm) a 100 ( $\varnothing$ partícula  $\cong$  0.127 mm). Otros tipos de abrasivos empleados son: sílice, óxido de aluminio (Alúmina), carburo de silicio y nitruro de silicio.

## 2.7 CARACTERÍSTICAS

### 2.7.1 DUREZAS

- ✚ Granate ( Almandina:  $\text{Fe}_3 \text{Al}_2 (\text{Si O}_4)$  ) = 1336 HV (7.5 [Mohs])
- ✚ Óxido de aluminio (alúmina:  $\text{Al}_2 \text{O}_3$ ) = 1703 HV (9.0 [Mohs])
- ✚ Carburo de silicio (C Si) = 2988 HV
- ✚ Olivine ((Mg, Fe) $_2$  Si O $_4$ ) = (6.5 [Mohs])

El abrasivo granate (garnet) es un mineral, silicato doble de un protóxido de Al, titanio, hierro o cromo y de un sesquióxido de calcio, manganeso, hierro o magnesio. Es de color rojo oscuro. Es muy frecuente en rocas metamórficas y magnéticas, producto del metamorfismo de contacto de rocas calcáreas y dolomíticas.



## 2.8 ESTIMACIÓN EXPERIMENTAL DE LA ENERGÍA DE CHORRO DE AGUA-ABRASIVO.

### 2.8.1 INTRODUCCIÓN

“Durante el proceso de corte por chorro de agua abrasivo, en la pieza de trabajo, tenemos el siguiente balance de energía, figura. 2:

$$E_a = E_i - E_s$$

**E<sub>a</sub>** = energía absorbida por la pieza de trabajo

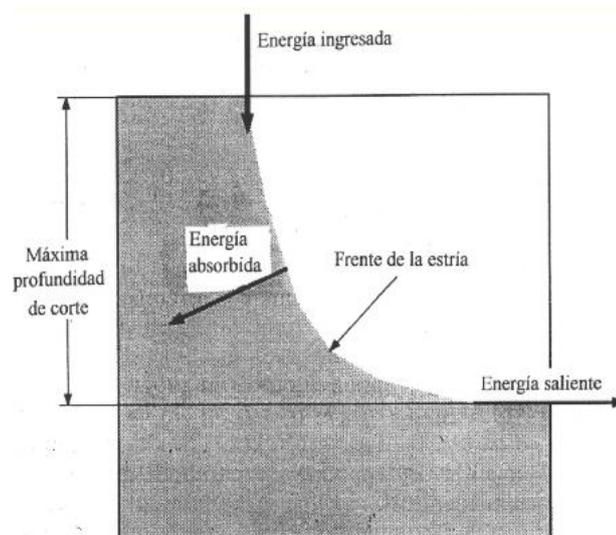
**E<sub>i</sub>** = energía ingresada

**E<sub>s</sub>** = energía saliente

Ahora, el proceso de corte se lleva a cabo en dos fases:

**1ra fase)** Las partículas abrasivas impactan en la superficie de corte con ángulos de ataque pequeños => Superficie de corte relativamente lisa.

**2da fase)** Las partículas producen un desgaste erosivo de la superficie debido al impacto de las mismas con ángulos grandes de ataque => Superficie con estrías, figura. 2. Lo cual está muy relacionado con la energía disponible, por el chorro de agua abrasivo, a una cierta profundidad de corte.

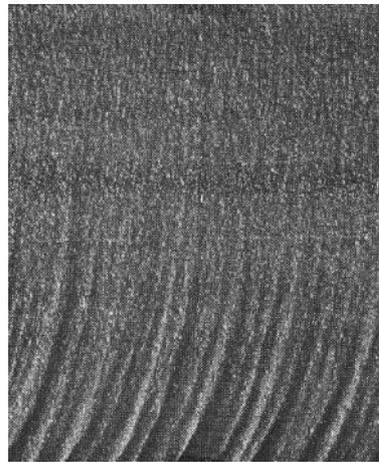


**Figura 2.** Balance de energía durante el proceso de corte por chorro de agua y abrasivos



La energía absorbida por el material durante el corte está compuesta por las siguientes partes:

- 1) Energía absorbida durante la generación de partículas de desperdicio (microvirutaje).
- 2) Energía absorbida por la fricción sobre el frente de corte.
- 3) Energía absorbida por la amortiguación de la mezcla agua-abrasivo, debido a la película de agua-sólido que se forma sobre el frente de corte.
- 4) Energía absorbida por la generación de calor.

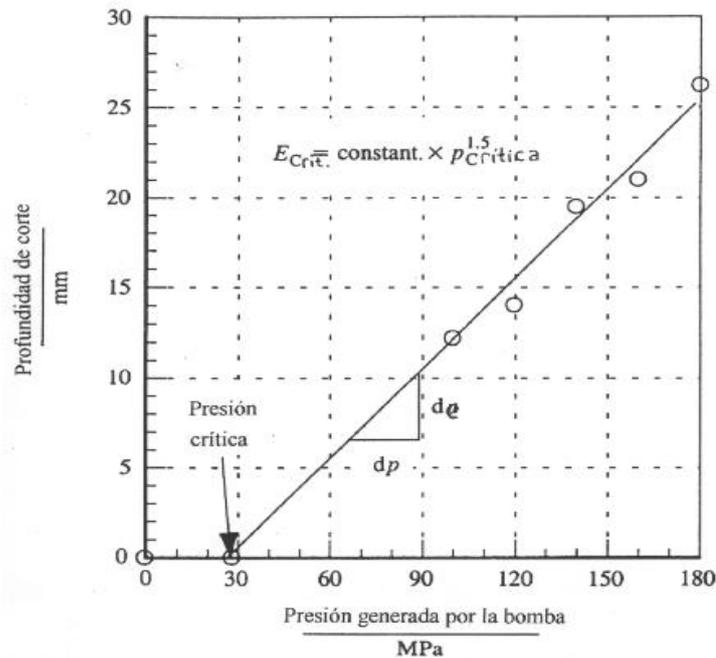


**Figura 3.** Formación de estrías durante el corte

Muchas investigaciones han demostrado que se requiere de una energía mínima energía crítica ( $E_{cr}$ ) para dar inicio al proceso de corte, por medio de un chorro de agua abrasivo.

### **2.8.2 VALORES EXPERIMENTALES DE LAS CONSTANTES (PARA ACERO INOXIDABLE)**

Ahora, la gráfica experimental producto de experimentaciones anteriormente desarrolladas, figura. 4, nos permite extraer el valor de presión necesaria de la bomba, ingresando en ordenadas el valor del espesor de chapa de acero inoxidable a cortar ( $e = 5$  mm), esta figura se encuentra mas detallada en el anexo. 1.



**Figura 4.** Relación entre la presión generada por la bomba y el espesor de corte de la chapa de acero inoxidable

## 2.9 ORIGEN DEL MICROVIRUTAMIENTO

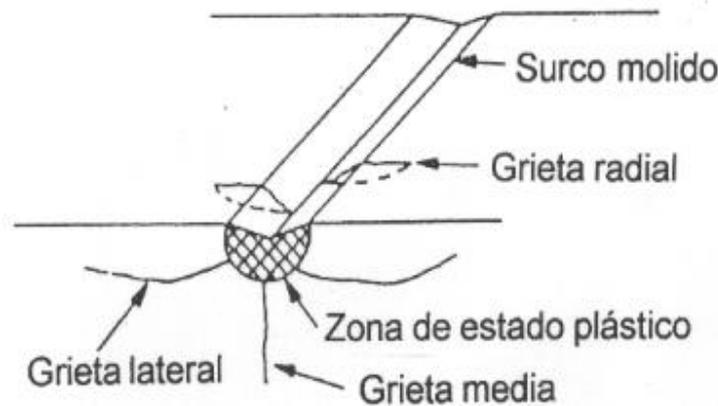
Se considera que el proceso de corte por chorro de agua abrasivo, sólo comienza cuando el chorro alcanza a tener un valor de energía mínima ( $E$  crítica).

Básicamente se producen dos tipos de grietas en la pieza a trabajar, al exponer la misma al flujo abrasivo:

- 1) Grietas normales a la superficie de la pieza: compuesto por las grietas radiales y medias.
- 2) Grietas laterales: se desarrollan paralelas a la superficie de la pieza.

Ahora, se ha demostrado que la interacción producida entre las grietas laterales y las radiales son las causantes del levantamiento del material, es decir de la formación de partículas de desperdicio = *micro virutamiento*<sup>7</sup>.

<sup>7</sup> PAPER ENVIADO POR: Dr. A. W. Momber.



*Figura 5.* Origen del micro virutamiento

## **TUBO MEZCLADOR**

### **2.10 CARACTERÍSTICAS**

#### **2.10.1 INTRODUCCIÓN**

“Tubo mezclador, aunque en realidad el proceso principal que se lleva a cabo en su interior es el de acelerar las partículas de abrasivo tenemos que tener presente: las partículas de abrasivo alcanzan a desarrollar un 70 % de la velocidad del chorro de agua "pura") y enfocar (direccionar) la mezcla abrasiva en su salida hacia la chapa a cortar.

De todos modos, este tubo está sometido a un importante proceso erosivo por parte de las partículas de abrasivo que chocan contra las paredes interiores del mismo. Por tal motivo el diseño del perfil interior y el material escogido deben ser los ideales para prolongar lo máximo posible su vida útil. Un material que puede resultar apto para estas condiciones de trabajo es el carburo de tungsteno, siendo su vida útil de aproximadamente 200 h.

#### **2.10.2 CARBURO DE TUNGSTENO (WC)**

A este material se lo denomina carburo cementado, es un material formado con partículas de carburo muy finamente divididas, cementadas de manera conjunta por un metal o aleación del grupo hierro, formando así un cuerpo de muy alta dureza. Los carburos



cementados se manufacturan mediante las técnicas de la Metalurgia de Polvos. El proceso consiste, esencialmente, en preparar los polvos de tungsteno y aglutinarlo con polvo de cobalto, presionando el polvo mezclado y compactándolo hasta obtener la forma deseada; o sinterizando las formas presionadas para lograr la consolidación. Los polvos mezclados se forman de las maneras deseadas mediante presión en frío, seguida de una sinterización; o por medio de presión en calor, durante la cual la presión y la sinterización se hacen al mismo tiempo. Las presiones utilizadas durante la presión en frío varían entre 5 y 30 ton/pulg<sup>2</sup>, dependiendo del tamaño y la forma del material compacto. El sinterizado se efectúa a temperaturas entre 1371 °C y los 1482 °C durante 30 a 60 minutos.

El tamaño de las partículas de carburo (granos), su distribución y porosidad, y la calidad del enlace entre los cristales de cobalto y carburos son factores importantes. Al aumentar el tamaño de grano del carburo de tungsteno disminuye la dureza.

Se consumen más carburos cementados para cortar metales que para cualquier otro tipo de aplicación. Debido a su capacidad para mantener un borde de corte afilado, los tipos de carburo de tungsteno puro son virtualmente los únicos materiales para herramientas utilizados con el fin de cortar diversos materiales abrasivos, como fibra de vidrio (fiberglas) y resinas de fenol. Los carburos que tienen la más alta dureza también se emplean para maquinar hierro fundido blanco a Rockwell C 60.

Los carburos cementados se utilizan para taladros, escariadores, herramientas para maquinar diámetros interiores y careado, y sierras para la maquinación de metales y de no metales. Las velocidades de corte y tubos de alimentación empleados con las herramientas de carburo suelen ser más altas que las utilizadas con acero de alta velocidad o estelita.

La dureza y la resistencia al desgaste de los carburos cementados los hacen bien adecuados para perforar la tierra y para aplicaciones en la minería. En varios tipos de barrenas especializadas para taladrar en formaciones rocosas extremadamente duras y abrasivas se utilizan piezas insertadas de carburo, en vez de los convencionales dientes de acero de superficie dura. También tienen aplicaciones en el revestido de los martillos de forjado y de las trituradoras de mandíbula, en las acerías, *en boquillas de chorro de agua abrasivo* o de arenado, en calibradores de forma de anillos y de macho y en bloques de calibración. Los troqueles de carburo cementado se utilizan para el estirado en caliente de tungsteno y



molibdeno y para el estirado en frío de alambres, barras y tubos hechos de acero, cobre, aluminio y otros materiales”.<sup>8</sup>

### **2.10.3 OTRAS ALTERNATIVAS**

Si empleamos como material el carburo de tungsteno compuesto (carburo + fibras), su vida útil se ve prolongada hasta las 200 h aproximadamente. En la actualidad existen establecimientos que producen este tipo de tubos en ambos tipos de materiales, en Internet encontramos:

- ✚ Butterworth Jetting Systems Inc (Web address: <http://www.butterworth.com>) (e-mail: [mktg@butterworth.com](mailto:mktg@butterworth.com))
- ✚ Micro tools.

Ahora, el desgaste o fin de la vida útil del tubo mezclador (o acelerador de partículas de abrasivo) se determina por inspección ocular del orificio de salida del mismo o por apreciar un deterioro en la calidad superficial del corte (manteniendo constante el resto de los parámetros que intervienen en el proceso).

## **BOMBA DE ALTA PRESIÓN**

### **2.11 INTRODUCCIÓN**

Estas bombas guían al fluido que se desplaza a lo largo de toda su trayectoria, el cual siempre está contenido entre el elemento impulsor, que puede ser un embolo, un diente de engranaje, un aspa, un tornillo, etc., y la carcasa o el cilindro. “El movimiento del desplazamiento positivo” consiste en el movimiento de un fluido causado por la disminución del volumen de una cámara. Por consiguiente, en una máquina de desplazamiento positivo, el elemento que origina el intercambio de energía no tiene necesariamente movimiento alternativo (émbolo), sino que puede tener movimiento rotatorio (rotor).

---

<sup>8</sup> FUNDAMENTALS OF FRICTION AND WEAR OF MATERIAL; A. G y D. B. Marshall, Pág. 439-452



Sin embargo, en las máquinas de desplazamiento positivo, tanto reciprocantes como rotatorias, siempre hay una cámara que aumenta de volumen (succión) y disminuye volumen (impulsión), por esto a éstas máquinas también se les denomina Volumétricas.

“Las bombas que cumplen con estas características son las tipo volumétricas. Pueden ser de émbolo (pistones) o rotativas. Las de émbolo desarrollan mayores presiones de trabajo que las rotativas.

### **2.11.1 CLASIFICACIÓN**

#### **1) Bombas rotativas:**

- a) De movimiento rotante (bombas de paletas):
  - i) De paletas fijas: presión = 120 a 175 atmósferas; velocidad de giro = 500 a 1500 r/m; rendimiento máximo = 0.8.
  - ii) De paletas rotantes con doble excentricidad: presión = 120 a 175 atmósferas; velocidad de giro = 500 a 3000 r/m; rendimiento máximo = 0.8.
  - iii) De paletas con simple excentricidad: presión = 100 a 175 atmósferas; velocidad de giro = 500 a 1500 r/m; rendimiento máximo = 0.8.
  
- b) De doble rotor:
  - i) De tornillo: presión = 60 a 100 atmósferas; velocidad de giro = 1000 a 1500 r/m; rendimiento máximo = 0.75.
  - ii) De engranajes internos: presión = 120 a 150 atmósferas; velocidad de giro = 1500 a 3500 r/m; rendimiento máximo = 0.7.
  - iii) De engranajes externos: presión = 120 a 175 atmósferas; velocidad de giro = 1500 a 3000 r/m; rendimiento máximo = 0.75.

#### **2) Bombas de émbolos (pistones):**

- a) Excéntrica:
  - i) De pistones en línea: presión = 250 a 950 atmósferas; velocidad de giro = 1000 a 2000 r/m; rendimiento máximo = 0.8.



ii) De pistones radiales: presión = 200 a 300 atmósferas; velocidad de giro = 1000 a 2000 r/m; rendimiento máximo = 0.88.

b) De pistones axiales (hidrolavadoras):

i) De cuerpo inclinado: presión = 200 a 300 atmósferas; velocidad de giro = 500 a 3000 r/m; rendimiento máximo = 0.88.

ii) De placa inclinada (bombas rotantes): presión = 200 a 300 atmósferas; velocidad de giro = 1000 a 3000 r/m; rendimiento máximo = 0.88.

Cabe destacar que los datos característicos dados sobre las distintas bombas, son para el caso de un ajuste preciso de sus componentes mecánicos.

Por todo lo descrito podemos determinar que el tipo de bomba que se adapta a nuestro requerimiento es la de pistones en línea (2/a/i).

### **2.11.2 IRREGULARIDAD DEL CAUDAL**

Las bombas de pistones presentan a causa de sus características constructivas y funcionales, una oscilación más o menos marcada en el valor instantáneo del caudal entregado. Para estos tipos de bombas, el caudal nominal dado por los catálogos o calculados con la fórmula (1) es en efecto un caudal medio medido sobre una vuelta entera.

Analizando el funcionamiento instantáneo del caudal se puede notar que sufre una oscilación tanto mayor y de frecuencia tanto más baja, cuanto menor es el número de émbolos de bombeo que contribuyen a su distribución durante una vuelta completa.

El caso límite está representado por una bomba de pistones provista de un único elemento de bombeo de simple efecto, llamando ciclo al tiempo durante el cual el émbolo sube y baja (realiza dos veces su carrera) o el árbol de accionamiento de la bomba (de un solo émbolo) cumple una vuelta completa.

Se tendrá durante la mitad del ciclo una fase útil de bombeo durante la cual el caudal instantáneo pasa de cero a un máximo (período de empuje desde la cámara) para retornar a



cero, mientras que durante la otra mitad del ciclo el caudal permanece nulo a la salida de la bomba (período de succión hacia la cámara).

Esta situación se representa en la figura. 6/b, diagrama. 1. Ahora, utilizando una bomba de dos pistones que intervienen con un defasaje de medio ciclo durante ambos semiciclos tendremos una fase útil, con una anulación de caudal solo en el instante inicial y central del ciclo: situación representada por el segundo diagrama de la misma figura.

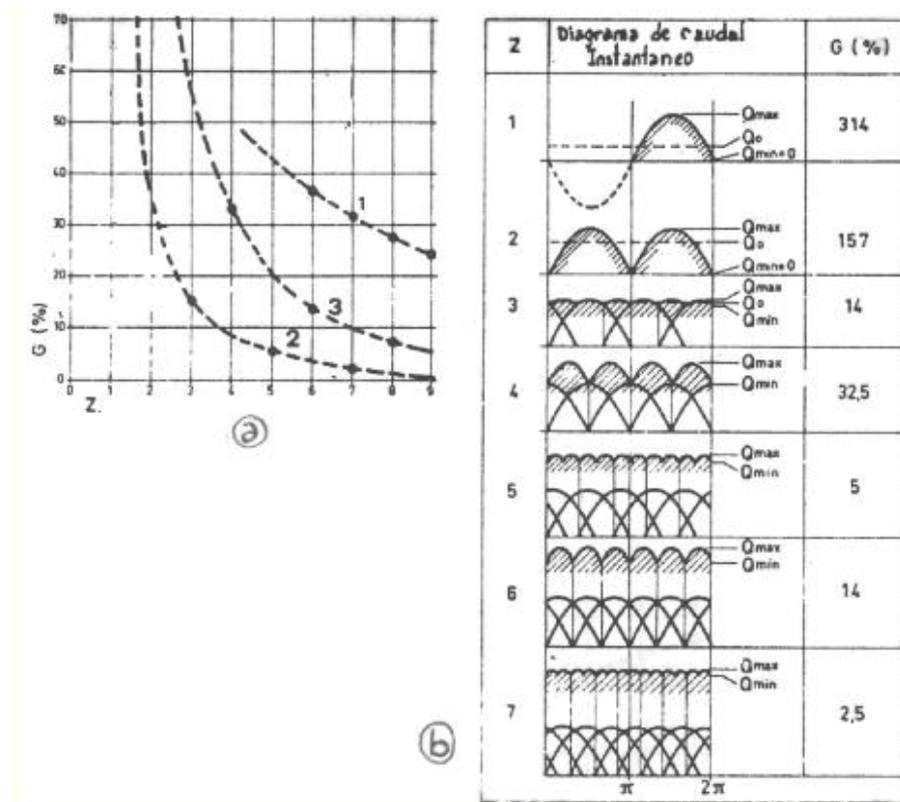


Figura 6. a) Diagrama del caudal instantáneo. b) Grado de irregularidad de las bombas de émbolos.

Aumentando todavía el número de émbolos y disponiéndolos de modo que durante un ciclo ellos intervengan a intervalos iguales de tiempo, se obtiene en la conexión de envío de la bomba un caudal que es, instante a instante, la suma de las contribuciones de varios elementos activos.



Gráficamente esta situación está representada por los restantes diagramas de la figura. 6/b, los que se nota que a partir de tres émbolos el caudal resultante asume una característica más regular, es decir, con una pulsación menos acentuada y de frecuencia más elevada, acercándose cada vez más a una característica rectilínea.

El comportamiento de una bomba, ya sea por las solicitudes impuestas al motor primario, como por la alimentación del actuador, es tanto mejor cuanto más próxima a una recta esté la curva del caudal resultante. El parámetro que da una indicación inmediata sobre el fenómeno ahora descrito es el grado de irregularidad del caudal ( $G$ ), que es la relación porcentual entre la oscilación de caudal (expresado por la diferencia ( $Q_{\max} - Q_{\min}$ )) y el caudal medio sobre un ciclo completo:

$$G[\%] = \frac{(Q_{\max} - Q_{\min})}{Q_0} \cdot 100$$

Admitiendo que los caudales instantáneos entregados por cada uno de los elementos tengan características sinusoidales, los grados de irregularidad para las bombas de distinto número de émbolos están indicados en la figura. 6/b, al lado de los respectivos gráficos de los caudales instantáneos. Se observa que es suficiente pasar de la bomba de un solo pistón a aquella de tres pistones para que el grado de irregularidad se reduzca en más de 20 veces.

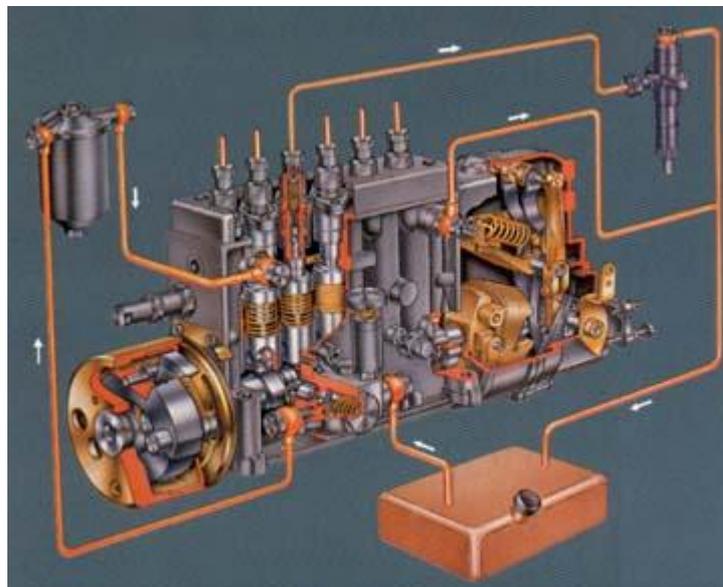
Del examen de la misma figura se obtiene después otra consideración interesante : para reducir  $G$  no es suficiente con aumentar el número de émbolos sino que se necesita que tal número sea impar. Pasando de 3 a 4 pistones, el grado de irregularidad en lugar de disminuir aumenta a más del doble; la bomba de 6 pistones tiene el mismo grado de irregularidad que la de 3 pistones, con la única ventaja de entregar un caudal doble. De este fenómeno se ocupa el gráfico indicado en la figura. 6/a, donde  $G$  está representado por dos curvas distintas **(2)** y **(3)** para bombas de pistones impares y pares. En el mismo gráfico la curva **(1)** indica el grado de irregularidad de las bombas de engranajes, en función del número de dientes. Una bomba de engranajes con 7 dientes tiene aproximadamente el mismo  $G$  que una bomba a 4 pistones.



## 2.12 BOMBA DE PISTONES EN LÍNEA

Se trata de un tipo de bomba que no encuentra aplicación específica en óleo dinámica, pero sí en la hidráulica del agua a alta presión o en el sector de motores térmicos (bombas a inyección para motores Diesel).

Los émbolos están dispuestos en un único plano con los ejes paralelos entre sí y perpendiculares al eje del árbol de levas, el cual transmite su movimiento a los émbolos, figura. 7.



*Figura 7.* Bomba de 6 pistones en línea, en disposición vertical

## 2.13 BOMBA DE INYECCIÓN

### 2.13.1 INTRODUCCIÓN

La bomba de inyección es un elemento de bombeo encargado de comprimir el combustible a gran presión (de 100 a 700 kgf/cm<sup>2</sup>) y distribuirlo entre los inyectores situados en los cilindros del motor. Para ello lleva una serie de elementos encargados de la inyección y el suministro de combustible a los cilindros.

Esta bomba debe cumplir con las siguientes condiciones:



- ✚ Dosificación exacta de la cantidad de combustible a inyectar según las necesidades de carga en el motor.
- ✚ Distribución de un caudal de combustible en cada embolada rigurosamente igual para cada cilindro del motor.
- ✚ Elevada rapidez de actuación. Debido a que el tiempo empleado en cada inyección es extremadamente corto, sobre todo en motores rápidos (milésimas de segundo), la bomba debe ser capaz de producir el suministro de combustible y el cese de la inyección durante ese reducido tiempo.
- ✚ Debe realizar la inyección en el instante preciso. Para ello se instala un sistema de regulación y avance automático a la inyección adosados a la bomba que permite adecuar aquella a la velocidad de régimen y carga del motor.

Todas estas condiciones de funcionamiento hacen que la bomba de inyección sea un elemento de elevada precisión, empleándose en su fabricación materiales de gran calidad. El extremado ajuste de sus elementos constructivos permite que, en un tiempo de funcionamiento tan reducido, la bomba puede ser capaz de cargarse de combustible, comprimirlo a gran presión e inyectarlo sobre el cilindro en el momento justo, un caudal tan pequeño de combustible sin pérdida de carga, ya que no admite la más pequeña fuga de combustible ni desfase en su comportamiento funcional.

Según la disposición de los elementos en la bomba y su forma de realizar la distribución del combustible sobre los inyectores, las bombas de inyección se clasifican en los siguientes tipos:

- ✚ Bombas de elementos múltiples e independientes de bombeo para cada uno de los cilindros, conocidas con la denominación de bombas en línea, entre las que destacan las fabricadas por las casas comerciales **Bosch, Simms y C.A.V.**
- ✚ Bombas de inyección con distribuidor rotativo del tipo DPA fabricadas por la casa **C.A.V.**



### 2.13.2 BOMBA DE INYECCIÓN EN LÍNEA

Esta bomba de combustible, figura. 8, es de tipo impelente y de simple efecto. Va provista de tantos elementos de bombeo, colocados en línea, como cilindros lleva el motor correspondiente. En su conjunto incluye, además de la bomba propiamente dicha (1), un regulador de velocidad (2) que puede ser centrífugo, neumático o hidráulico; la bomba de alimentación (3), que puede ir o no adosada a la misma y un variador de avance automático a la inyección (4), acoplado al sistema de arrastre de la bomba.

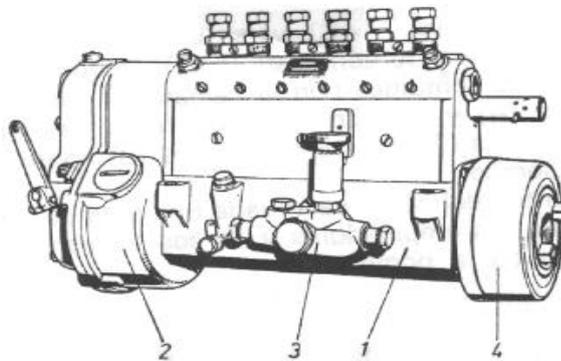


Figura 8. Conjunto bomba de inyección en línea (6 elementos)

### 2.13.3 DESCRIPCIÓN DE LA BOMBA

El conjunto de la bomba, figura. 9, está formado por un cárter de aleación ligera en aluminio fundido, mecanizado interiormente que aloja los elementos de bombeo y las válvulas de presión, el sistema de mando y regulación de los elementos de bomba, así como el sistema de control.

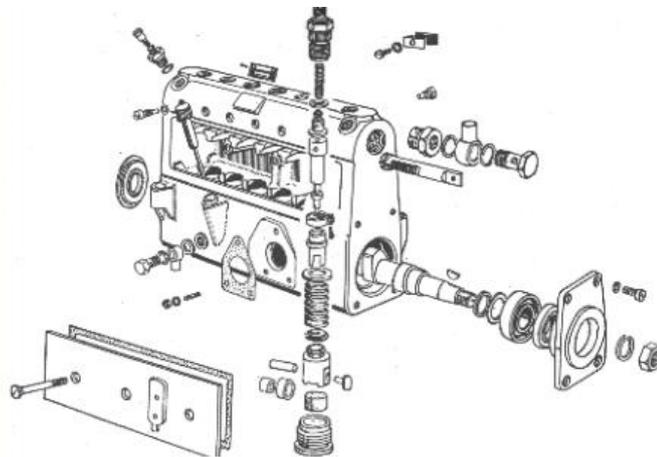
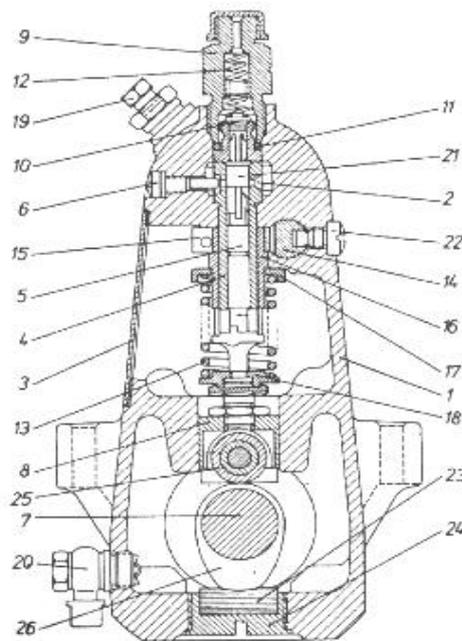


Figura 9. Despiece de la bomba de inyección en línea



En la parte superior del cárter (1), figura. 10, va situada longitudinalmente una cámara de alimentación de combustible (2) común para todos los elementos de bombeo, la cual se comunica con la cámara de presión de los mismos a través de las lumbreras. En la parte inferior de este cárter se alojan el árbol de levas (7) y los empujadores (8) sobre agujeros mecanizados en el cuerpo de la bomba.

- 1 cárter
- 2 cámara de alimentación
- 3 tapa de inspección
- 4 cilindro
- 5 émbolo
- 6 tornillo fijación cilindro
- 7 árbol de levas
- 8 empujador o taqué
- 9 rácor
- 10 válvula
- 11 asiento de la válvula
- 12 muelle de la válvula
- 13 muelle de émbolo
- 14 cremallera
- 15 sector dentado
- 16 casquillo de regulación
- 17 platillo superior
- 18 platillo inferior
- 19 tornillo de purga
- 20 rebosadero
- 21 cámara de presión
- 22 tornillo de orientación cremallera
- 23 arandela de fieltro
- 24 tapón
- 25 rodillo
- 26 leva



**Figura 10.** Sección transversal del cuerpo de la bomba

Lateralmente y en la parte central del cárter va situada una tapa desmontable (3), que permite la inspección de los empujadores y de los elementos de regulación para la puesta de la bomba”<sup>9</sup>.

☺ **Por lo tanto, ésta resulta ser la alternativa más viable para nuestra aplicación.**

<sup>9</sup> TECNOLOGÍA AUTOMOCIÓN N°4, Ing. Ángel Sanz González, Pág. 10-60



## CAPITULO III

### CÁLCULOS PARA EL DISEÑO

#### **3.1 MEDIO DE CORTE**

Para realizar el corte de un material determinado necesitamos de una cierta cantidad de energía. En el proceso de corte se produce lo que denominamos: transformación de la energía, la energía que se entrega se transforma en energía de deformación del material a cortar.

Ahora, todo fluido en movimiento lleva asociado una determinada cantidad de energía (cinética). Por lo tanto este fluido deberá tener una energía mayor o igual a la necesaria para realizar el corte.

Como medio portador de energía en general, podemos utilizar casi todos los elementos líquidos: agua, aceites, alcoholes y hasta metales líquidos como por ejemplo el mercurio. Ahora, el agua presenta una serie de ventajas con respecto a los demás:

- Existe en cantidad suficiente y en calidad requerida (potable), en casi todos los lugares.
- Ínfimo costo, en su empleo, con respecto a los demás fluidos.
- Fácilmente accesible.
- No genera fuego o incendio.
- Buenas condiciones de fluidez (baja viscosidad), de lo contrario sería muy difícil lograr la salida del chorro por un pequeño orificio a alta velocidad.

Por otro lado, el aire también está totalmente descartado como fluido portador de energía:

- Elevado costo para lograr altas velocidades en el fluido (túnel de viento).
- Muy baja energía cinética  $\left( \rho_{\text{aire}} \cong \frac{\rho_{\text{agua}}}{1000} \right)$
- Muy difícil de lograr un efecto puntual => alta dispersión al salir de la tobera.



## 1<sup>ra</sup> ETAPA: CÁLCULO DE LA ENERGÍA NECESARIA

### **3.2 DATOS CARACTERÍSTICOS DEL ACERO INOXIDABLE AUSTENÍTICO AISI 310.**

El acero inoxidable austenítico AISI 310 posee los siguientes datos característicos de los cuales me servirán las características mecánicas del mismo para realizar los diferentes cálculos para el diseño de esta investigación.

Denominación: **AISI 310** ≡ Rosanox 310 ≡ Iram 30310.

- Composición química: C = 0,10 %, Cr = 25 %, Ni = 21 %.
- Características generales: acero resistente hasta 1150°C en atmósfera oxidante (refractario). Se suelda fácilmente.
- Aplicaciones: piezas expuestas a medios extremadamente agresivos. Piezas para temperaturas elevadas (partes de hornos, canastas para temple y/o cementación).
- Tratamiento térmico: forja = 1100°C - 900°C, recocido (hipertemple) = 1100°C al agua.

#### **Características mecánicas:**

- $\sigma_R$  (Kt, resistencia a la rotura por tracción) =  $63.75 \text{ kgf/mm}^2 = 63750000 \text{ kgf/m}^2 = 625196250 \text{ Pa}$
- $\sigma_{fl}$  (tensión de fluencia) =  $29.07 \text{ kgf/mm}^2 = 29070000 \text{ kgf/m}^2$
- **A** (alargamiento porcentual) = 55 %.
- $\psi$  (estricción) = 70 %.
- **Dureza** = 145 HB (Brinell).

### **3.3 FUERZA Y ENERGÍA REQUERIDA PARA EL CORTE**

Para poder realizar el corte de un material (acero inoxidable austenítico) se necesita efectuar un cierto trabajo o energía sobre el mismo.





$\tau c \leq \frac{F}{A}$ . Donde:

$$A = \text{area del cilindro de corte} = \pi \cdot \phi_{\text{chorro de agua}} \cdot e = \pi \cdot 1 \text{ mm} \cdot 5 \text{ mm} = 15.71 \text{ mm}^2 = 1.571 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2 \dots \dots \dots (2)$$

Por lo tanto:

De Ec. (1) y (2):

$$F_{\text{necesaria}} = \tau c \cdot A = 63.75 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2} \cdot 15.71 \text{ mm}^2 = 1001.51 \text{ kgf} = 9.82 \cdot 10^3 \text{ N} \dots (3)$$

$$E_{\text{deformacion}} = F \cdot e = 1001.51 \text{ kgf} \cdot 5 \text{ mm} = 5007.55 \text{ kgf} \cdot \text{mm} = 49.101 \text{ J} \dots (4)$$

## 2<sup>da</sup> ETAPA: ENERGÍA DEL CHORRO DE AGUA

### 3.4 CÁLCULO DE LA PRESIÓN DE LA BOMBA PARA UN FLUJO DE AGUA “PURA”

En el momento que el chorro de agua impacta sobre el material a cortar, comienza el proceso de transformación de la energía: la energía cinética del chorro de fluido se transforma en energía de deformación del material.

$$F = \text{Fuerza ejercida por el chorro de agua (ecuacion de impulso)} = Q \cdot \rho \cdot DV$$

Donde:

- $Q = \text{caudal} = A \cdot V$
- $A =$  sección transversal del chorro de agua
- $V =$  velocidad del chorro de agua
- $DV =$  diferencia entre la velocidad inicial y final ( $= 0$ ) del chorro de agua

Ahora:

$$\rho = \text{densidad del agua} = \frac{\gamma}{g}$$

Donde:



- $\gamma$  = peso específico del agua
- $g$  = aceleración de la gravedad

$$\rho = \frac{1000 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^3}}{9.806 \frac{\text{m}}{\text{seg}^2}} = 101.97 \frac{\text{kgf} \cdot \text{seg}^2}{\text{m}^4} \quad (5)$$

$$Ach = \frac{\pi \cdot (\varphi \text{ chorro de agua})^2}{4} = \frac{\pi \cdot (1 \cdot 10^{-3} \text{ m})^2}{4} = 7.85 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2 \quad (6)$$

$F = A \cdot V \cdot \rho \cdot DV = F \text{ necesaria (3)} = 1001.51 \text{ kgf}$ . Ahora,  $DV = V - 0 = V$

$F = A \cdot V^2 \cdot \rho \Rightarrow$

$$V_{I\text{pura}} = \sqrt{\frac{F \text{ necesaria}}{Ach \cdot \rho}} = \sqrt{\frac{1001.51 \text{ kgf}}{7.85 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2 \cdot 101.97 \frac{\text{kgf} \cdot \text{seg}^2}{\text{m}^4}}} = 3.54 \cdot 10^3 \frac{\text{m}}{\text{seg}} \quad (7)$$

$$V_{I\text{pura}} = 3.54 \cdot 10^3 \frac{\text{m}}{\text{seg}} = 12.744 \cdot 10^3 \frac{\text{km}}{\text{h}} = 10,34 \text{ mach}$$

$$\left( 1 \text{ mach} = \text{velocidad del sonido} = 1232.8 \frac{\text{km}}{\text{h}} \right)$$

Según el teorema de Bernoulli (principio de conservación de la energía), para un flujo de

fluido homogéneo ( $\rho = \text{cte}$ ) e incompresible tenemos:  $\frac{P}{\gamma} + \frac{V^2}{2g} + h = \text{cte}$  (en la dirección

del flujo). Donde:  $\frac{P}{\gamma}$  = energía de presión,  $\frac{V^2}{2g}$  = energía de velocidad,  $h$  = energía de

altura.

En la tobera (**Nozzle**) se transforma toda la energía de presión en energía de velocidad (cinética).

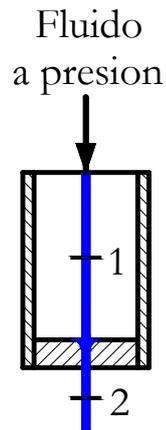


Figura 12.. Tobera

$$\frac{P1}{\gamma \text{ agua}} + \frac{V1^2}{2g} + h1 = \frac{P2}{\gamma \text{ agua}} + \frac{V2^2}{2g} + h2$$

$$P1 = \left( \frac{V2^2}{2g} \right) \cdot \gamma \text{ agua} = \frac{V2^2}{2\rho \text{ agua}}$$

$P1$  = presión que debe entregar la bomba (manométrica)

$$P1 = \frac{\left( 3.54 \cdot 10^3 \frac{m}{seg} \right)^2}{2 \left( 9.8066 \frac{kgf \cdot seg^2}{m^4} \right)} \cdot 1000 \frac{kgf}{m^3} = 638937.04 \frac{kgf}{m^2} = 6.256 \cdot 10^9 Pa . \quad (8)$$

⊕ Este valor tan elevado de presión nos indica que la energía disponible en el chorro de agua es insuficiente. Una razón es por su baja densidad.

Por lo tanto si le agregamos a la vena de fluido (después de la bomba de alta presión y antes de la tobera, punto 1, figura. 12), partículas de un material con mayor densidad que el agua, lograremos aumentar considerablemente su energía.

Con lo cual obtendremos un valor más razonable de presión necesaria de la bomba.



### 3.5 CÁLCULO DE LA PRESIÓN DE LA BOMBA PARA UN FLUJO MEZCLA DE AGUA Y OTRO ELEMENTO ELEVADOR DE LA DENSIDAD

Utilizaremos a modo de ejemplo, como elemento elevador de la densidad al acero

$$\left( \rho = 800.46 \frac{\text{kgf} \cdot \text{seg}^2}{\text{m}^4} \right)$$

Supongamos que agrego a la vena líquida un 30 % de partículas de este material

$$\rho_{mezcla} = 0.3 \cdot \rho_{acero} + 0.7 \cdot \rho_{agua} = 312 \frac{\text{kgf} \cdot \text{seg}^2}{\text{m}^4} \quad (\text{considerando un fluido homogéneo}).$$

$$V_{1mezcla} = \sqrt{\frac{F_{necesaria}}{Ach \cdot \rho}} = \sqrt{\frac{1001.51 \text{ kgf}}{7.85 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2 \cdot 312 \frac{\text{kgf} \cdot \text{seg}^2}{\text{m}^4}}} = 2.022 \cdot 10^3 \frac{\text{m}}{\text{seg}} \quad \text{..(9)}$$

$$V_{1mezcla} = 7280 \frac{\text{km}}{\text{h}} = 6 \text{ mach}$$

Aplico Bernoullí entre 1 y 2, figura. 12:

$$\frac{P1}{\gamma_{agua}} + \frac{V1^2}{2g} + h1 = \frac{P2}{\gamma_{mezcla}} + \frac{V2^2}{2g} + h2$$

$$P1 = \left( \frac{V2^2}{2g} \right) \cdot \gamma_{agua} = \frac{V2^2}{2\rho_{agua}}$$

$P1 = \text{presión que debe entregar la bomba (manométrica)} =$

$$P1 = \frac{\left( 2.022 \cdot 10^3 \frac{\text{m}}{\text{seg}} \right)^2}{2 \cdot \left( 9.8066 \frac{\text{m}}{\text{seg}^2} \right)} \cdot 1000 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^3} = 208455734 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2} = 2.043 \cdot 10^9 \text{ Pa} \quad \text{..(10)}$$

⊗ Como puede observarse, el resultado de la presión necesaria de la bomba para realizar el corte de la chapa de acero inoxidable austenítico, sigue siendo muy



*elevado. Esto indica que la función del elemento por agregar a la vena líquida, no es simplemente para elevar su densidad. Éste debe tener una importante dureza para lograr un efecto erosivo (micro virutamiento) del material a cortar, por ese motivo se le denomina material abrasivo.*

Ahora surge otro inconveniente: Cómo saber la energía que posee un chorro de agua abrasivo?. Ésta debe surgir de la estimación experimental de los procesos de corte con chorro de agua y abrasivos.

Por lo tanto, gracias a los valores experimentales de la energía del chorro agua-abrasivo dados en la, figura. 4, puede observarse que para un valor de 5 mm de espesor de la chapa a cortar, se recomienda una bomba con una presión =>  $P = 58 \text{ MPA} = 5914355 \text{ kgf/m}^2 = 572.55 \text{ Atm}$ .

Pero por razones de seguridad se adopta una presión de:

$$P = 60 \text{ MPa} = 6118297 \text{ kgf/m}^2 = 593 \text{ Atm}$$

Con este método de selección hemos obtenido un valor "lógico" de presión de agua.

Se debe tener en cuenta que los valores obtenidos corresponden para las siguientes condiciones de trabajo:

- ✚ Abrasivo utilizado = *Granate (garnet) o Alúmina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )*
- ✚ Tamaño del abrasivo = *mesh (malla) 80 (0.180 mm)*
- ✚ Caudal del abrasivo = *6 g/seg*
- ✚ Separación de corte (altura) tobera-pieza = *7 mm =  $7 \cdot 10^3 \text{ m}$*

### **3<sup>ra</sup> ETAPA: ESTUDIO DEL TIPO Y CARACTERÍSTICAS QUE DEBE REUNIR EL ABRASIVO**

#### **3.6 SELECCIÓN DEL ABRASIVO.**

El abrasivo adoptado para este proyecto es el *garnet*, por las siguientes razones:



Comparación con la Alúmina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), ésta es:

- ⊗ De fácil adquisición en nuestra zona.
- ⊗ Posee mejores características cortantes.
- ⊗ Se pueden generar mayores velocidades de corte (V).
- ⊙ De muy alto costo.
- ⊙ Produce un mayor desgaste de los componentes que estén a su paso ( $\Rightarrow$  menor vida útil de los mismos).

Con respecto al carburo de silicio, éste es:

- ⊙ De elevado costo.

El costo del abrasivo es el punto de mayor importancia en la selección del tipo de abrasivo.

Recordar: Caudal de abrasivo = **6 g/seg = 360 g/min = 21.6 kg/hora.**

### ***3.6.1 LUGARES DE OBTENCIÓN***

En nuestra aplicación utilizaremos, de la familia de los granates (garnet), la almandina. (alúmina). Los lugares de explotación de estos minerales se encuentran en el este de los Estados Unidos de América, en aluviones de España y en Ceilán, en Argentina se presenta en las sierras pampeanas de Córdoba, San Luis y Catamarca, en nuestro país se los puede encontrar mediante importaciones desde Estados Unidos en las ciudades de Quito, Guayaquil y Cuenca.

#### ***Densidades:***

- Granate (garnet) = **4.1 g/cm<sup>3</sup>**
- Óxido de aluminio (alúmina :  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) = 3.8 g/cm<sup>3</sup>
- Olivine = 3.3 g/cm<sup>3</sup>





### 3.8 DISEÑO DEL SISTEMA DE MEZCLADO AGUA-ABRASIVO

#### 3.8.1 DOSIFICACIÓN POR MEDIO DE PLACA DE ORIFICIO

La figura. 13, representa este sistema de mezclado en forma breve pero se lo puede observar con mas detalles en los anexos de planos de la máquina. Sus componentes principales son los siguientes:

- 1) Tolva con abrasivo
- 2) Placa orificio (**d** = diámetro del orificio de pasaje del abrasivo)
- 3) Cámara de vacío, efecto Venturi (componente central del cabezal abrasivo)
- 4) Cámara intermedia
- 5) Conducto de aspiración

Aquí debemos determinar, mediante cálculos, el diámetro (**d**) que debe tener la placa orificio (2) para lograr mediante un valor de depresión DP (efecto Venturi en la cámara de aspiración o vacío (3)), un caudal constante de abrasivo. Para lo cual suponemos un fluido homogéneo.

$$DP_{total} = DP_{A-B} + DP_{B-2}$$

a)  $DP_{A-B} \Rightarrow$  necesario para extraer un caudal constante de abrasivo de la tolva, a través de una placa orificio de diámetro d. Lo calculamos como un depósito que se está vaciando.

$$V_B = C_V \cdot \sqrt{\left( \frac{DP_{A-B}}{\gamma_{abrasivo}} + h \right) \cdot 2g} \dots \dots \dots (12)$$

Suponemos un contenido de 62 kg de abrasivo en la tolva (1), correspondiente a 2 horas de trabajo aproximadamente  $6 \frac{g}{seg} \cdot 60 \frac{seg}{min} \cdot 60 \frac{min}{hora} \cdot 2 \text{ horas} = 43.2 \text{ kg}$

$$Volumen \text{ del tronco cono (tolva)} = \frac{\pi \cdot h}{12} \cdot (D1^2 + D1 \cdot D2 + D2^2)$$

$\therefore$  Para **D1 = 0.5 m** y **D2 = 0.11 m**  $\Rightarrow$  **h = 0.44 m**

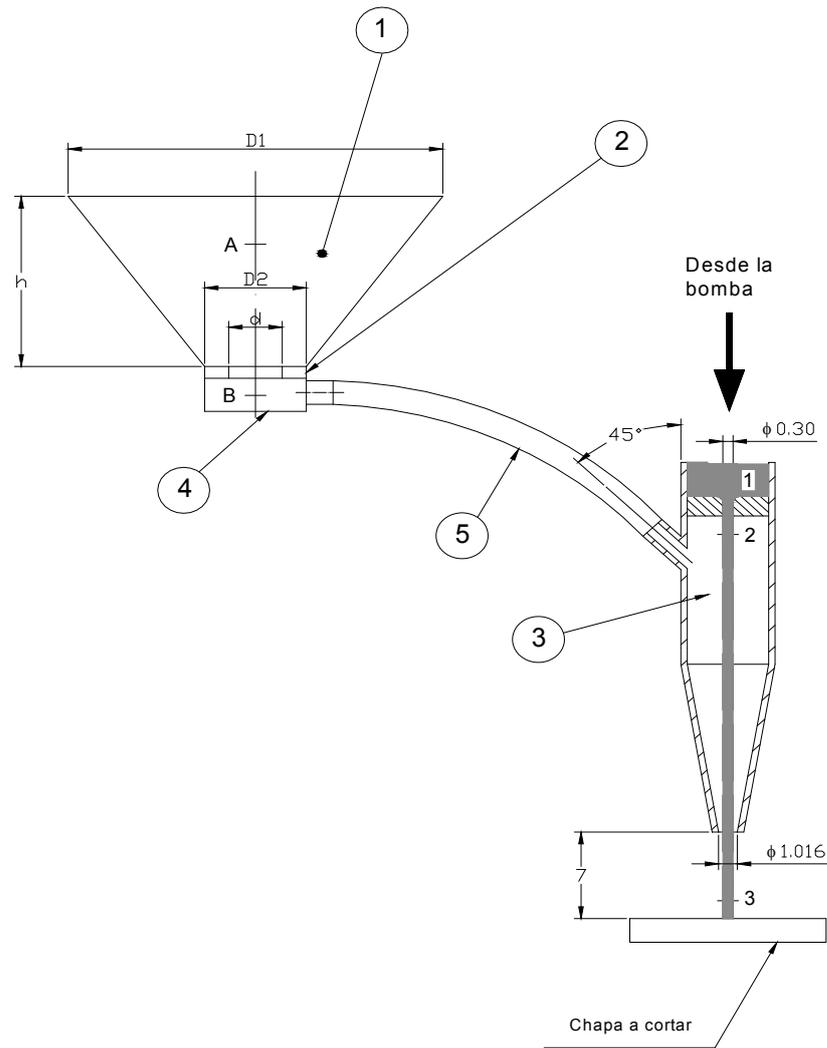


Figura 13. Dosificación por medio de placa de orificios

$C_v$  = coeficiente de velocidad  $\cong 0.6$

$$\text{Luego, } Q = V_B \cdot A; A = \frac{d^2}{4} \Rightarrow V_B = \frac{Q}{\frac{\pi \cdot d^2}{4}} \quad (13)$$

Considerando una dispersión de partículas de abrasivo en aire ( $\cong 20\%$  de abrasivo +  $80\%$  de aire) tenemos:

$$Q_{total} \left( \text{para obtener } 6 \frac{g}{seg} \text{ o } 1.58 \cdot 10^{-6} \frac{m^3}{seg} \right) = 8.82 \cdot 10^{-6} \frac{m^3}{seg}$$



$$Q_{real} = Q_{total} \cdot Cc = 8.82 \cdot 10^{-6} \frac{m^3}{seg} \cdot 0.4 = 3.53 \cdot 10^{-6} \frac{m^3}{seg} \quad (14)$$

Donde  $Cc$  = coeficiente de contracción (placa orificio)  $\cong 0.4$

$Cv \times Cc = Cd$  = coeficiente de descarga

Para un  $d = 4 \text{ mm} = 4 \cdot 10^{-3} \text{ m}$

De (13),(14) y (15)

$$DP_{A-B} = \left[ \frac{\left( \frac{Q_{real} \cdot 4}{Cc \cdot Cv \cdot \pi \cdot d^2} \right)^2}{2g} - h \right] \cdot \gamma_{abrasivo} \quad (15)$$

$$DP_{A-B} = \left[ \frac{\left( \frac{\left( 3.53 \cdot 10^{-6} \frac{m^3}{seg} \right) \cdot 4}{0.4 \cdot 0.6 \cdot \pi \cdot (4 \cdot 10^{-3} \text{ m})^2} \right)^2}{2 \left( 9.8066 \frac{m}{seg^2} \right)} - 0.44 \text{ m} \right] \cdot 4100 \frac{kgf}{m^3}$$

$$DP_{A-B} = -1517.62 \frac{kgf}{m^2} = -1.49 \cdot 10^4 \text{ Pa}$$

b)  $DP_{B-2}$  = necesario para el transporte neumático de las partículas.

$$\emptyset_{\text{conducto de aspiración}} = 5 \text{ mm} = 5 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$F = m \cdot a$  = fuerza a la cual está sometida cada partícula de abrasivo

$$m = \frac{6 \cdot 10^{-3} \text{ kg}}{479233 \text{ particulas}} = 1.25 \cdot 10^{-8} \frac{kg}{part}$$

$$a = \frac{V}{t} = \frac{X}{t^2}$$





$$d = 5 \text{ mm} = 5 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

☺ Con lo cual ésta resulta ser la alternativa más conveniente al garantizar precisión en el caudal de entrega a un bajo costo.

### 3.9 VALORES CARACTERÍSTICOS DE LA MEZCLA AGUA-ABRASIVO

Ahora, analizando la figura. 12, (cabezal abrasivo), podemos realizar los siguientes cálculos.

Aplico Bernoulli entre el punto 1 y el 2:

$$\frac{P1}{\gamma \text{ agua}} + V1^2 = \frac{P2}{\gamma \text{ agua}} + \frac{(V2 \text{ real})^2}{2g}$$

Recordar que  $\alpha$  = coeficiente de eficiencia de la tobera = 0.6 – 0.7. Adopto = 0.65.

$$V2 \text{ real} = \sqrt{\frac{(P1 - (-P2))}{\gamma \text{ agua} \cdot 2g}} \cdot \alpha \Rightarrow \dots \dots \dots (17)$$

$$V2 \text{ real} = \sqrt{\frac{\left( \frac{6118297 \text{ kgf}}{\text{m}^2} + 1540 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2} \right)}{\left( 1000 \frac{\text{Kgf}}{\text{m}^3} \right)}} \cdot 2 \cdot 9.8066 \frac{\text{m}}{\text{seg}^2} \cdot 0,65 = 225.20 \frac{\text{m}}{\text{seg}}$$

Adopto el diámetro de la tobera que será igual a:

$$\phi \text{ tobera} = 0.30 \text{ mm} = 3 \cdot 10^{-4} \text{ m}$$

$$Q = V2 \text{ real} \cdot A = V2 \text{ real} \cdot \frac{\pi \cdot \phi \text{ tobera}^2}{4} = 225.20 \frac{\text{m}}{\text{seg}} \cdot \frac{\pi \cdot (3 \cdot 10^{-4} \text{ m})^2}{4} \dots (18)$$

$$= 1.59 \cdot 10^{-5} \frac{\text{m}^3}{\text{seg}} = 0.057 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} = 0.95 \frac{\text{lit}}{\text{min}}$$

Con estos resultados obtenidos la bomba deberá tener un caudal de 0.95 lit/min. por lo que adoptamos una bomba con un caudal de **1 lit/min.**



Cabe señalar que por datos empíricos aportados por laboratorios de investigación sobre chorro de agua, se pudo establecer que la velocidad adquirida por el abrasivo (en el tubo mezclador) es un 70 % de la velocidad del chorro de agua "pura".

$$V_{\text{particulas de abrasivo}} = 0,7 \cdot V_2 = 0,7 \cdot 225,20 \frac{m}{seg} = 157,64 \frac{m}{seg}$$

También tenemos:

$$V_3 = \frac{\varphi \cdot V_2}{\left(1 + \frac{Q_{\text{abrasivo}}}{Q_{\text{agua}}}\right)} \quad (19)$$

Donde:

- $V_3$  = velocidad del chorro de agua abrasivo a la salida del tubo mezclador
- $Q_{\text{abrasivo}}$  = 6 g/seg

$$Q_{\text{agua}} = \gamma_{\text{agua}} \cdot Q = 1000 \frac{kgf}{m^3} \cdot 7,13 \cdot 10^{-5} \frac{m^3}{seg} = 0,016 \frac{kgf}{seg}$$

- $\varphi$  = coeficiente de transferencia de energía = 0,6 - 0,7 (adopto = 0,65)

$$V_3 = \frac{0,65 \cdot 225,20 \frac{m}{seg}}{\left(1 + \frac{6 \cdot 10^{-3} \frac{kgf}{seg}}{0,016 \frac{kgf}{seg}}\right)} = 234,20 \frac{m}{seg}$$

Además:  $Q_{\text{total}} = Q_{\text{abrasivo}} + Q_{\text{agua}} = 0,022 \text{ kgf/seg}$ , donde el agua ocupa el 73 % y el abrasivo el 27 % restante.

*A pesar de contar con esa diferencia de masa a favor del agua, el 90 % del poder (potencia) cortante se debe a la acción erosiva (micro virutaje) del abrasivo. Es aproximadamente inversamente proporcional al contenido de masa.*



## 5ª ETAPA: BOQUILLA DE CORTE

### 3.10 INTRODUCCIÓN

En esta etapa se detallará la importante función que cumple la boquilla de corte en la máquina; esta boquilla tiene dos secciones:

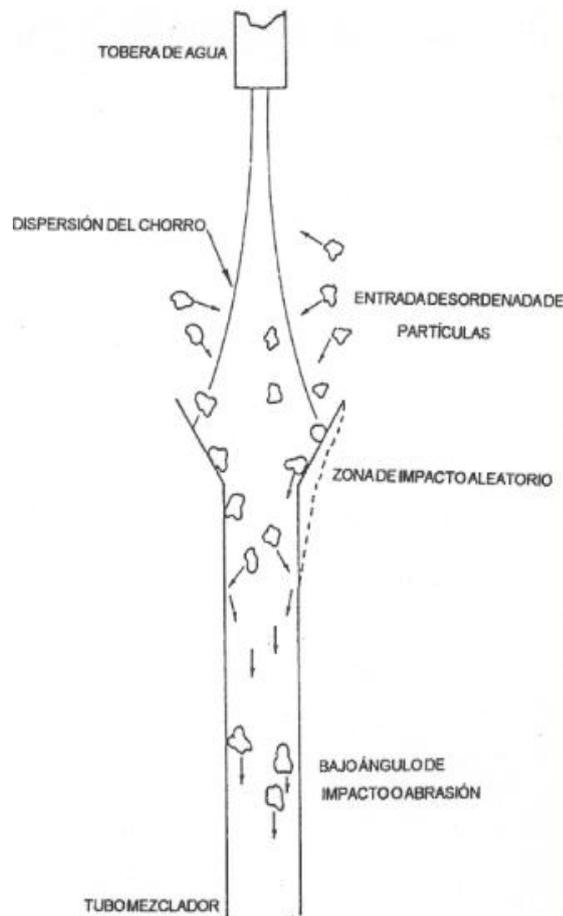
- 1) **Primera Sección:** Antes de la tobera, recibe el agua a presión desde la bomba de inyección.
- 2) **Segunda Sección:** Cámara de mezcla del agua y el abrasivo (por succión = efecto Venturi).
- 3) **Tercera Sección:** Tubo mezclador, es por donde la mezcla a alta presión sale hacia la pieza para realizar el proceso de corte.

### 3.11 ANÁLISIS DEL TUBO MEZCLADOR

La parte de mayor desgaste, en la boquilla de corte, es sin duda el tubo de mezclado. Recordar que el caudal de partículas de abrasivos que pasan por su interior es de **6 g/s = 360 g/min = 21.6 kg/h**

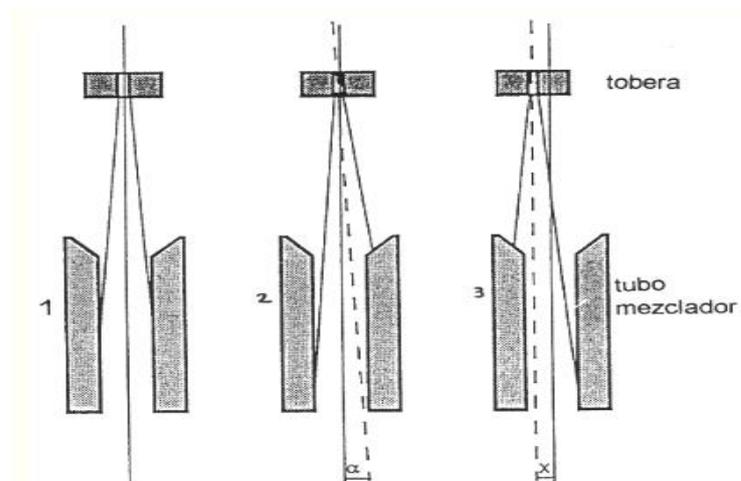
El mismo está sometido a dos fases o modos de desgaste figura 14:

- 1) En el comienzo del tubo (1/3 de su longitud) se produce la erosión por el impacto de las partículas de abrasivo que inciden con un ángulo de ataque de aproximadamente 36°.
- 2) Aquí se produce la erosión por la fricción de las partículas de abrasivo que se desplazan paralelas a la pared del tubo, siendo el desgaste mucho menor que la fase anterior debido al bajo ángulo de ataque (entre 0° - 6°).



**Figura 14.** Modos de desgaste en el interior del tubo mezclador

Es muy importante, para la vida útil del tubo mezclador, que exista una perfecta concentricidad entre la tobera de agua y el tubo mezclador, de lo contrario la duración del tubo será de escasos minutos, figura. 15.



**Figura 15.** Desgaste debido a dos casos de centrado deficiente (2 y 3) entre la tobera de agua y el tubo mezclador. Caso n° 1, centrado correcto.



### **3.12 TIPOS DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN**

Los requisitos primarios que debe reunir el tubo mezclador o acelerador de partículas abrasivas son:

- 1) Alta resistencia al desgaste
- 2) Costo relativamente bajo

Los tubos de cobalto (Co) unido con carburo de tungsteno (WC) se caracterizan por ser razonablemente duros y tener una excelente resistencia al desgaste, sobre todo ante abrasivos de dureza moderada. Por lo tanto, éste fue el primer material empleado en los sistemas de corte por chorro de agua y abrasivo.

Luego se desarrollo con éxito un nuevo material para este tipo de aplicación: carburo de molibdeno ( $\text{Mo}_2\text{C}$ ) unido con carburo de tungsteno (WC). Su desventaja principal estaba en su elevado costo, aunque los tubos hechos del material anterior duraban mucho menos que éste.

#### **3.12.1 PROPIEDADES DE LOS MATERIALES EMPLEADOS EN LOS TUBOS MEZCLADORES**

- 1) Tubo cerámico normal basado en carburo de tungsteno con agregado de cobalto:

- ✚ Componentes químicos (%): W (87.7); C (5.8) y Co (6.1)
- ✚ Densidad de la mezcla:  $14.8 \text{ g/cm}^3 = 14800 \text{ kg/m}^3$
- ✚ Dureza =  $1650 \pm 80 \text{ HV}$

- 2) Tubo cerámico basado en carburo de tungsteno con agregado de carburo de molibdeno:

- ✚ Componentes químicos (%): W (87.7); Mo (5.8); C (6.2) y Co (0.08)
- ✚ Densidad de la mezcla:  $14.5 \text{ g/cm}^3 = 14500 \text{ kg/m}^3$
- ✚ Dureza =  $2880 \pm 80 \text{ HV}$



Otro material utilizado para la construcción de los tubos mezcladores es el carburo de boro ( $B_4C$ ), el cual presenta una mayor resistencia al desgaste para ángulos de ataque menores de  $35^\circ$ . Pero este material no satisface totalmente las demandas requeridas de resistencia al desgaste, por tal motivo se desarrollaron materiales compuestos como carburo de boro ( $B_4C$ ) con diboruro de titanio ( $TiB_2$ ), utilizando resina fenólica como elemento aglutinante.

### **3.13 SELECCIÓN DE LA BOQUILLA DE CORTE**

Gracias a la investigación hecha por el internet se pudo constatar una firma norteamericana llamada N.L.B.Corp, que ha empezado recientemente a fabricar todo tipo de accesorios para estas máquinas de corte.

Estas boquillas N.L.B.Corp, están construidas en su totalidad con carburo tungsteno, a diferencia de la tobera que esta hecha de zafiro, estas boquillas de corte están garantizadas para rendir 200 horas de trabajo.

En la figura. 16, se encuentra la boquilla seleccionada la misma que esta dentro de los parámetros requeridos para esta máquina y su descripción se la podrá encontrar en el anexo. 2.

***Boquilla de corte agua-abrasivo:***

***Marca:*** NLB

***Modelo N°:*** 6020-CA



***Figura 16.*** Boquilla de corte agua-abrasivo



La boquilla de corte 6020-CA permite al agua a altas presiones y al material abrasivo formar una mezcla, la misma que recibe una fuerza poderosa que realiza el corte de los materiales.

### ***Rasgos y Beneficios:***

- \* El cuerpo es hecho de acero limpio para darle una mayor duración.
- \* Esta boquilla de corte posee un ensamble que permite remplazar la tobera (zafiro) y el tubo mezclador (carburo tungsteno).
- \* Corta limpiamente sin zumbidos ni alabeos.
- \* Menos polvo, ruido, y calor que otros métodos cortantes.
- \* La cabeza cortante compacta, ligera es compatible con el equipo de automatización.
- \* Existen varias combinaciones de toberas disponibles para las diferentes aplicaciones cortantes de 1 a 4 g/min. (3.8 a 15.1 lit/min.).

## **6ª ETAPA: BOMBA DE ALTA PRESIÓN**

### **3.14 INTRODUCCIÓN**

Por lo calculado en la 2da etapa, necesitamos una bomba capaz de entregar agua a **6118297 kgf/m<sup>2</sup> = 60 MPa** de presión como mínimo. Además, el caudal de la misma (calculado en la 4ta etapa) deberá ser de **1.59 · 10<sup>-5</sup> m<sup>3</sup>/h = 1 lit/min**

#### **3.14.1 VALORES IMPORTANTES A TENER EN CUENTA EN EL DISEÑO DE UNA BOMBA**

- **P** = presión máxima de trabajo [kgf/cm<sup>2</sup> (Pa)].
- **v** = cilindrada [cm<sup>3</sup>/vuelta] =  $\frac{\pi \cdot \varphi \text{ embolo}^2}{4}$  x carrera del émbolo x n° de émbolos.
- **n** = velocidad de giro del elemento impulsor directo (árbol de levas o cigüeñal) [r/m].
- **η<sub>b</sub>** = rendimiento de la bomba = **0.8**
- **η<sub>m</sub>** = rendimiento del motor = **0.8**



- $\eta_t = \text{rendimiento total} = \eta_b \times \eta_m$ . (20)
- $Q = \text{caudal [litros/minuto]} = v \times n \times \eta_b \times 10^{-3}$ . (21)
- $N = \text{potencia necesaria del motor eléctrico} = Q \times P / (\eta_t \times 456,24)$ . (22)

### 3.14.2 ANÁLISIS DE LA PRESIÓN

La presión máxima que puede entregar una bomba de este tipo está directamente relacionado con su parte constructiva, a mayor presión => se deberán emplear materiales de mayor resistencia. Ahora, el caudal de la bomba es función de su cilindrada y de la velocidad de giro del elemento impulsor directo (árbol de levas o cigüeñal).

Analicemos nuestro caso particular:

$$P1 = 6118297 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2} = 60 \text{ MPa}$$

$$P2 = -1540 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2} = 15100 \text{ Pa}$$

$$A1 = \frac{\pi \cdot \phi^2}{4}$$

$$A2 = \frac{\pi \cdot \phi^2}{4}$$

$$\phi_2 = 0.30 \text{ mm}$$

$$V_2 = \text{velocidad del agua [m/s]} \quad Q = A_2 \times V_2$$

Si entre 1 y 2 de la figura. 17, no hubiera restricción =>  $P_1 = 0 \text{ kgf/cm}^2$  (manométrica). Por lo tanto, la presión será función de la restricción al flujo de agua.

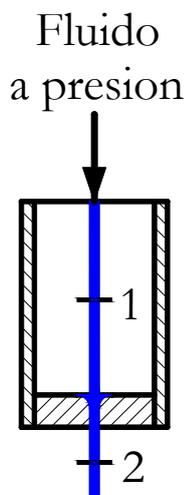


Figura 17. Restricción (tobera)



Aplico Bernoulli entre 1 y 2:

$$\frac{P1}{\gamma} + \frac{V1^2}{2g} = \frac{P2}{\gamma} + \frac{V2^2}{2g} \Rightarrow$$

$$P1 = \left[ \frac{P2}{\gamma} + \frac{Q^2}{2g} \cdot \left( \frac{1}{A2^2} - \frac{1}{A1^2} \right) \right] \cdot \gamma$$

Por lo tanto:

Si **A2** disminuye => **P1** aumenta (pero **A2** = cte).

Si **Q** aumenta (o sea si n [r/m] aumenta) => **P1** aumenta.

Si **Q** es mayor de  $1.592 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{h}$  => **P1** será mayor de  $6118297 \text{ kgf}/\text{m}^2$  => **V2** será mayor.

### 3.15 ANÁLISIS DE LAS OPCIONES

1) Adoptar alguna de las bombas de alta presión existentes en el mercado:

- a) **Aqua-Dyne**, modelo EK 20 EF: presión máxima =  $527 \text{ kgf}/\text{cm}^2$ , caudal = 17.4 lit/min.
- b) **Butterworth**, modelo T-300: presión máxima =  $750 \text{ kgf}/\text{cm}^2$ , caudal = 39 lit/min.
- c) **L & J**, modelo VH-16: presión máxima =  $750 \text{ kgf}/\text{cm}^2$ , caudal = 18 lit/min.

El inconveniente que se presenta con este tipo de bomba es que al ser destinadas al hidrolavado cuentan con un alto caudal.

Para el caso de querer utilizar la bomba **[a]**, para disminuir el caudal de agua hasta el valor deseado (de lo contrario la presión sería muy elevada), tengo dos alternativas:

⊗ i) Utilizo una válvula reguladora de presión, la cual producirá la reducción del caudal de agua y por lo tanto la disminución de la presión de trabajo (P1). El inconveniente que se



presenta con esta alternativa es el "derroche" de agua que estoy realizando (aproximadamente estaré desviando 16.85 lit/min) => Alternativa descartada.

⊗ ii) Colocar un motor de menor velocidad, un regulador electrónico de velocidad del mismo y una caja reductora para lograr el caudal deseado. Por ejemplo, si el motor utilizado era de  $n = 1500$  r/m ( $Q = 17.4$  lit/min), => para lograr un  $Q = 1$  lit/min tendré que lograr una  $n = 86.21$  r/m. Bomba constructivamente muy grande (debido al caudal para el cual fue diseñado) con un alto costo en su adaptación a nuestro uso => Alternativa descartada.

2) Transformación de una bomba inyectora a nuestra aplicación específica.

### 3.16 TRANSFORMACIONES A REALIZAR

1) Cambiar el material de construcción de los émbolos (5), cilindros (4), válvulas (10), asientos de válvula (11) y los racores (9) por un material acorde a las condiciones actuales de trabajo (agua => medio corrosivo), ver figura 10.

a) Adoptamos como material: acero inoxidable, porque necesitamos resistencia a la corrosión.

b) Entre los aceros inoxidables adoptamos: acero inoxidable martensítico, porque estará sometido a elevadas cargas de trabajo (alta presión). Ya que éste es el de mayor tensión de fluencia entre los aceros inoxidables, al realizarle un tratamiento térmico posterior.

c) Adoptamos el número **AISI 440** porque es el de mayor resistencia a la corrosión (entre los martensíticos), al poseer un alto porcentaje de Cr (16 - 18 %). Además es el de mayor resistencia al desgaste (0,6 - 0,8 % C), cualidad de gran importancia por las condiciones en la cual operará.

2) Se puede omitir el sistema de variación del caudal (ya que aquí necesito de un caudal constante).

3) El árbol de levas (35) se deberá modificar por dos razones:

a) Para resistir las elevadas cargas.

b) Para permitir un caudal continuo (y no pulsante, propio de la inyección Diesel), figura. 18.

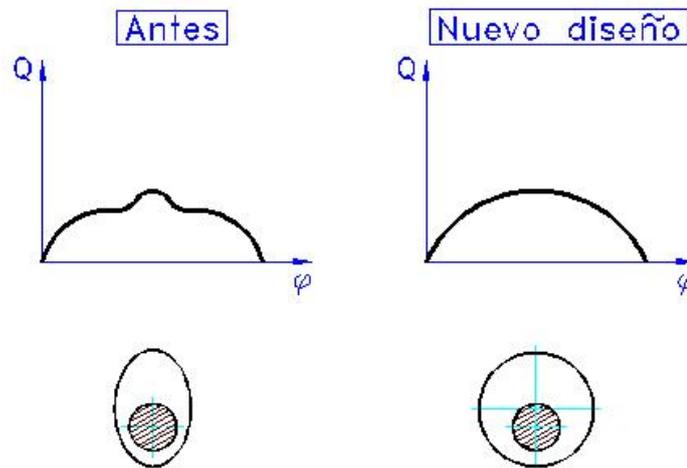


Figura 18. Diagrama  $Q - \phi$  según la forma de la leva

4) La bomba inyectora en estudio trabajaba a  $200 \text{ kgf/cm}^2$ , al querer subir el valor de presión  $\Rightarrow$  el rendimiento de la misma disminuirá ( $Q$  descende). Además la viscosidad del gas-oil (a  $20^\circ\text{C}$  es de  $= 2 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ ), es un poco superior al del agua (a  $20^\circ\text{C}$  es de  $= 1,007 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ ). Por lo tanto para que el émbolo resista este aumento de presión se utilizará acero inoxidable martensítico con tratamiento térmico de temple y revenido, por otro lado para evitar la caída del rendimiento se le tallará una ranura circunferencial a media altura del mismo, figura. 19, llamada ranura de estanqueidad.

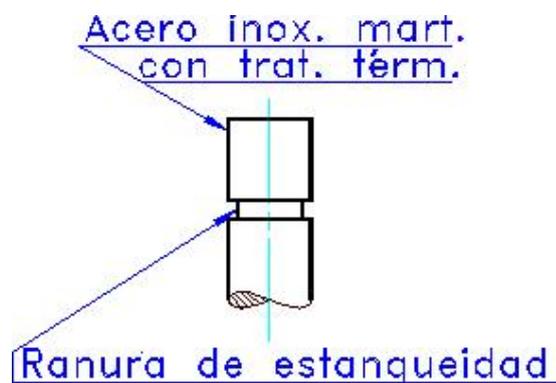


Figura 19. Émbolo con sello incorporado



Con este último mecanizado se logra lo siguiente: al ir aumentando la presión del agua en la cámara del cilindro (existiendo algún tipo de restricción en el circuito de suministro), en la carrera ascendente del émbolo, el fluido comienza a filtrarse por el área existente entre la camisa y el pistón (juego entre ambos = aproximadamente 2 mm). El flujo en esa zona es del tipo laminar, pero al llegar a la zona ranurada del émbolo (cambio brusco de sección) el flujo pasa de laminar a turbulento, lo cual hace las veces de sello mecánico (hidrodinámico) evitando que el fluido siga filtrando.

### 3.17 DISEÑO CONSTRUCTIVO

- ✚ Partiremos de una bomba inyectora Bosch de 4 émbolos. Lo ideal, desde el punto de vista de lograr un caudal de agua lo más constante posible, es trabajar con un número impar de pistones; pero en el mercado se encuentran comúnmente bombas inyectoras de 4, 6 y 8. Esto se debe a que este tipo de bomba no necesita trabajar a caudal constante (es pulsante).
- ✚  $\varnothing$  ext. camisa = 14 mm  $\Rightarrow$   $\varnothing$  interior  $\leq$  10 mm (espesor = 2 mm).
- ✚ Adopto  $\varnothing$  interior = 9 mm (diámetro común en bombas inyectoras).
- ✚  $\varnothing$  pistón = 9 mm. Juego entre émbolo y cilindro = 2 mm.
- ✚ Carrera actual máxima = ( $\varnothing$  máx.(32mm) -  $\varnothing$  mín.(24mm), árbol de levas bomba inyectora) = 7 mm.
- ✚ Adopto 5 mm (para aumentar el diámetro del árbol de levas), en el nuevo diseño, la leva es una excéntrica, figura. 18.

$$\text{✚ } Q_{\text{cilindro}} = \frac{\pi \cdot (9 \cdot 10^{-2} \text{ dm})^2}{4} \cdot 5 \cdot 10^{-2} = 3.181 \cdot 10^{-4} \text{ lit} \quad (23)$$

$$\text{✚ } Q_{\text{total/vuelta}} = 4 \cdot Q_{\text{cilindro}} = 1.272 \cdot 10^{-3} \text{ lit} \quad (24)$$

$$\text{✚ } Q_{\text{efectivo}} = Q_{\text{total/vuelta}} \cdot \eta_b = 1.018 \cdot 10^{-3} \text{ lit} \quad (25)$$



$$n = \frac{Q_{deseado}}{Q_{efectivo}} = \frac{1 \frac{\text{lit}}{\text{min}}}{1,018 \cdot 10^{-3} \text{ lit}} = 982 \text{ r/m} \quad (26)$$

(velocidad del elemento impulsor directo, árbol de levas).

- Colocamos un motor eléctrico trifásico blindado de 1500 r/m, con caja reductora de la velocidad (velocidad entrada = 1500 r/m, velocidad salida = 982 r/m).

Aplicando la Ec. 22 obtenemos:

$$N = \frac{Q \cdot P}{\eta_t \cdot 456.24}$$

N = Potencia necesaria del motor (HP)

Q = Caudal deseado (1 lit/min)

P = Presión necesaria (611.83 kgf/cm<sup>2</sup>)

η<sub>t</sub> = rendimiento total (0.64)

$$N = \frac{\left(1 \frac{\text{lit}}{\text{min}}\right) \cdot \left(611.83 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}\right)}{(0.64) \cdot 456.24} = 2 \text{ HP}$$

## 7<sup>ma</sup> ETAPA: SISTEMA DE RECIRCULACIÓN DEL ABRASIVO

### 3.18 INTRODUCCIÓN

El Sistema de Recirculación del Abrasivo en la Máquina de Corte (SRAMC), permitirá la nueva utilización del material abrasivo para su posterior uso en un nuevo corte, por las características antes vistas se pudo deducir que tanto el granate como la alumina pueden recircularse hasta un máximo de cuatro veces consecutivamente para realizar el corte, estos materiales abrasivos después de las cuatro recirculaciones pierden sus propiedades ya que existirán fracturas en los granos de abrasivos y por ende aparecerán filos los mismos que al instante de llegar al material a cortar no harán otra cosa que fracturarse más y más.



Este adelantamiento promete revolucionar todas las industrias que en un futuro no muy lejano posean esta máquina ya que el abrasivo usado no tendrán que desecharlo después del primer corte, ahora pueden recircularlo ahorrando de esta manera cientos de dólares cada año.

Este ahorro se puede aplicar a las ganancias de las compañías, puede servir para comprar equipos nuevos o puede transmitirse al cliente en forma de precios más bajos.

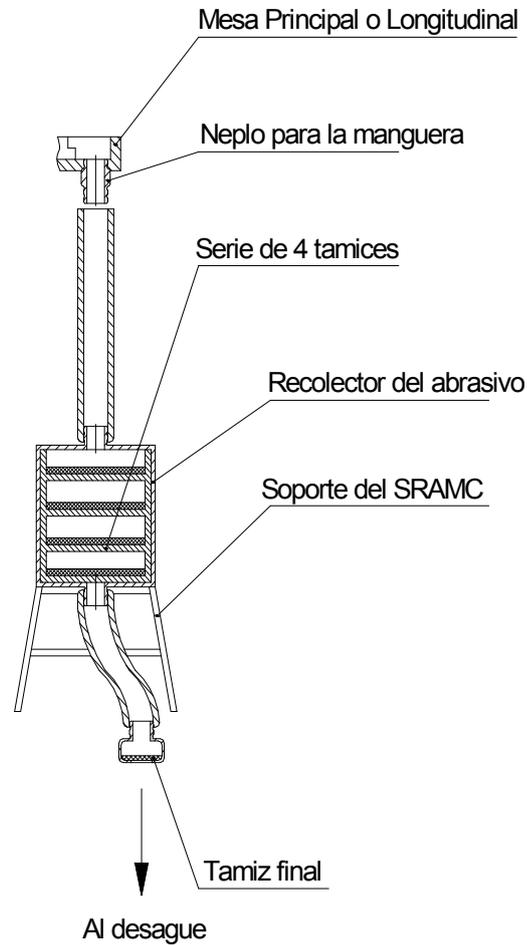
### **3.19 DESCRIPCIÓN DEL DISEÑO DEL (SRAMC)**

En la figura. 20, se describe con claridad este sistema de recirculación que utilizará una serie de tamices, todos colocados en forma vertical es decir con un ángulo de 90°, los mismos que se encontrarán dentro de una caja cuadrada denominada recolector del abrasivo, esta caja será construida de acero inoxidable, la misma que en su interior entrara una rejilla del mismo material que cumplirá la función de soporte de los tamices, en esta rejilla los tamices entrarán y serán retirados como bandejas para separar el abrasivo recolectado de las mismas, todo este recolector del abrasivo ira apoyado en un asiento denominado soporte del sistema, desde la bancada principal las mismas que posee un sistema de acanalamiento para que el material vaya directamente sobre este sistema de tamices, una vez dirigida el agua junto con el abrasivo caerá por el tubo en una longitud no mas exagerada de 0.5 m, en donde se encontrara el dispositivo de 4 telas tamices como se presenta en la figura 38. Los tamices son telas metálicas hechas de acero inoxidable, aceros al cromo, al cromo-níquel, etc.

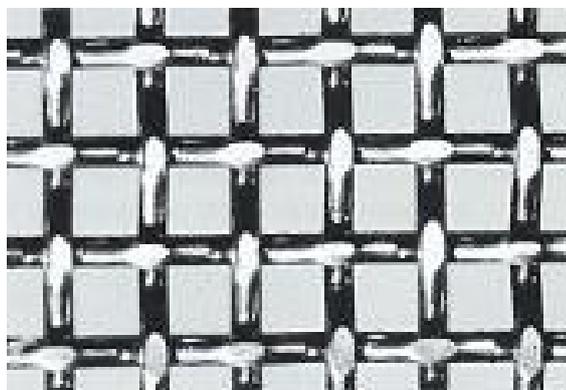
Estos tamices colocados van desde un numero mayor a uno menor es decir el primer tamiz será de 0.18 mm, el segundo 0.15, el tercero tendrá 0.12, el cuarto será de 0.09 mm, y por ultimo el tamiz final será de 0.016 mm que es el tamiz mas fino que se fabrica, este ultimo tamiz hará el trabajo de filtro de desfogue el mismo que atrapara todas las partículas posibles del agua para su posterior desfogue al alcantarillado, mediante este mecanismo de extracción se salvara el 100% del granate utilizado el mismo que tendrá que pasar por un proceso de secado durante aproximadamente unas 2 horas a temperatura ambiente para ser utilizado nuevamente, pero también existe la posibilidad de secar el abrasivo en un horno



durante unos 15 minutos a una temperatura aproximada de 80-100°C y su posterior enfriamiento en 20 minutos.



*Figura 20.* Sistema de Recirculación del Abrasivo (SRAMC)



*Figura 21.* Tamiz o tela metálica



## 8<sup>va</sup> ETAPA: ESTUDIO FUNCIONAL DEL SISTEMA

En esta etapa del proyecto se vincularán todos los elementos componentes del mismo, garantizando su correcto desempeño.

### **3.20 CIRCUITO**

Al circuito lo podemos dividir en dos partes o subsistemas como indica la figura. 22.

- 1) **Bomba** - Tobera: subsistema de energía de presión.
- 2) **Tobera** - chapa a cortar: subsistema de energía de velocidad (aceleración de partículas abrasivas).

### **3.21 DESCRIPCIÓN DEL DIAGRAMA PRINCIPAL**

Referencias:

- 1) Filtro de agua (diámetro de partícula = 0.45 a 0.5  $\mu\text{m}$ ).
- 2) Bomba auxiliar de la bomba de alta presión.
- 3) Válvula solenoide de bloqueo (primaria).
- 4) Válvula de seguridad y descarga.
- 5) Manómetro.
- 6) Componente de enlace: Tubo de acero inoxidable trefilado ( $\varnothing$  ext. = 8 mm,  $\varnothing$  int. = 5 mm).
- 7) Componente de enlace: Tubo de acero inoxidable trefilado articulado o tubo flexible ( $\varnothing$  N = 8 mm).
- 8) Unidad colectora (Mesa principal o longitudinal)
- 9) Bomba de alta presión de émbolos (60 MPa).
- 10) Motor eléctrico de accionamiento de la bomba de alta presión: Tipo trifásico blindado de 1500 r/m, con caja reductora de la velocidad (velocidad entrada = 1500 r/m, velocidad salida = 982 r/m). N (potencia) = 2 HP.
- 11) Cabezal abrasivo compuesto por:
  - a) Tobera de agua "pura". Diámetro = 0.30 mm, material = zafiro.
  - b) Cámara de mezcla del agua y el abrasivo (por succión = efecto Venturi).



- c) Tubo mezclador o de aceleración de partículas abrasivas. Diámetro (de salida) = 1 mm.
- 12) Tolva con abrasivo (capacidad = 43.2 kg).
- 13) Componente de enlace: Tubo flexible, vínculo entre la tolva y la cámara de aspiración ( $\varnothing N = 6$  mm).
- 14) Chapa a cortar (acero inoxidable austenítico, espesor  $\leq 5$  mm).
- 15) Acumulador de gas.
- 16) Válvula solenoide (secundaria).

### **3.22 COMPONENTES**

#### **3.22.1 FILTRO**

Figura. 22, *componente n° 1*

Como expresamos en la primera etapa de este proyecto, el fluido empleado es agua directamente de red. Pero deberá ser filtrada antes de su ingreso a la bomba, debido al contenido de calcio, hierro y otros minerales que pondrían en peligro no solamente a la bomba de alta presión sino también a la pequeña tobera de agua, reduciendo la vida útil de esta última de 200 h (agua correctamente filtrada) a 34 h (agua sin filtrar). El filtrado se deberá realizar a un diámetro de partícula entre  $0,45 \mu\text{m}$  y  $0,5 \mu\text{m}$  ya que el juego existente entre émbolo y camisa (bomba de alta presión) es de tan solo  $2 \mu\text{m}$ .

#### **3.22.2 BOMBA AUXILIAR DE LA BOMBA PRINCIPAL**

##### **3.22.2.1 INTRODUCCIÓN**

Figura. 22, *componente n° 2*

Se utiliza la bomba que viene adosada a la bomba inyectora.

Las bombas de alimentación empleadas en los motores Diesel son generalmente de accionamiento mecánico del tipo aspirante - impelente y de funcionamiento por émbolo. Su única función es mantener el flujo de agua a la presión establecida sobre la bomba de inyección.

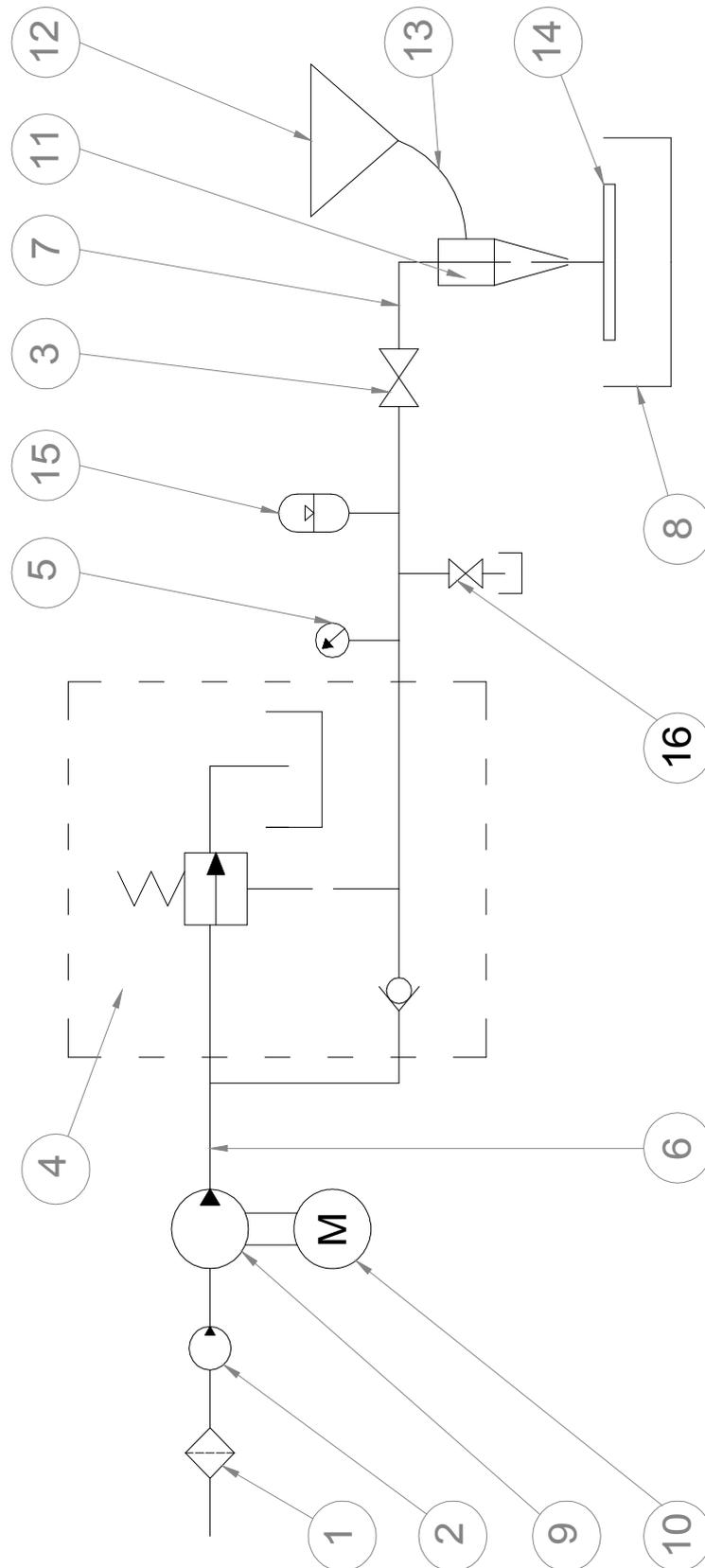


Fig. 22. Diagrama Principal del Circuito



Este tipo de bomba, figura. 23, de simple o doble efecto, recibe el movimiento al ser accionada por medio de una leva excéntrica situada en el eje de levas de la bomba inyectora. La citada leva actúa sobre un impulsor de rodillo acoplado al émbolo de impulsión de la bomba de alimentación.

### 3.21.2.2 BOMBA DE SIMPLE EFECTO

Este tipo de bomba es el más generalizado en los circuitos de alimentación Diesel con bomba de inyección en línea. Está formada; figura. 23 y 24; por un cuerpo de bomba (16) de aluminio fundido, donde van situadas las cámaras de aspiración y presión, separadas por el émbolo (14), cuyo desplazamiento se efectúa por medio del muelle (13) y del rodillo impulsor (22).

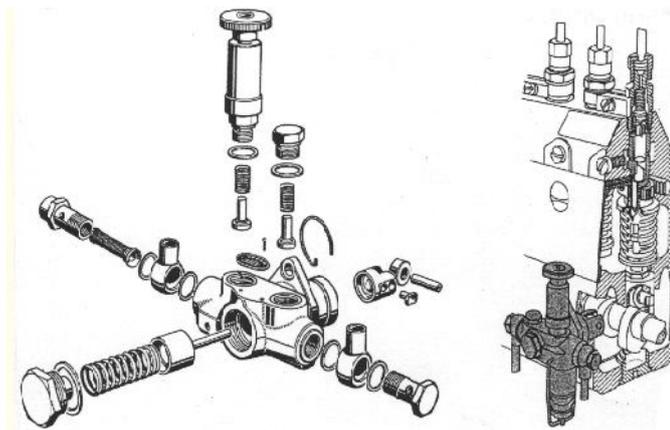


Figura 23. Despiece de una bomba de alimentación por émbolo de simple efecto (BOSCH)

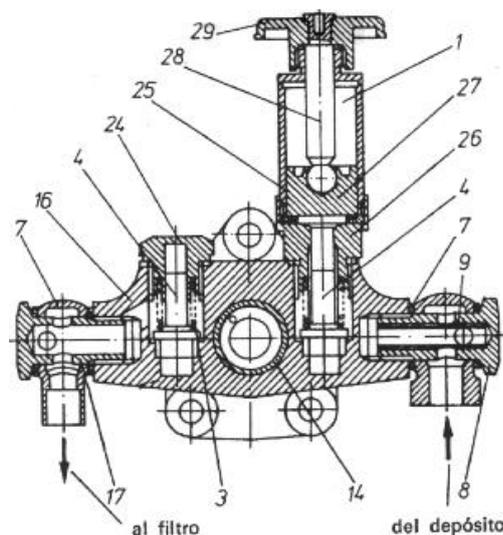


Figura 24. Bomba de alimentación seccionada



En el cuerpo de bomba y sobre los conductos de entrada y salida de agua van situadas las válvulas de paso (4), retenidas en su posición de reposo por los muelles (3), y una bomba de cebado manual (1), situada sobre la válvula de admisión. La bomba manual actúa directamente sobre la válvula de admisión para el cebado de la bomba de alimentación y la bomba de inyección antes de la puesta en funcionamiento del motor, o cuando por cualquier causa, se haya desmontado algún elemento de la bomba dando lugar a una entrada de aire en el circuito.

### **3.22.3 VÁLVULA SOLENOIDE DE BLOQUEO PRINCIPAL**

Figura. 22, *componente n° 3*

Cuando se desee terminar con la acción cortante (flujo de agua y abrasivo), se accionará esta válvula.

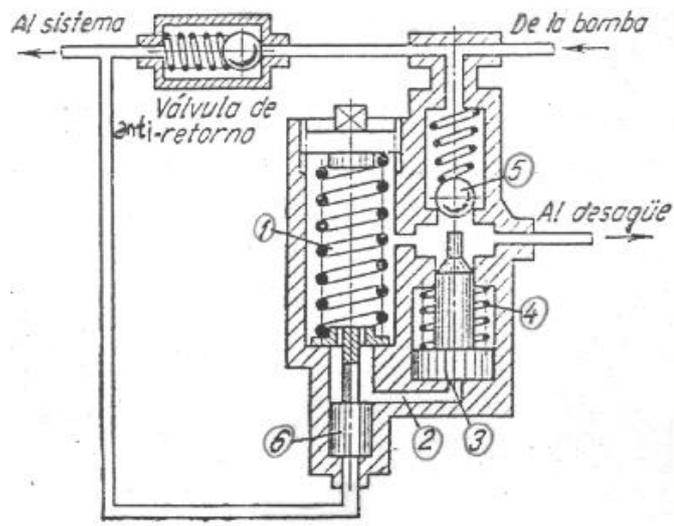
### **3.22.4 ELEMENTOS DE SEGURIDAD DEL CIRCUITO**

#### **3.22.4.1 INTRODUCCIÓN**

Figura. 22, *componente n° 4*

Al accionarse la válvula solenoide de bloqueo (cierre del paso de agua hacia el cabezal abrasivo), la presión del circuito (hasta esta válvula) se elevará, por lo tanto será necesario colocar una válvula que ponga un límite a la presión. Con esto se evitan los daños a los componentes y a las tuberías que podrían derivar de un aumento incontrolado de la presión, de por sí particularmente fácil en todos los circuitos que contienen un líquido.

Válvula de seguridad y descarga, figura. 25. Éste es un dispositivo necesario en los sistemas con bomba no regulable. Cuando la bomba suministra el líquido de trabajo (agua) al sistema, la válvula de descarga permanece cerrada, como se muestra en dicha figura. Al cerrarse la válvula solenoide de bloqueo, la presión del sistema comienza a elevarse hasta que el resorte (1) comienza a ceder por la acción del émbolo (6) con lo cual se ponen en contacto el conducto (2) con el de impulsión.



**Figura 25.** Esquema interno de una válvula de seguridad y descarga

El agua llega al pistón (3), el cual desplazándose hacia arriba y comprimiendo el muelle (4), abre la válvula de bola (5). Por lo tanto el agua proveniente de la bomba pasa al desagüe y la presión de la misma se ve disminuida. Una vez abierta la válvula solenoide de bloqueo, la presión del sistema desciende; el resorte (1) baja el émbolo (6), el émbolo (3) y la bola (5) => la bomba retoma la presión de trabajo (60 MPa).

### **3.22.5 MANÓMETRO**

Figura. 22, **componente n° 5**

Se colocará un manómetro (mide presión manométrica) para regular con exactitud la válvula de seguridad y descarga y controlar la correcta presión del circuito.

### **3.22.6 COMPONENTES DE ENLACE**

Figura. 22, **componente n° 6 y 7**

Hasta la válvula solenoide de bloqueo (figura. 22, componente n° 3) se utiliza un tubo de precisión de acero inoxidable sin costura trefilado en frío, al cual se lo somete a un tratamiento térmico de recocido para garantizar la plasticidad necesaria y así poder obtener la deformación en frío (curvado) sin llenado de arena (figura. 22, componente n° 6).



### **3.21.6.1 DATOS CARACTERÍSTICOS DEL COMPONENTE n° 6**

- $\varnothing$  ext. = 8 mm
- $\varnothing$  int. = 5 mm
- espesor = 1,5 mm
- $P_{\text{máx}}$  = 615 kgf/cm<sup>2</sup>

Entre la válvula solenoide de bloqueo y el cabezal de mezcla (figura. 22, componente n° 7) se puede utilizar un sistema de tubo de acero espiralado, articulado o una combinación de tubo de acero inoxidable y tubo flexible. Este último está constructivamente formado por doble malla de alta resistencia para soportar altas presiones.

### **3.21.6.2 DATOS CARACTERÍSTICOS DEL COMPONENTE n° 7**

- $\varnothing N$  = 8 mm
- Presión de trabajo = 611.83 kgf/cm<sup>2</sup>

### **3.22.7 UNIDAD COLECTORA**

Figura. 22, *componente n° 8*

Por debajo del plano de corte se coloca una unidad colectora (mesa principal o longitudinal) de la mezcla agua - abrasivo y material removido de la chapa cortada. Finalmente por el sistema diseñado (SRAMC) por un filtrado, a un diámetro menor que la partícula abrasiva (< 0.180 mm), se podrá recuperar el abrasivo.

### **3.22.8 ACUMULADOR DE GAS**

#### **3.22.8.1 INTRODUCCIÓN**

Figura. 22, *componente n° 15*

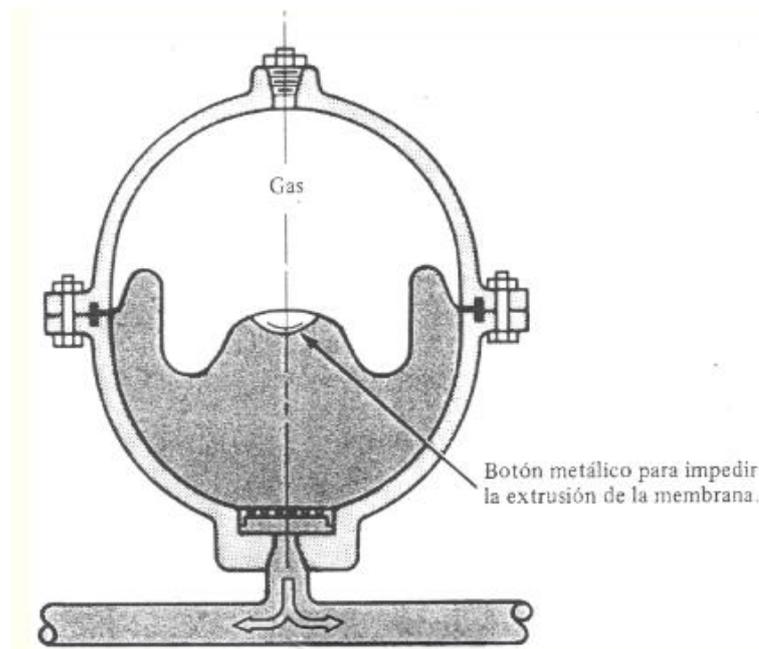
A diferencia de los gases, los fluidos utilizados en los sistemas hidráulicos no pueden ser comprimidos y almacenados para su utilización en cualquier tiempo o lugar. Cuando puede utilizarse, la ventaja de un acumulador consiste en suministrar un medio de almacenar



fluidos incompresibles bajo presión. Esto se consigue porque cuando el fluido hidráulico, bajo presión, entra en la cámara del acumulador hace una de las tres cosas siguientes: comprime un muelle, comprime un gas o eleva un peso. Cualquier tendencia a disminuir que tenga la presión, a la entrada del acumulador, hace que el elemento reaccione y obligue al líquido a salir.

En nuestro circuito el acumulador cumple con varias funciones:

- 1) Absorber las pequeñas variaciones de presión, consecuencia del caudal discontinuo que entrega la bomba principal, haciéndola más constante.
- 2) Absorber los picos de presión debido al cierre brusco de la válvula solenoide de bloqueo (figura. 22, componente n° 3).
- 3) Mantener el circuito (entre la válvula de anti-retorno y la válvula solenoide de bloqueo) a la presión de trabajo ( $611.83 \text{ kgf/cm}^2$ ), mientras la bomba principal trabaja a baja presión (esta situación se produce cuando se cierra momentáneamente la válvula solenoide de bloqueo).



**Figura 26.** Acumulador de gas, de membrana o vejiga



En nuestro diseño utilizaremos un acumulador de membrana o vejiga.

### **3.22.8.2 DESCRIPCIÓN**

Probablemente el acumulador más utilizado es el de la cámara cargada con un gas inerte, generalmente nitrógeno seco. Puede utilizarse aire u oxígeno, siempre que el fluido hidráulico no sea aceite (peligro de explosión).

Un acumulador hidráulico debe cargarse cuando está vacío de fluido hidráulico. Las presiones de carga de gas varían en cada aplicación y dependen del intervalo de presiones de trabajo y del volumen de fluido requerido en dicho intervalo. La presión de carga del gas no debe ser inferior al 25 % (preferentemente al 33 %) de la presión máxima de trabajo. La presión del acumulador varía en proporción a la compresión del gas, aumentando cuando entra el fluido y disminuyendo cuando sale.

### **3.22.9 VÁLVULA SOLENOIDE (SECUNDARIA)**

Figura. 22, *componente n° 16*

Esta válvula se abrirá con la parada del motor eléctrico (y se cerrará con el arranque del motor). Tiene como función, descargar la presión del acumulador, para el caso de tener que iniciarse cualquier desmontaje de las líneas del circuito.

### **3.23 PARÁMETROS DEL PROYECTO**

En el proceso de corte por chorro de agua y abrasivo, intervienen los siguientes principales parámetros, para un espesor de chapa a cortar de 5 mm:

- Presión de agua = 611.83 kgf/cm<sup>2</sup>
- Caudal de agua = 1 lit/min
- Ø Tobera = 0.30 mm
- Ø (salida) Tubo mezclador o acelerador de partículas abrasivas = 1 mm
- Distancia entre la salida del tubo mezclador y la chapa a cortar = 7 mm
- Ángulo de ataque (ángulo entre el eje del tubo mezclador y la chapa a cortar) = 90°
- Tipo de abrasivo: garnet (granate)



- Caudal de abrasivo = 6 g/s
- $\varnothing$  partícula = 0.180 mm (mesh [malla] 80)

Estos parámetros tienen una influencia directa sobre el proceso de corte por chorro de agua abrasivo (AWJ):

- 1) Si aumentamos la presión de la bomba => aumenta, en forma lineal, la profundidad de corte.
- 2) Si aumentamos el caudal de abrasivo => hasta un cierto valor (desde cero) el aumento de la profundidad de corte es casi exponencial, luego pasa a cúbica y finalmente inversa (atoramiento en el tubo mezclador).
- 3) Un alto valor de caudal de abrasivo => un alto poder cortante, pero => un más rápido desgaste del tubo mezclador.
- 4) Si aumentamos la velocidad de corte (desplazamiento transversal [v]) => disminuye la calidad superficial del corte y la profundidad de corte.
- 5) Si aumentamos la separación entre el tubo mezclador (punto de salida) y la pieza a cortar => disminuye la profundidad de corte.
- 6) El ángulo de ataque del chorro de agua abrasivo al material a cortar, resulta ser un parámetro importante que afecta el proceso de maquinado. Normalmente es de 90°.
- 7) El tamaño de partícula de abrasivo influye sobre la terminación superficial y profundidad de corte de la siguiente manera:
  - a) A mayor tamaño de partícula => se necesita mayor distancia para lograr su aceleración (por parte del chorro de agua) con respecto a la partícula de menor tamaño \ al utilizar partículas de menor tamaño, obtenemos mayor velocidad de proyección y una mayor cantidad de partículas que impactan sobre el material a cortar => mayor profundidad de corte que si se trabajara con partículas de tamaño mayor.
  - b) A menor diámetro de partícula de abrasivo => se obtiene una superficie de menor rugosidad.



### ***3.24 SOFTWARE APLICADO AL CORTE POR CHORRO DE AGUA Y ABRASIVOS***

Este programa (**Abrcalc.exe**) obtenido en internet nos permite determinar, figura. 27, aproximadamente, los valores de velocidad de corte lineal [**mm/min**] para los siguientes parámetros:

- Material a cortar
- Espesor del material a cortar [**mm**]
- Presión de trabajo (bomba de agua) [**bar**]
- Caudal de abrasivo [**kg/min**]
- Diámetro tobera de agua [**mm**]
- Diámetro (de salida) tubo mezclador [**mm**]

Este programa fue realizado por Carl Olsen ([carlomax@aol.com](mailto:carlomax@aol.com)), requiere Windows 95 o NT 4.0 y un espacio en disco de 290 kbytes.

Gracias a este software se puede obtener las velocidades de corte necesarias para los diferentes materiales que se pueden mecanizar en esta máquina.

Los valores primarios se obtuvieron con un valor de la presión de la bomba de 1500 bares, con lo cual recurrí a calcular la velocidad de corte, pero para 600 bares proporcionando los valores obtenidos en un principio para 5 mm y para 2 mm de espesor de chapas como referencia.

Los valores de velocidades de corte en las chapas con un espesor de 5 y 2 mm se los puede encontrar en los anexos 3, 4, 5 y 6

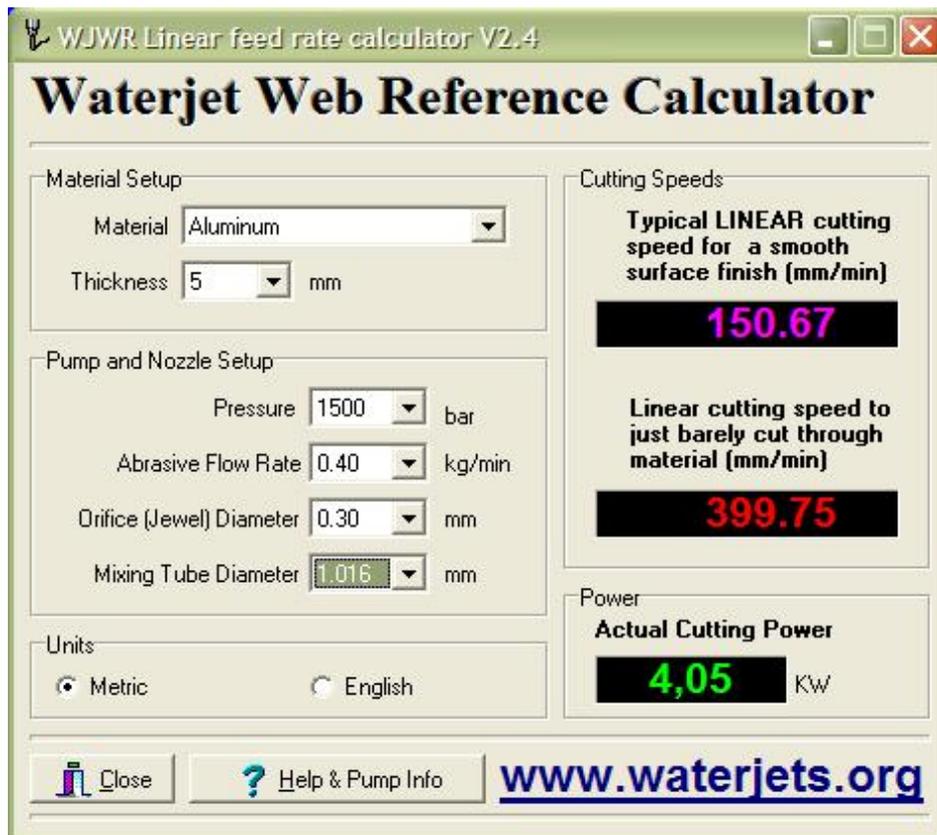
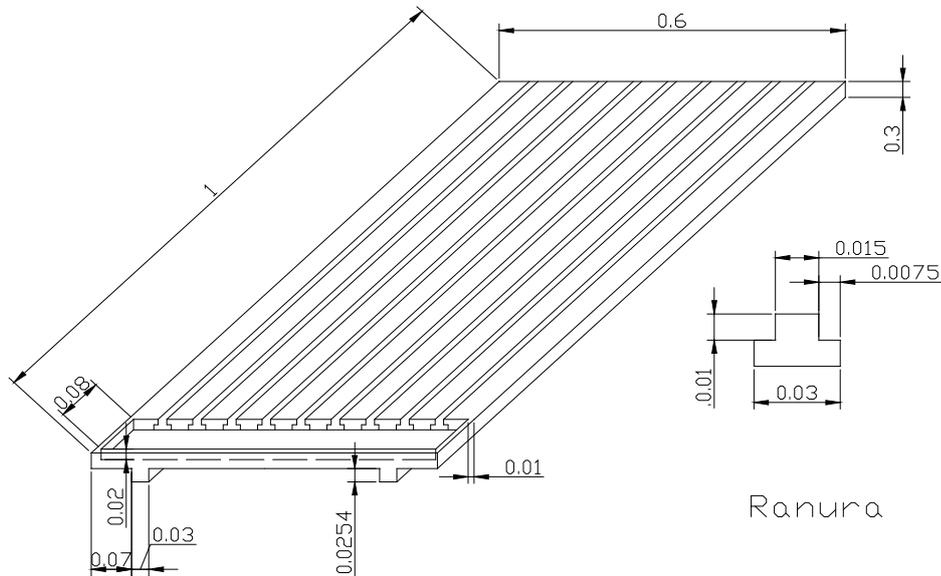


Figura 27. Software aplicado al corte por chorro de agua y abrasivos



## 9<sup>na</sup> ETAPA: DISEÑO DE LA BANCADA

### 3.25 DISEÑO DE LA MESA PRINCIPAL O LONGITUDINAL



Cálculo del área y volumen de la mesa principal:

$$A_{\text{mesa principal}} = l \cdot a = 1 \text{ m} \cdot 0.6 \text{ m} = 0.6 \text{ m}^2$$

$$V_{\text{mesa principal}} = A \cdot e = 0.6 \text{ m}^2 \cdot 0.03 \text{ m} = 0.018 \text{ m}^3$$

Cálculo del área y volumen de las ranuras de la mesa principal:

$$A_{\text{ranuras}} = (l \cdot a + l \cdot a) \cdot 9 = (0.015 \text{ m} \cdot 0.01 \text{ m} + 0.03 \text{ m} \cdot 0.01 \text{ m}) \cdot 9 = 4.05 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$V_{\text{ranuras}} = A \cdot l = 4.05 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 \cdot 0.91 \text{ m} = 3.69 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

Cálculo del área y volumen del canal de la mesa principal:

$$A_{\text{canal}} = l \cdot a = 0.08 \text{ m} \cdot 0.58 \text{ m} = 0.0464 \text{ m}^2$$

$$V_{\text{canal}} = A \cdot e = 0.0464 \text{ m} \cdot 0.02 \text{ m} = 9.28 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

Cálculo del área y volumen de los soportes de las guías:

$$A_{\text{soporte guías}} = l \cdot a = 1 \text{ m} \cdot 0.03 \text{ m} = 0.03 \text{ m}^2$$

$$V_{\text{soporte guías}} = (A \cdot e) \cdot 2 = (0.03 \text{ m}^2 \cdot 0.0254 \text{ m}) \cdot 2 = 1.52 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$



Cálculo del volumen total de la mesa principal:

$$V_{total\ mesa} = V_{\text{mesa principal}} - V_{\text{ranuras}} - V_{\text{canal}} - V_{\text{soporte guías}}$$

$$= 0.018\ m^3 - 3.69 \cdot 10^{-3}\ m^3 - 9.28 \cdot 10^{-4}\ m^3 + 1.52 \cdot 10^{-4}\ m^3 = \mathbf{0.014\ m^3}$$

**Material** = Aluminio

$\gamma$  **Aluminio** = 2700 kg/m<sup>3</sup>

Ecuación para calcular el peso del objeto dependiendo del su material de construcción:

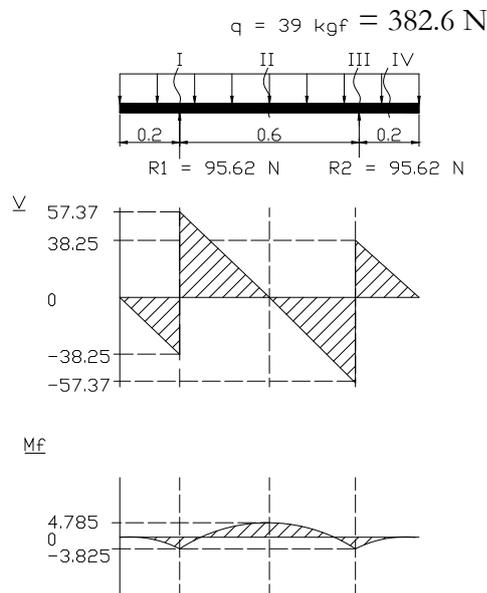
$$W_{\text{mesa principal}} = \gamma_{\text{Alum}} \cdot V_{\text{total mesa}} \quad (27)$$

$$= 2700 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 0.014\ m^3 = \mathbf{38\ kg}$$

**W mesa principal** = peso de la mesa principal (kg)

Adopto un **W mesa principal** de **39 kgf**

### 3.26 DISEÑO DE LAS GUÍAS



**Cálculo de la Fuerza Cortante y del Momento Torsor de la guía:**

La  $q$  total (carga total) que resistirá cada par de guías es de 19.5 kgf o 191.24 N

$$q_{\text{total}} = 39\ \text{kgf} / 2\ \text{guías} = 19.5\ \text{kgf} = \mathbf{191.24\ N}$$





$$y = 0.015 \text{ m}$$

$$\sigma_{max} = \frac{M \cdot y}{I} = \frac{(4.785 \text{ N} \cdot \text{m}) \cdot (0.015 \text{ m})}{5.63 \cdot 10^{-8} \text{ m}^4} = 1274866.8 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \quad (29)$$

$$A_{guia} = b \cdot h = (0.025 \text{ m}) \cdot (0.030 \text{ m}) = 7.5 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

Luego utilizando la Ecuación de la tensión máxima admisible puedo calcular:

$$\sigma_{max} = \frac{F}{A_{guia}} \Rightarrow F = \sigma_{max} \cdot A_{guia} \quad (30)$$

$$= 1274866.8 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \cdot 7.5 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 = 97.5 \text{ kgf} = 956.15 \text{ N}$$

Cada una de estas guías diseñadas pueden soportar una carga de **97.5kgf** o **956.15N**

**Peso de las guías:**

$$V_{guia} = A \cdot l = 7.5 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \cdot 1 \text{ m} = 7.5 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$\gamma_{fundición} = 6900 - 7200 \text{ kg/m}^3$$

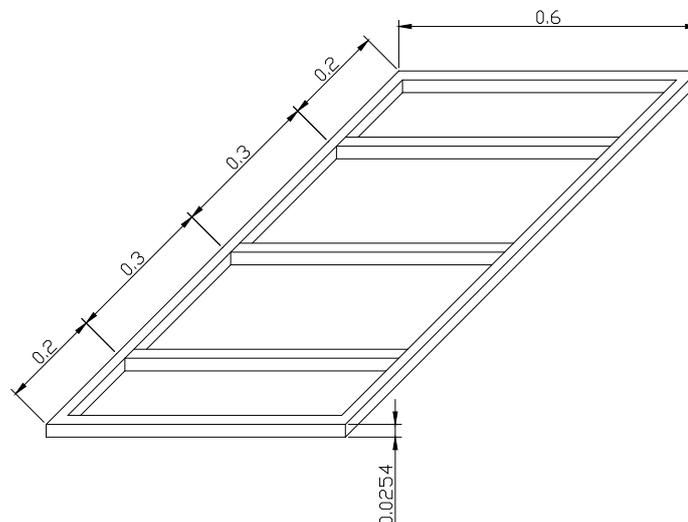
Adopto un valor de **7200 kg/m<sup>3</sup>**

Mediante la Ecuación 27 obtengo:

$$W_{guia} = \gamma_{fundicion} \cdot V_{guia} = \left( 7200 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) \cdot (7.5 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3) = 5.4 \text{ kg}$$

**W guía** = peso de cada par de guías (kg)

### 3.27 DISEÑO DE LA MESA SECUNDARIA O TRANSVERSAL

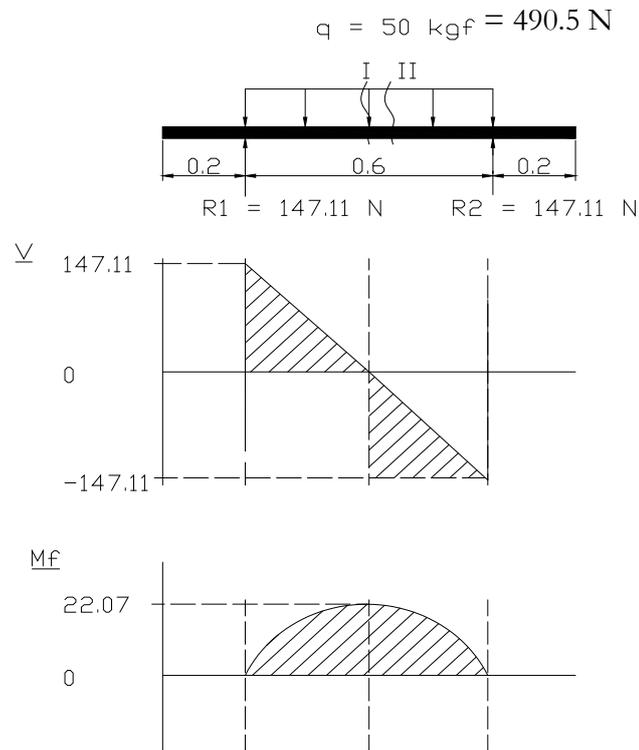




$$q \text{ total} = 50 \text{ kgf} = 490.35 \text{ N}$$

$R1 = R2$ ; por la simetría de la guía.

$$Q = \frac{q}{l} = \frac{490.35 \text{ N}}{1 \text{ m}} = 490.35 \frac{\text{N}}{\text{m}}$$



Cálculo de las reacciones  $R1$  y  $R2$ :

$$\uparrow \sum Fy = 0$$

$$2 R1 - Q \cdot l = 0$$

$$R1 = \frac{Q \cdot l}{2} = \frac{490.35 \frac{\text{N}}{\text{m}} \cdot 0.6 \text{ m}}{2} = 147.11 \text{ N}$$

$$V \text{ máx} = 147.11 \text{ N}$$

$$V \text{ mín} = -147.11 \text{ N}$$

$$Mf \text{ máx} = 22.07 \text{ N.m}$$

$$Mf \text{ mín} = 0 \text{ N.m}$$



### 3.27.1 ESTUDIO DE LA MESA TRANSVERSAL II PARTE

**Material :** Acero St-37

$$\sigma_{adm} = 14 \cdot 10^7 \text{ N/m}^2$$

Coefficiente de seguridad  $\eta = 2$

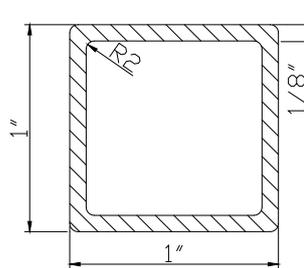
$$Mf_{\text{máx}} = 22.07 \text{ N.m}$$

Mediante la Ec. 31 de la Tensión de Fluencia puedo encontrar el Módulo resistente de la sección Ec.32

$$\sigma_{flu} = \frac{Mf_{\text{max}}}{W_x} \Rightarrow W_x = \frac{Mf_{\text{max}}}{\sigma_{flu}} \quad (31)$$

$$W_x = \frac{Mf_{\text{max}}}{\sigma_{adm} \cdot \eta} = \frac{22.07 \text{ N.m}}{\left(14 \cdot 10^7 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}\right) \cdot 2} = 7.88 \cdot 10^{-8} \text{ m}^3 \quad (32)$$

Según el módulo resistente de la sección  $W_x$  obtenido, adopto para la estructura de esta mesa transversal un tubo cuadrado estructural de **1" x 1" x 1/8"**



$$L_{\text{material}} = 2(0.6\text{m}) + 2(1\text{m}) + 3(0.55\text{m}) = 4.85\text{m}$$

$$A_{\text{ext tubo}} = b \cdot h = 0.0254\text{m} \cdot 0.0254\text{m} = 6.45 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{\text{int tubo}} = b \cdot h = 0.01904\text{m} \cdot 0.01904\text{m} = 3.63 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{\text{total}} = A_{\text{ext}} - A_{\text{int}} = 6.45 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 - 3.63 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 = 2.82 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

**Peso de la mesa transversal:**

$$V_{\text{tubo}} = A_{\text{tubo}} \cdot \text{long} = 2.82 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \cdot 4.85 \text{ m} = 1.37 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$\gamma_{\text{Acero St-37}} = 7850 \text{ kg/m}^3$$



$$W_{\text{mesa}} = \gamma_{\text{St-37}} \cdot V_{\text{guia}} = \left( 7850 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) \cdot (1.37 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3) = 10.75 \text{ kg}$$

$W_{\text{mesa}}$  = peso de la mesa transversal (kg)

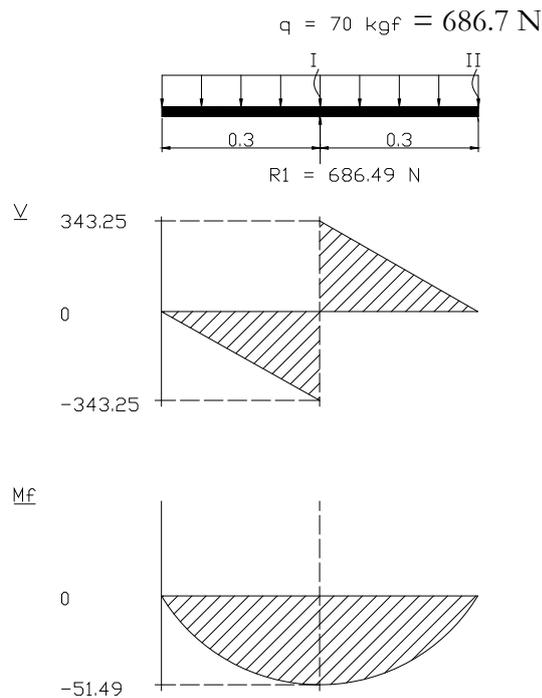
### 3.28 CÁLCULO DE LAS GUÍAS DE LA MESA TRANSVERSAL

La  $q$  total que resistirá este par de guías será:

$$q_{\text{total}} = 39 \text{ kgf} + 2 ( 5.4 \text{ kgf} ) + 10.75 \text{ kgf} = 60.55 \text{ kgf}$$

Asumo una  $q$  total de **70 kgf**, para los estudios posteriores:

### 3.29 DISEÑO DE LA MESA GIRATORIA



$$q_{\text{total}} = 70 \text{ kgf} = 686.49 \text{ N}$$

$$Q = \frac{q}{l} = \frac{686.49 \text{ N}}{0.6 \text{ m}} = 1144.15 \frac{\text{N}}{\text{m}}$$

Calculo de la reaccion R1:



$$\uparrow \sum Fy = 0$$

$$Rl - Q \cdot l = 0$$

$$Rl = Q \cdot l = 1144.15 \frac{\text{N}}{\text{m}} \cdot 0.6 \text{ m} = 686.49 \text{ N}$$

$$V \text{ máx} = 343.25 \text{ N}$$

$$V \text{ min} = -343.25 \text{ N}$$

$$Mf \text{ máx} = 51.49 \text{ N.m}$$

$$Mf \text{ min} = 0 \text{ N.m}$$

### 3.29.1 ESTUDIO DE LA MESA GIRATORIA II PARTE

**Material:** Acero St-37

$$\sigma \text{ adm} = 14 \cdot 10^7 \text{ N/m}^2$$

Coefficiente de seguridad  $\eta = 2$

$$Mf \text{ máx} = 51.49 \text{ N.m}$$

Mediante la Ec. 31, obtengo Ec. 32

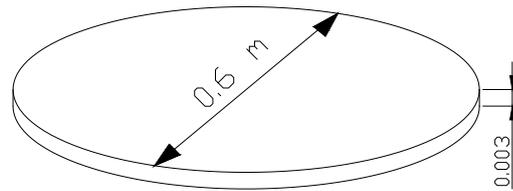
$$\sigma \text{ flu} = \frac{Mf \text{ max}}{Wx} \Rightarrow Wx = \frac{Mf \text{ max}}{\sigma \text{ flu}}$$

$$Wx = \frac{Mf \text{ max}}{\sigma \text{ adm} \cdot \eta} = \frac{51.49 \text{ N.m}}{\left(14 \cdot 10^7 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}\right) \cdot 2} = 1.84 \cdot 10^{-7} \text{ m}^3$$

Con el módulo de resistencia obtengo la altura  $h$  de la mesa giratoria similar a un computo de selección rectangular:

$$Wx = \frac{b \cdot h^2}{6} \Rightarrow h = \sqrt{\frac{Wx \cdot 6}{b}} = \sqrt{\frac{1.84 \cdot 10^{-7} \text{ m}^3 \cdot 6}{0.6 \text{ m}}} = 1.36 \cdot 10^{-3} \text{ m} \quad (33)$$

Mediante la fórmula del módulo resistente de la sección  $Wx$  obtengo un valor de 1.36 mm para lo cual adopto una chapa de **3 mm** de espesor para la mesa giratoria.



$$A \text{ mesa giratoria} = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = \frac{\pi \cdot (0.6\text{m})^2}{4} = 0.283 \text{ m}^2$$

$$V \text{ mesa giratoria} = A \cdot e = 0.283 \text{ m}^2 \cdot 0.003\text{m} = 0.00085 \text{ m}^3$$

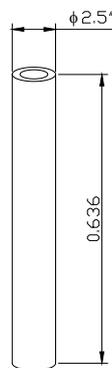
*Peso de la mesa giratoria:*

$$\gamma \text{ Acero St-37} = 7850 \text{ kg/m}^3$$

$$W \text{ mesa} = \gamma \text{ St-37} \cdot V \text{ mesa} = \left( 7850 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) \cdot (0.00085 \text{ m}^3) = 6.6 \text{ kg}$$

**W mesa** = peso de la mesa giratoria (kg)

### 3.30 DISEÑO DEL EJE SOPORTE



**Material** = Acero St – 37

**Longitud** = 0.636 m

**D ext** = 2.5" = 0.0635m

**d int** = 0.0565m

$\sigma \text{ adm St – 37} = 1.5 \cdot 10^8 \text{ N/m}^2$

**P max** = 90 kgf = 882.63 N

**E** =  $2.06 \cdot 10^{11} \text{ N/m}^2$



Cálculo del momento de inercia máximo de la sección **I máx**, para el pandeo de vigas mediante la fórmula de fuerza crítica **F crít Ec.34**

$$F_{crit} = \frac{\pi \cdot E \cdot I_{max}}{l^2} \Rightarrow I_{max} = \frac{F_{crit} \cdot l^2}{\pi \cdot E} \quad (34)$$

$$= \frac{(882.63 \text{ N}) \cdot (0.636 \text{ m})^2}{\pi \cdot \left(2.06 \cdot 10^{11} \frac{\text{N}}{\text{m}^2}\right)} = 5.52 \cdot 10^{-10} \text{ m}^4$$

Gracias al momento de inercia máximo de la sección puedo calcular el diámetro del eje macizo **D** :

$$I_{max} = \frac{\pi \cdot D^4}{64} \Rightarrow D = \sqrt[4]{\frac{I_{max} \cdot 64}{\pi}} = \sqrt[4]{\frac{(5.52 \cdot 10^{-10} \text{ m}^4) \cdot 64}{\pi}} = 0.0102 \text{ m}$$

Según este resultado el diámetro calculado para la fuerza que actuara en el eje tendrá un diámetro de 10.3 mm, este valor pequeño del diámetro del eje que necesito se debe a su pequeña dimensión ya que el pandeo en este eje resultara demasíadamente pequeño; pero por razones de la estética de la máquina y mas que nada del trabajo a realizarse en la misma adopto para este un eje tubular hueco de **2 1/2"** de diámetro con un espesor de pared del tubo de **1/8"**.

El eje tubular hueco que adopte puede soportar la fuerza que a continuación calculare:

$$A_{eje} = \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) = \frac{\pi}{4} [(0.0635\text{m})^2 - (0.0565\text{m})^2] = 6.6 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$\sigma = \frac{F}{A} \Rightarrow F = \sigma \cdot A = 1.5 \cdot 10^8 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \cdot 6.6 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 = 99000 \text{ N}$$

Este eje hueco tubular soporta hasta una carga de **99000 N** o **10094.8 kgf**

Cálculo del volumen del eje hueco tubular:

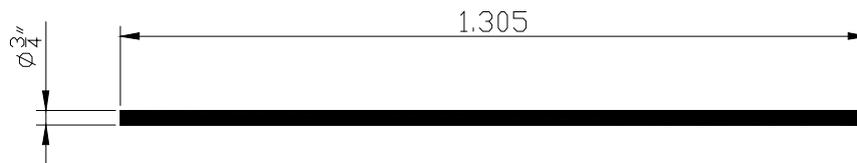
$$V_{eje} = A \cdot l = (6.6 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2) \cdot (0.636 \text{ m}) = 4.2 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

Cálculo del peso del eje hueco tubular:



$$W_{\text{eje}} = \gamma_{\text{acero}} \cdot V_{\text{eje}} = 7850 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 4.2 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 = 3.3 \text{ kg}$$

### 3.31 DISEÑO DE LOS PERNOS QUE DARAN MOVIMIENTO A LAS MESAS

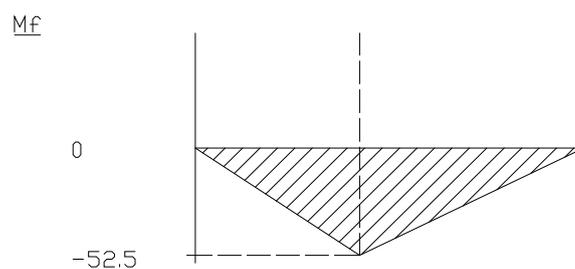
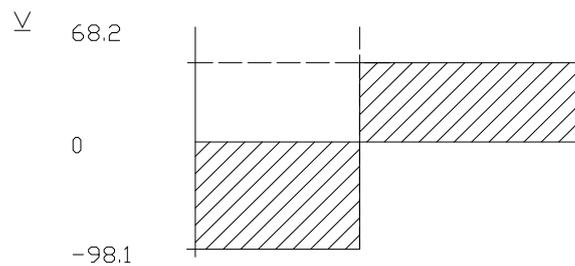
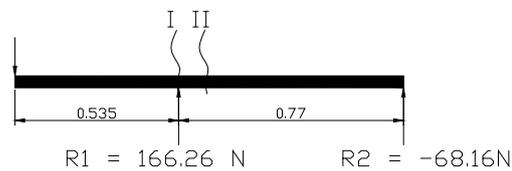


Longitud de los pernos = 1.305 m

Fuerza aplicada = 10 kgf = 98.1 N

#### Calculo de la Fuerza Cortante y Momento Flector del perno

$$q = 10 \text{ kgf} = 98.1 \text{ N}$$





$$q \text{ total} = 98.1 \text{ N}$$

Cálculo de la reacción:

$$\downarrow (+) \quad \sum MR1 = 0$$

$$q (0.535 \text{ m}) + R2 (0.77 \text{ m}) = 0$$

$$R1 = \frac{-q \cdot (0.535 \text{ m})}{0.77 \text{ m}} = \frac{-98.1 \text{ N} \cdot (0.535 \text{ m})}{0.77 \text{ m}} = -68.2 \text{ N}$$

$$\uparrow \sum Fy = 0$$

$$-q + R1 + R2 = 0$$

$$R1 = q - R2 = 98.1 \text{ N} - (-68.2 \text{ N}) = 166.16 \text{ N}$$

$$V \text{ máx.} = 68.2 \text{ N}$$

$$V_{\text{min}} = -98.1 \text{ N}$$

$$Mf \text{ máx.} = 52.5 \text{ N.m}$$

$$Mf \text{ min} = 0 \text{ N.m}$$

### 3.31.1 ESTUDIO DE LOS PERNOS QUE DARÁN MOVIMIENTO A LAS MESAS II PARTE

$$Mf \text{ máx.} = 52.5 \text{ N.m}$$

Aplicando la ecuación de Momento Torsor Ec. 35:

$$Mt = F \cdot \frac{D \text{ rueda}}{2} = 98.1 \text{ N} \cdot \frac{0.2 \text{ m}}{2} = 9.81 \text{ N.m} \quad (35)$$

Seguidamente procedo a calcular el Momento equivalente Ec. 36;

$$ME = \sqrt{Mf^2 + Mt^2} = \sqrt{(52.5 \text{ N.m})^2 + (9.81 \text{ N.m})^2} = 22 \text{ N.m} \quad (36)$$



$$\sigma_{fl III} (St-37) = 2.35 \cdot 10^8 \text{ N/m}^2$$

Posteriormente computo el diámetro necesario para este eje Ec. 37:

$$D = \sqrt[3]{\frac{10 \cdot ME}{\sigma_{fl III}}} = \sqrt[3]{\frac{10 \cdot (22 \text{ N} \cdot \text{m})}{2.35 \cdot 10^8 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}}} = 9.78 \cdot 10^{-3} \text{ m} = 10 \text{ mm} \quad (37)$$

Con este cálculo adopto un eje con un diámetro de  $3/4'' = 0.1905 \text{ mm}$ , por cuanto realizare en este eje diferentes medidas de cilindrados, y además realizare un desbaste para la chaveta del volante.

$$A_{eje} = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = \frac{\pi \cdot (0.01905 \text{ m})^2}{4} = 2.9 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$V_{eje} = A_{eje} \cdot long = (2.9 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2) \cdot (1.305 \text{ m}) = 3.8 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$\gamma_{St-37} = 7850 \text{ kg/m}^3$$

Utilizando la Ec. 27, obtengo el peso de cada uno de los 2 ejes que voy a utilizar:

$$W_{eje} = \gamma_{St-37} \cdot V_{eje} = \left(7850 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right) \cdot (3.8 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3) = 3 \text{ kg por eje}$$

$W_{eje}$  = peso de cada eje (kg)

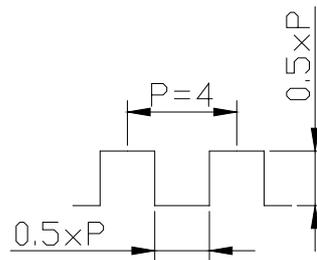
De estos ejes diseñados, procedo al cálculo para determinar el paso de los pernos que darán el movimiento de avance en los carros longitudinal y transversal, estos pernos tendrán una rosca cuadrada por su avance rápido y su mayor resistencia.

$$D_{eje} = 3/4'' = 0.01905 \text{ m}$$

Con esta ecuación realizo el cálculo del paso de los ejes rosca cuadradas que necesito.

$$Paso = 0.2 \cdot D_{eje} = 0.2 \cdot (0.01905 \text{ m}) = 3.81 \cdot 10^{-3} \text{ m} \quad (38)$$

Por lo que adopto para estos pernos un paso de **4 mm**.



### 3.32 DISEÑO DEL CONJUNTO DE ENGRANAJES CÓNICOS

$$M = 5$$

$$P = 5 \text{ dientes / pulgada}$$

$$Z1 = 45 \text{ dientes}$$

$$Z2 = 45 \text{ dientes}$$

$$\Gamma = \text{ángulo de la } Z1$$

$$Y = \text{ángulo de la } Z2$$

Tanto el ángulo de inclinación  $\Gamma$  como  $Y$ , tendrán el mismo valor ya que  $Z1$  y  $Z2$  tienen el mismo número de dientes por ende serán de igual diámetros Ec. 39:

$$\text{tg } \Gamma = \text{tg } \gamma = \frac{Z1}{Z2} = \frac{45}{45} = 1 \Rightarrow \text{tg}^{-1}(1) = 45^\circ \quad (39)$$

$Dp1 = Dp2 =$  diámetros primitivos de la  $Z1$  y  $Z2$  respectivamente, Ec.40:

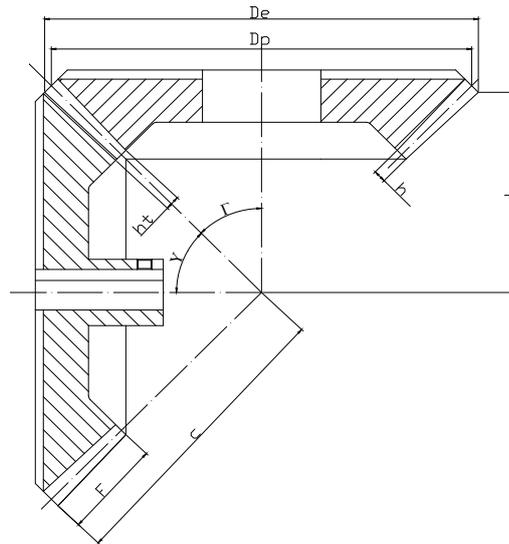
$$Dp1 = Dp2 = Z \cdot M = (45) \cdot (5) = 225 \text{ mm} = 0.225 \text{ m} \quad (40)$$

$De1 = De2 =$  diámetros exteriores de la  $Z1$  y  $Z2$  respectivamente Ec. 41: (41)

$$De1 = De2 = 1.41422 \cdot M + Dp = 1.41422 \cdot (5) + (225 \text{ mm}) = 232 \text{ mm} = 0.232 \text{ m}$$

La generatriz es igual Ec. 42:

$$c = 0.707 \cdot Dp = 0.707 \cdot (225 \text{ mm}) = 159 \text{ mm} = 0.159 \text{ m} \quad (42)$$



Longitud de los dientes de los engranajes Ec. 43:

$$F = \frac{c}{3} = \frac{159 \text{ mm}}{3} = 53 \text{ mm} = 0.053 \text{ m} \quad (43)$$

Altura de los dientes de la rueda o Z1 Ec. 44:

$$h = 2 \cdot M = 2 \cdot (5) = 10 \text{ mm} = 0.01 \text{ m} \quad (44)$$

Altura de los dientes del piñón o Z2 Ec. 45:

$$ht = 2.188 \cdot M = 2.188 \cdot (5) = 11 \text{ mm} = 0.011 \text{ m} \quad (45)$$

Área total del engranaje previo calculo de las partes:

$$A \text{ total engranaje} = 0.04165 \text{ m}^2$$

Volumen total del engranaje previo calculo de las partes:

$$V \text{ total engranaje} = 8.33 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

**Material de construcción de los engranajes:** Hierro fundido

Peso específico del Hierro Fundido  $\gamma \text{ Hf} = 7200 \text{ kg/m}^3$

$$W \text{ engranaje} = \gamma \text{ Hf} \cdot V \text{ engranaje} = \left( 7200 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) \cdot (8.33 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3) = 6 \text{ kg}$$

Este valor de **6 kg** corresponde a cada uno de los engranajes diseñados.



### 3.33 DISEÑO DEL EJE QUE SOPORTARA EL PIÑÓN CÓNICO.

$$q_1 = 98.1 \text{ N}$$

$$q_2 = 59 \text{ N}$$

Calculo de las reacciones R1 y R2:

$$\sum M_{R2} = 0$$

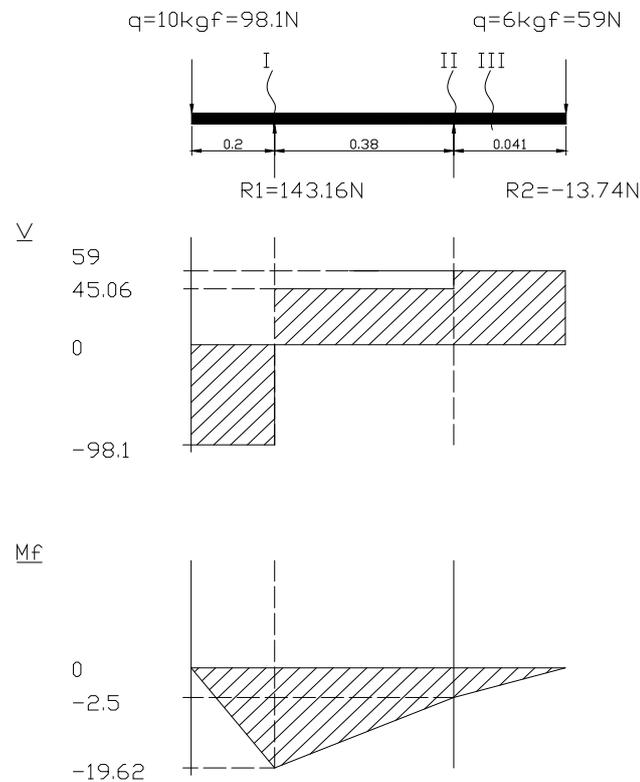
$$q_1 (0.2 \text{ m}) + R_2 (0.38 \text{ m}) + q_2 (0.421 \text{ m}) = 0$$

$$R_2 = \frac{q_2 \cdot (0.421 \text{ m}) - q_1 (0.2 \text{ m})}{0.38 \text{ m}} = \frac{59 \text{ N} \cdot (0.421 \text{ m}) - 98.1 \text{ N} (0.2 \text{ m})}{0.38 \text{ m}} = 13.74 \text{ N}$$

$$\sum F_y = 0$$

$$-q_1 + R_1 + R_2 - q_2 = 0 \Rightarrow R_1 = q_1 - R_2 + q_2$$

$$R_1 = q_1 - R_2 + q_2 = 98.1 \text{ N} - (13.74 \text{ N}) + 59 \text{ N} = 143.16 \text{ N}$$



$$V_{\text{máx}} = 59 \text{ N}$$

$$V_{\text{min}} = -98.1 \text{ N}$$



$$Mf \text{ máx} = 19.62 \text{ N.m}$$

$$Mf \text{ min} = 0 \text{ N.m}$$

### 3.33.1 ESTUDIO DEL EJE QUE SOPORTARA EL PIÑÓN CÓNICO II PARTE

$$Mf \text{ máx} = 19.62 \text{ N.m}$$

Aplicando la Ec. 35, 36 y 37 respectivamente:

$$Mt = F \cdot \frac{D \text{ rueda}}{2} = 98.1 \text{ N} \cdot \frac{0.25 \text{ m}}{2} = 12.3 \text{ N.m}$$

$$ME = \sqrt{Mf^2 + Mt^2} = \sqrt{(19.62 \text{ N.m})^2 + (12.3 \text{ N.m})^2} = 23.16 \text{ N.m}$$

$$\sigma \text{ fl III (St-37)} = 2.35 \cdot 10^8 \text{ N/m}^2$$

$$D = \sqrt[3]{\frac{10 \cdot ME}{\sigma \text{ fl III}}} = \sqrt[3]{\frac{10 \cdot (23.16 \text{ N.m})}{2.35 \cdot 10^8 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}}} = 9.95 \cdot 10^{-3} \text{ m} = 10 \text{ mm}$$

Con este calculo adopto un eje con un diámetro de  $1'' = 0.0254 \text{ mm}$ , ya que en el mismo realizare cilindrados de diferentes medidas, y además un desbaste para la chaveta del volante.

$$A \text{ eje} = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = \frac{\pi \cdot (0.0254 \text{ m})^2}{4} = 5.07 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$V \text{ eje} = A \text{ eje} \cdot \text{long} = (5.07 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2) \cdot (0.621 \text{ m}) = 3.15 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$\gamma \text{ St-37} = 7850 \text{ kg/m}^3$$

$$W \text{ eje} = \gamma \text{ St-37} \cdot V \text{ eje} = \left(7850 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right) \cdot (3.15 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3) = 2.5 \text{ kg}$$

W eje = peso del eje (kg)



### 3.34 DISEÑO DE LA BASE GENERAL DE LA BANCADA.

Primeramente procedo a calcular el peso total que va a soportar la viga horizontal que va colocada en el centro de la base, a continuación realizare el calculo de fuerza cortante y momento flector máximo.

$$W_{total} = W_{\text{mesa prin.}} + W_{\text{guiasI}} + W_{\text{mesa trans.}} + W_{\text{guiasII}} + W_{\text{mesa gir.}} + W_{\text{eje soporte}} + W_{\text{pernos mov.}} + W_{Z1}$$

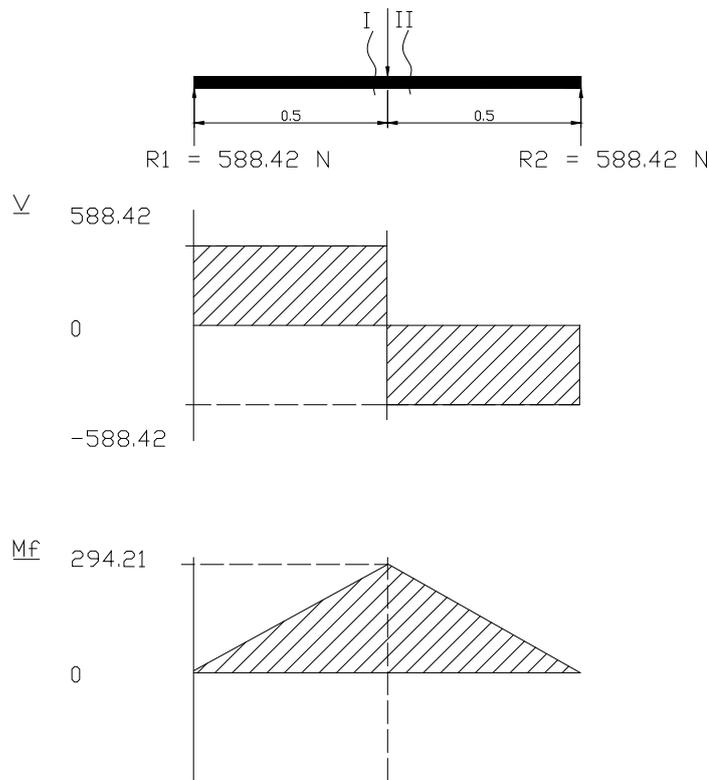
$$W_{total} = (39 \text{ kg}) + 2(5.4 \text{ kg}) + (10.75 \text{ kg}) + 2(5.4 \text{ kg}) + (17.74 \text{ kg}) + (3.3 \text{ kg}) + 2(3 \text{ kg})$$

$$W_{total} = 104.4 \text{ kg}$$

$W_{total}$  = peso total de la base general de la bancada (kg)

Para calcular la sección y perfil de esta viga horizontal adopto un  $W_{total} = 120 \text{ kg}$ , por razones del peso que se añadirá a esta cuando se monte el material para proceder a cortar.

$$q = 120 \text{ kgf} = 1176.84 \text{ N}$$



$$q_{total} = 1176.84 \text{ N}$$

Calculo de la reacción:



$R1 = R2$ , por la simetría de la viga.

$$\uparrow \sum Fy = 0$$

$$R1 - q + R2 = 0 \Rightarrow 2R1 - q = 0 \Rightarrow R1 = \frac{q}{2}$$

$$R1 = \frac{q}{2} = \frac{1176.84 \text{ N}}{2} = 588.42 \text{ N}$$

$$V \text{ máx} = 588.42 \text{ N}$$

$$V \text{ mín} = -588.42 \text{ N}$$

$$Mf \text{ máx} = 294.21 \text{ N.m}$$

$$Mf \text{ mín} = 0 \text{ N.m}$$

### 3.34.1 ESTUDIO DE LA VIGA HORIZONTAL II PARTE

$$Mf \text{ máx.} = 294.21 \text{ N.m}$$

$$\text{Longitud de la viga} = 1 \text{ m}$$

Material: Acero St-37

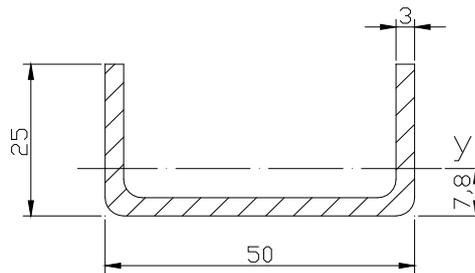
$$\sigma \text{ adm (St-37)} = 140 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma \text{ adm} = \frac{\sigma \text{ fluen}}{\eta} \Rightarrow \sigma \text{ fluen} = \rho \text{ adm} \cdot \eta = 1.4 \cdot 10^8 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \cdot 2 = 2.8 \cdot 10^8 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

Aplico la Ec. 31 del módulo resistente de la sección:

$$W = \frac{Mf \text{ max}}{\sigma \text{ fluen}} = \frac{294.21 \text{ N.m}}{2.8 \cdot 10^8 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}} = 1.051 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$$

Una vez obtenido el momento resistente de la sección de **1.051 cm<sup>3</sup>**, adopto para esta viga horizontal un perfil canal U estructural semipesado (**50 x 25 mm**), el mismo que posee un módulo resistente W en el eje Y-Y de 0.89 cm<sup>3</sup>, por ende conformare la viga horizontal con dos correas unidas entre si por medio de soldadura, teniendo este par de canales un momento resistente total de **1.78 cm<sup>3</sup>**.



Una vez seleccionado el material realizamos el cálculo del volumen total de la estructura de la bancada, que esta conformada por cuatro partes la estructura propiamente dicha de la bancada y la base del mecanismo para el movimiento de la boquilla:

### Primera parte:

**Perfil:** Canal U estructural semipesado (50 x 25 mm)

**Longitud total de perfil=** 12 m x 2 canales U

**Área del perfil=**  $3 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$

**Volumen total =** Area x Longitud =  $(3 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2) \cdot (24 \text{ m}) = 7.2 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$

$\gamma$  **Acero St-37 =** 7850 kg/ m<sup>3</sup>

**W material =**  $\gamma \text{ St - 37} \cdot \text{Volumen total} = 7850 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 7.2 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 = 56.52 \text{ kg}$

### Segunda parte:

Para esta segunda parte adopto un perfil tubo cuadrado de 1 1/4" x 1 1/4" x 1/8" .

**Perfil:** Tubo cuadrado estructural 1 1/4" x 1 1/4" x 1/8"

**Longitud total de perfil =** 2 m

**Área del perfil =**  $3.81 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$

**Volumen total =** Area x Longitud =  $(3.81 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2) \cdot (2 \text{ m}) = 7.62 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$

$\gamma$  **Acero St-37 =** 7850 kg/ m<sup>3</sup>

**W material =**  $\gamma \text{ St - 37} \cdot \text{Volumen total} = 7850 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 7.62 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 = 6 \text{ kg}$

Para esta parte que constituye en el mecanismo de movimientos en el eje "X" e "Y" de la boquilla de corte por poseer un peso de muy pequeño lo despreciamos adoptando para la construcción de esta estructura un tubo cuadrado estructural de 1" x 1" x 1/8".



### Tercera parte:

**Perfil:** Tubo cuadrado estructural 1" x 1" x 1/8"

**Longitud total de perfil = 2 m**

**Área del perfil =  $3.05 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$**

**Volumen total = Area x Longitud =  $(3.05 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2) \cdot (2 \text{ m}) = 6.09 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$**

**$\gamma$  Acero St-37 = 7850 kg/ m<sup>3</sup>**

$$W_{\text{material}} = \gamma_{\text{St-37}} \cdot \text{Volumen total} = 7850 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 6.09 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 = 4.8 \text{ kg}$$

### Cuarta parte:

Por ser similar a la anterior adopto las mismas condiciones.

**Perfil:** Tubo cuadrado estructural 1" x 1" x 1/8"

**Longitud total de perfil = 2 m**

**Área del perfil =  $3.05 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$**

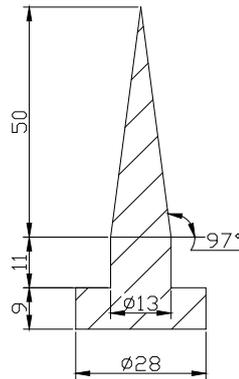
**Volumen total = Área x Longitud =  $(3.05 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2) \cdot (2 \text{ m}) = 6.09 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$**

**$\gamma$  Acero St-37 = 7850 kg/ m<sup>3</sup>**

$$W_{\text{material}} = \gamma_{\text{St-37}} \cdot \text{Volumen total} = 7850 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 6.09 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 = 4.8 \text{ kg}$$

### 3.35 DISEÑO DE LOS PORTAPIEZAS

Seguidamente procedo al cálculo de los porta piezas diseñados específicamente para esta máquina ya que con estos portaobjetos se limita la llegada del chorro de agua después de cortar la chapa hacia la mesa principal o longitudinal.



$$\text{Área c/porta objetos} = 6.6 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$\text{Volumen c/portaobjetos} = A \cdot \text{longitud} = 6.6 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \cdot 0.07 \text{ m} = 4.62 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$$

$$\gamma \text{ Aluminio} = 2700 \text{ kg/ m}^3$$

$$W \text{ porta objetos} = \gamma \text{ Al} \cdot \text{Volumen total} = 2700 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 4.62 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3 = 0.13 \text{ kg}$$

W porta objetos = peso de cada porta objetos (kg)

El peso total de los **12** portaobjetos que se construirán tendrán un valor de **1.56 kg**

En los anexos siguientes se encontrará más detalladamente el diseño de la bancada de esta máquina.



## CAPITULO IV

### VALORACIÓN ECONÓMICA E IMPACTO AMBIENTAL

#### 4.1 **COSTO DE LA BANCADA DE LA MÁQUINA DE CORTE**

**Costo del Acero St-37:** 1.80 \$/kg

**Costo mesa secundaria o transversal** = 10.75 kg . 1.80 \$/kg = **19.40 USD.**

**Costo mesa giratoria** = 6.6 kg . 1.80 \$/kg = **12.00 USD.**

**Costo eje soporte** = 3.3 kg . 1.80 \$/kg = **6.00 USD.**

**Costo ejes roscados** = 2 . (3 kg) . 1.80 \$/kg = **11.00 USD.**

**Costo eje del piñón** = 2.5 kg . 1.80 \$/kg = **4.50 USD.**

**Costo estructura de la bancada** = 56.52 kg . 1.80 \$/kg = **101.80 USD.**

**Costo base mecanismo móv. de la boquilla** = 6 kg . 1.80 \$/kg = **11.00 USD.**

**Costo mecanismo móv. eje “X”** = 4.8 kg . 1.80 \$/kg = **9.00 USD.**

**Costo mecanismo móv. eje “Y”** = 4.8 kg . 1.80 \$/kg = **9.00 USD.**

**Costo del Hierro Fundido:** 1.60 \$/kg

**Costo guías** = 2 . (5.4 kg) . 1.60 \$/kg = **17.30 USD.**

**Costo engranajes** = 2 (6 kg) . 1.60 \$/kg = **19.20 USD.**

**Costo del Aluminio:** 1.50 \$/kg

**Costo mesa principal o longitudinal** = 39 kg . 1.50 \$/kg = **58.50 USD.**

**Costo de los portaobjetos** = 12 . (0.13 kg) . 1.50 \$/kg = **2.34 USD.**

**Costo del mecanismo anti desgaste del eje soporte** = **20.00 USD:**



**Costo de partes normalizadas o fabricadas:**

<i>DESIGNACIÓN</i>	<i>Cantidad</i>	<i>P. Unitario</i>	<i>P. Total</i>
Perno Hexagonal 3/8" x 1 1/2"	2	0.20	0.40
Perno Hexagonal NF-M10 x 60 mm	10	0.25	2.50
Perno Hexagonal NF-M10 x 30 mm	10	0.30	3.00
Perno Hexagonal 3/4 "	6	0.35	2.10
Perno Hexagonal 1/4 " x 2"	24	0.20	4.80
Tuerca NF-M18	1	0.40	0.40
Tuerca NF-M16	2	0.35	0.70
Chaveta 6 x 6 x 30 mm	1	0.40	0.40
Chaveta 6 x 6 x 35 mm	1	0.40	0.40
Prisionero 5/16" x 1"	1	0.50	0.50
Arandela plana 21 x 36 x 4 mm	6	0.10	0.60
Arandela plana 6.4 x 12 x 1.5 mm	24	0.12	2.88
Chumacera 2 1/2"	1	20.00	20.00
Chumacera 5/8"	4	10.00	40.00
Volante grande	1	5.00	5.00
Volante pequeño	2	4.50	9.009
<b>Total</b>			<b>92.68 USD</b>

De los cálculos de costo realizados me produjo un valor total de gastos en materiales para la construcción de la estructura de la bancada de la maquina y su posterior construcción:

**Costo material estructura de la bancada = 301.04 USD. + 92.68 USD. = 393.72 USD.**

**Costo de mano de obra para la construcción de la estructura = 600 USD.**

**Total costo de la estructura de la bancada = 993.72 USD.**

#### **4.2 COSTO DEL CORTE**

Para poder determinar el costo del corte debemos tener presente los elementos que intervienen en el proceso, aquellos que sufren un desgaste o que se consumen durante el trabajo.

1) Elementos que sufren desgaste durante el proceso:



a) **Tobera de agua "pura"**: duración aproximada = 200 horas, costo = **50 USD.**

b) **Tubo mezclador**: duración aproximada = 90 horas, costo = **250 USD.**

2) Elementos que se consumen durante el proceso de corte:

a) **Abrasivo**: consumo = 21.6 kg/hora; costo (Alúmina) = **1.5 USD./kg**; costo (granate) = **1 USD./kg** (importado desde los Estados Unidos de América, gastos de envío incluidos), a este costo por hora lo divido para 4, ya que voy a recircular el abrasivo como mínimo 2 y máximo hasta 4 veces.

b) **Agua**: consumo = 0.057 m<sup>3</sup>/hora, costo = **0.20 USD./(m<sup>3</sup>/hora).**

c) **Electricidad (motor eléctrico)**: consumo = 0.741 kw/h, costo = **0.2 USD. / (kw/h).**

**Costo total por hora, utilizando Alúmina como material abrasivo:**

1a)	50 USD. / 200 horas =	<b>\$0.25</b>
1b)	250 USD. / 90 horas =	<b>2.77</b>
2a)	(21.6 kg/hora x 1.5 USD. /kg) / 4 =	<b>8.10</b>
2b)	0.057 m <sup>3</sup> /hora x 0.20 USD. / (m <sup>3</sup> /h) =	<b>0.02</b>
2c)	0.741 kw/hora x 0.20 USD. / (kw/h) =	<b>0.15</b>

**Total = 11.29 USD./hora**

**Costo total por hora, utilizando Granate (garnet) como material abrasivo:**

1a)	50 USD. / 200 hora =	<b>\$0.25</b>
1b)	300 USD. / 90 hora =	<b>3.33</b>
2a)	(21.6 kg/hora x 1 USD. /kg) / 4 =	<b>5.40</b>
2b)	0.057 m <sup>3</sup> /hora x 0.50 USD. / (m <sup>3</sup> /hora) =	<b>0.02</b>
2c)	0.741 kw/hora x 0.20 USD. / (kw/hora) =	<b>0.15</b>

**Total = 9.15 USD. /hora**

Velocidad de corte (según software WJWR V2.4)  $\cong$  1 mm/s (garantizando una superficie perfectamente terminada)



**Longitud del corte por hora** =  $1 \text{ mm/seg} \times 3600 \text{ seg/hora} / 1000 \text{ mm/m} = 3.6 \text{ m/hora}$

**Costo total por metro, utilizando Alúmina como material abrasivo:**

**Costo total** =  $11.29 \text{ USD. /hora} / 3.6 \text{ m/hora} = 3.14 \text{ USD. /metro}$

**Costo total por metro, utilizando Granate (garnet) como material abrasivo:**

**Costo total** =  $9.15 \text{ USD. /hora} / 3.6 \text{ m/hora} = 2.54 \text{ USD. /metro}$

**Tiempo de corte por metro:**

**Tiempo total de corte:**  $1 \text{ m} / (1.10^{-3} \text{ m/seg}) / 60 \text{ seg/min} = 16.7 \text{ minutos/metro.}$

### 4.3 COMPARACIÓN CON EL CORTE POR PLASMA

#### 4.3.1 INTRODUCCIÓN

Aquí también para poder determinar el costo del corte debemos tener presente los elementos que intervienen en el proceso, aquellos que sufren un desgaste o que se consumen durante el trabajo.

#### 1) Elementos que sufren desgaste durante el proceso:

a) **Tobera y electrodo:** duración aproximada = 6 horas, costo = 30 USD.

b) **Torcha:** duración aproximada = 800 horas, costo = 500 USD.

#### 2) Elementos que se consumen durante el proceso de corte:

a) **Electricidad:** consumo = 0,685 kw/hora, costo = 0.20 USD. / (kw/hora).

**Costo por hora:**

1a)  $30 \text{ USD.} / 6 \text{ hora} =$  **\$5.00**

1b)  $500 \text{ USD.} / 800 \text{ hora} =$  **0.63**

2a)  $0.685 \text{ kw/hora} \times 0.2 \text{ USD.} / (\text{kw/hora}) =$  **0.14**

**Total = 5.77 USD. /hora**



Pero en este proceso de corte hay fusión en la zona de corte, por lo tanto aparece una rebaba y una aureola. Se deben retirar por medio de amolado y lijado (trabajo posterior al proceso de corte). Por lo tanto debemos agregar un tercer punto a la sumatoria de costos.

3) Trabajo posterior al corte para eliminar irregularidades:

- a) Eliminación de la rebaba: tiempo aproximado empleado = 15 minutos/metro.
- b) Eliminación de la aureola: tiempo aproximado empleado = 20 minutos/metro.

**Costo = 6 USD. /hora hombre.**

Recordemos que la terminación superficial de la zona de corte en el proceso de corte por chorro de agua y abrasivos, es similar a una superficie arenada.

**Velocidad de corte = 8 mm/seg**

**Longitud del corte por hora = 8 mm/seg x 3600 seg/hora / 1000 mm/m = 28.8 m/hora**

**Costo total por metro:**

**Costo total:** 5.77 USD. /hora / 28.8 m/hora (puntos 1 y 2) + (15 min + 20 min) / 60 min/hora x 6 USD. /hora hombre = **3.70 USD. /metro**

**Tiempo de corte por metro**

**Tiempo total = 1 m / (8.10<sup>-3</sup> m/seg) / 60 seg/minutos + 20 min (punto 3) = 22.08 min/metro**

#### 4.3.2 TABLA COMPARATIVA ENTRE AMBOS PROCESOS

<i>Proceso de corte</i>	<i>Por Plasma</i>	<i>Por Ch.A.A.</i>
Velocidad de corte [mm/s]	8	1
Tiempo final de corte [minutos/metro]	22.08	16.7
Costo [USD. /metro]	3.70	2.54 (Granate) 3.14 (Alúmina)



Se observa en la tabla anterior que utilizando este tipo de abrasivo, el método de corte sigue siendo aun más económico que el plasma.

Cabe destacar que en los tiempos indicados en el punto número tres, no se tuvieron en cuenta el tiempo necesario para que la pieza se enfríe y el tiempo correspondiente al traslado de las piezas de una etapa (3a) a la otra (3b). Tiempos que no existen en el proceso de corte por chorro de agua y abrasivos.

#### 4.4 COSTO DE FABRICACIÓN DE LA MÁQUINA

##### 1) Sistema de mezcla del agua-abrasivo:

###### A) Materiales:

a) Tolva: material = SAE 1010, volumen =  $160 \text{ cm} \times 45 \text{ cm} \times 0.2 \text{ cm} = 1440 \text{ cm}^3$

b) Placa orificio: material = SAE 1010, volumen =  $40 \text{ cm} \times 40 \text{ cm} \times 0.95 \text{ cm} = 1520 \text{ cm}^3$

c) Cámara intermedia: material = SAE 1010, volumen =  $(40 \text{ cm} \times 40 \text{ cm} + 1.5 \text{ cm} \times (\pi \times 40 \text{ cm}) + (0.5 \text{ cm} \times \pi) \times 1 \text{ cm}) \times 0.2 \text{ cm} = 360 \text{ cm}^3$

d) Conducto de aspiración: material = tubo flexible plástico, Diámetro nominal = 6 mm , Longitud = 2 m

e) Cabezal abrasivo (cámara de aspiración): material = acero inoxidable martensítico con tratamiento térmico posterior, volumen =  $((\pi \times 3^2) / 4) \times 5 \text{ cm} = 35.34 \text{ cm}^3$

**Costo material:** SAE 1010 = 2.00 USD. /kg, acero inoxidable = 6.50 USD. /kg

Peso específico = peso / volumen =  $7.85 \cdot 10^{-3} \text{ kg/cm}^3 \Rightarrow \text{peso} = P_e \times \text{volumen}$

Sumatoria costo material:

a)  $7.85 \cdot 10^{-3} \text{ kg/cm}^3 \times 1440 \text{ cm}^3 \times 2.00 \text{ USD. /kg} = 22.60 \text{ USD.}$



- b)  $7.85 \cdot 10^{-3} \text{ kg/cm}^3 \times 1520 \text{ cm}^3 \times 2.00 \text{ USD. /kg} =$  **23.86 USD.**  
c)  $7.85 \cdot 10^{-3} \text{ kg/cm}^3 \times 360 \text{ cm}^3 \times 2.00 \text{ USD. /kg} =$  **5.65 USD.**  
d)  $17 \text{ USD. /m} \times 2 \text{ m} =$  **34.00 USD.**  
e)  $7.85 \cdot 10^{-3} \text{ kg/cm}^3 \times 35.34 \text{ cm}^3 \times 6.50 \text{ USD. /kg} +$   
 $10 \text{ USD. (tratamiento térmico)}$  **0.55 USD.**

**Costo material = 86.66 USD.**

**B) Elementos intercambiables:**

a) **Tobera de agua "pura": material = zafiro, duración aproximada = 200 horas, costo = 50USD.**

b) **Tubo mezclador: material = carburo de tungsteno compuesto, duración aproximada = 90 horas, costo = 250 USD.**

Costo de los elementos intercambiables:

Costo elementos intercambiables: 50 USD. (a) + 250 USD. (b) = **300 USD.**

**C) Mano de obra:**

**A-a)**  $30 + 10 =$  40 min

**A-b)**  $30 + 20 =$  50 min

**A-c)**  $30 + 30 =$  60 min

**A-e)**  $30 + 30 + 30 =$  90 min

Armado del conjunto = 30 min

**Tiempo total = 270 min**

Costo hora hombre = 6 USD. /hora

**Costo mano de obra = 270 minutos / 60 minutos/hora x 6 USD. /hora = 27 USD.**

Costo total del sistema de mezcla del agua y del abrasivo:

**Costo total del sistema: 86.66 USD. (A) + 300 USD. (B) + 27 USD. (C) = 413.66 USD.**



**2) Bomba de alta presión:**

a) Se parte de una bomba inyectora de 4 elementos (pistones), con un costo inicial (desarmadero) = **60 USD.**

b) Trabajo sobre cada elemento = 18 USD. => **Total = 72 USD:**

c) **Árbol de levas:** costo material = 20 USD., Mecanizado y rectificado = 50 USD., Tratamiento térmico = 20 USD. => **Total = 90 USD.**

d) **Motor eléctrico trifásico blindado**, 2 HP de potencia, 1500 r/m: **Total = 180 USD.**

e) **Reductor de velocidad:** velocidad de entrada = 1500 r/m, velocidad de salida = 932 r/m, **Total = USD. 75**

**Costo total de la bomba de alta presión:**

Costo total de la bomba: 60 USD. (a) + 72 USD. (b) + 90 USD. (c) + 180 USD. (d) + 75 USD. ; **Total = 477 USD.**

**3) Filtro de agua:** Costo = **38 USD.**

**4) Manómetro:** Costo = **30 USD.**

**5) Tubo de acero inoxidable sin costura:** Costo = 5 USD. /m x 3 m = **15 USD.**

**6) Válvula de seguridad:** Costo = **80 USD.**

**7) Válvula solenoide:** Costo = 50 USD. x 2 (cantidad) = **100 USD.**

**8) Acumulador:** Costo = **200 USD.**

**Costo total de fabricación de la máquina:** 413.66 USD.(1) + 477 USD. (2) + 38 USD. (3) + 30 USD. (4) + 15 USD. (5) + 80 USD. (6) + 100 USD. (7) + 200 USD. (8) + 993.72 USD (Construcción de la estructura) = **2347.38 USD.**



**Ahorro en el corte con respecto al plasma (utilizando Granate):** 3.70 USD. /m - 2.54 USD. /m = **1.16 USD. /m**

**Ahorro en el corte con respecto al plasma (utilizando Alúmina):** 3.70 USD. /m - 3.14 USD. /m = **0.56 USD. /m**

**Longitud necesaria de corte para recuperar la inversión (fabricante):** 2347.38 USD / 1.16 USD. /m (Granate) = **2024 m.**

**Longitud necesaria de corte para recuperar la inversión (fabricante):** 2347.38 USD. / 0.56 USD. /m (Alúmina) = **4192 m**

**Tiempo necesario de trabajo en corte para recuperar la inversión (fabricante):** 2024 m (Granate) x 16.7 min/metro / 60 min/hora = **563 h, 70 días** (8 horas/día de trabajo)

**Tiempo necesario de trabajo en corte para recuperar la inversión (fabricante):** = 4192 m (Alúmina) x 16.7 min/metro / 60 min/hora = **1167 h, 146 días** (8 horas/día de trabajo)

**Precio de venta en el mercado (máquina de corte de chapas por chorro de agua y abrasivos): 4500 USD.**

**Longitud necesaria de corte para recuperar la inversión (comprador):** 4500 USD. / 1.16 USD. /m (Granate) = **3879 m**

**Longitud necesaria de corte para recuperar la inversión (comprador):** 4500 USD. / 0.56 USD. /m (Alúmina) = **8036 m**

**Tiempo necesario de trabajo en corte para recuperar la inversión (comprador):** 3879 m (Granate) x 16.7 min/metro / 60 min/hora = **1080 h, 135 días** (8 horas/día de trabajo).

**Tiempo necesario de trabajo en corte para recuperar la inversión (comprador):** 8036 m (Alúmina) x 16.7 min/metro / 60 min/hora = **2237 h, 280 días** (8 horas/día de trabajo)



**Precio de venta en el mercado (máquina de plasma): \$ 5500**

**MARCA: EBOX**

**CAPACIDAD DE CORTE: 5 mm**

**Precio venta servicio de corte por plasma:** Costo x 1.2 (ganancia) = 3.70 USD. /m x 1.2 = 4.44 USD. /m.

**Ganancia utilizando plasma:** (4.44 – 3.70) USD. /m x (60 min/hora / 22.08 min/m) x 8 horas/día de trabajo x 248 días/año = **3939.56 USD. /año**

**Ganancia utilizando chorro de agua y abrasivos:** (4.44 – 2.54) USD. /m x (60 min/hora / 22.08 min/metro) x 8 horas/día de trabajo x 248 días/año = **10243.5 USD. /año (Granate)**

**Ganancia utilizando chorro de agua y abrasivos:** (4.44 – 3.14) USD./m x (60 minutos/hora / 22.08 min/metro) x 8 horas/día de trabajo x 248 días/año = **7008.70 USD./año (Alúmina)**

**Incremento de las ganancias con respecto al plasma (tomando igual precio de venta):** 1.16 USD./m x (60 min/hora / 22.08 min/metro) x 8 horas/día de trabajo x 248 días/año = **6254 USD./año (Granate)**

**Incremento de las ganancias con respecto al plasma:** 0.56 USD./m x (60 minutos/hora / 22.08 min/metro) x 8 horas/día de trabajo x 248 días/año = **3019 USD./año (Alúmina)**

**Precio de venta servicio de corte por chorro de agua y abrasivos (igual ganancia que en plasma):** 3939.56 USD./año / (60 min/h / 22.08 min/m) / 8 horas/día de trabajo / 248 d/año + 2.54 \$/m = **3.27 USD./metro (Granate)**

**Precio de venta servicio de corte por chorro de agua y abrasivos (igual ganancia que en plasma):** 3939.56 USD./año / (60 min/h / 22.08 min/m) / 5 horas/día de trabajo / 248 d/año + 3.14 USD./m = **3.87 USD./metro (Alúmina).**



## **IMPACTO AMBIENTAL**

### **4.5 LA MÁQUINA DE CORTE DE CHAPAS POR CHORRO DE AGUA-ABRASIVOS Y EL MEDIO AMBIENTE**

Esta Máquina de Corte de Chapas de Acero Inoxidable por Chorro de Agua y Abrasivos, una vez construida no presentara en lo absoluto peligro alguno para la conservación de nuestra ecosistema, la misma que se encuentra tan golpeada y maltratada en los últimos años, la destrucción de la capa de ozono, por la causa de los gases inertes expulsados por las fabricas que al tratar de solventar la economía de una sociedad determinada, causan un gran daño para toda la humanidad.

Los restos utilizados por esta máquina antes de su evacuación total, serán previamente tratados es decir por medio del SRAMC (Sistema de Recirculación del Abrasivo de la Maquina de Corte), se realiza inmediatamente la purificación del agua por la acción de las tamices colocadas en forma vertical; estos tamices estarán colocados desde un número mayor de tejido, hasta una menor, las mismas que reunirá en su primera parte el granate y al final recogerá las partículas de acero que resultan por la acción del microvirutamiento mismo del material en el que se realiza el procedimiento de corte.

Una vez recogido este abrasivo aproximadamente esperamos que resulte un 99-100% del material utilizado y además un 90-100% de las partículas de acero inoxidable, se procederá después a dar un tratamiento de secado al granate tamizado para su próxima utilización en un nuevo corte.

Después del tamizado se procederá a desechar el agua mediante una tubería corriente hacia el alcantarillado, ya que no existirá ningún tipo de partícula que pueda deteriorar la tubería y al alcantarillado de desalojo.

Las partículas de material abrasivo que resulten después de las 4 recirculaciones se lo procederá a reciclar para su posterior venta a las empresas que fabrican todo tipo de productos y utilizan como materia prima a los abrasivos es decir a empresas que fabrican:



pedras para esmeril, discos para amoladoras o cortadoras, papel abrasivo para metales y para madera, etc.

Al igual que las anteriores a las partículas de acero resultante se las puede reciclar en recipientes

El sonido provocado por el motor eléctrico y por la bomba sería un tipo de contaminación muy reducido por lo que no provocara malestar en las personas que se encuentren cerca de estas máquinas de corte.



## CONCLUSIONES

- ✚ Se definieron las características tecnológicas de los aceros y principalmente las del acero AISI 310, el mismo que es considerado en nuestro trabajo como punto inicial para todos los cálculos de este diseño.
- ✚ Con los cálculos realizados se pudo determinar la presión y el caudal requeridos, además el tipo de bomba que se debe utilizar, obteniéndose como resultado el uso de una bomba de inyección en línea de 4 pistones la misma que necesita de algunos cambios para su utilización.
- ✚ Se logró determinar la selección adecuada de la boquilla de corte, marca N.L.B, la misma que esta construida de carburo tungsteno y garantiza una vida útil de 200 horas de trabajo.
- ✚ Se diseño un conveniente sistema de mezclado agua-abrasivos que a más de brindar precisión en el caudal, lo hace a un bajo costo.
- ✚ Con el sistema de recirculación del abrasivo SRAMC, se economizaran cantidades significantes de dinero ya que el abrasivo vuelve de ser utilizado como mínimo 4 veces antes que pierda sus propiedades características.
- ✚ Se lograron observar los valores de velocidad de corte que posee está máquina en dependencia a los diferentes materiales a mecanizar.
- ✚ El proceso de corte en los aceros con presencia de calor o temperatura, disminuye la dureza del mismo por ende se verán afectadas todas sus propiedades como la Resiliencia, Tenacidad, Fragilidad, etc., cosa que no ocurrirá con el corte por chorro de agua y abrasivos, ya que este proceso se lo realiza en frío.



## RECOMENDACIONES

1. Se recomienda que para máquinas de corte de chapas con caudales mayores a los 6.8 lit/min, se utilicen bombas de inyección en línea marca N.L.S, ya que el rediseño de una bomba de inyección normal estaría a la par con una fabricada.
2. Se recomienda utilizar para esta máquina boquillas de corte marca NLS las mismas que poseen aun mayor número de horas de trabajo que las de otras marcas.
3. Se recomienda realizar un cambio periódico de los tamices aproximadamente tendrá que ser una vez por mes ya que si se los utilizaría mas de este tiempo dado existirán perdidas del material abrasivo.
4. El diseño de la bancada de la máquina tiene movimientos longitudinales, transversales y circulares, los mismos que podrían ser realizados por un motor eléctrico y reductor de velocidades.
5. Se recomienda construir una cámara cerrada sobre la mesa principal o longitudinal de la bancada la misma que tendrá la finalidad de no dejar salir partículas de abrasivo hacia fuera, es decir con esta cámara se quedaría todo el material abrasivo dentro de la máquina, esta cápsula deberá ser de un material transparente preferentemente para dar visibilidad al operador de la máquina.
6. Se recomienda al operador de esa máquina que en el momento de realizar el corte utilice vestimenta adecuada como protectores para la cara, ojos, pectorales, manos que son las partes mas propensas a impactos de materiales abrasivos.



## **BIBLIOGRAFIA**

1. **LARBURU**, Nicolás, Máquinas Prontuario; 12<sup>va</sup> Edición, Editorial Paraninfo, España, 2001.
2. **Mecánica de Taller**, 4<sup>ta</sup> Edición, Editorial Cultural S.A., España, 1994.
3. **APPOLD**, Hans; **FEILER**, Kurt; **REINHARD**, Alfred; **SCHMIDT**, Paúl; **GTZ** Tecnología de los Metales; Edición Especial, Editorial Reverte, España, 1984.
4. **MATAIX**, Claudio, Mecánica de Fluidos y Máquinas Hidráulicas; 49<sup>va</sup> Edición, Editorial Harper & Row Publisher Inc, Nueva York, 1970.
5. **SIDNEY**, H. Avner, Introducción a la Metalurgia Física; 4<sup>ta</sup> Edición, Editorial McGraw-Hill, México, 1997.
6. **Ing. FRAGA**, Albert; Las Especies Minerales; 13<sup>va</sup> Edición, Editorial Arco, Buenos Aires-Argentina, 2000.
7. **Dr. MOMBER**, A. W; Paper enviado; Alemania, 2004
8. **MARSHALL**, D. B; Fundamentals of Friction and wear of Material; 2<sup>da</sup> Edición, Editorial Raw, Estados Unidos, 2000.
9. **Ing. GONZALEZ**; Tecnología Automoción; Tomo 4, Edición 3<sup>ra</sup>, Editorial Buenos Aires, Argentina 2003
10. **Ing. FERNANDEZ**, Levy Gilda; Resistencia de Materiales; 2<sup>da</sup> Edición, Editorial Pueblo y Educación, La Habana 1992
11. **SHIGLEY**, Joseph. E; Diseño en Ingeniería Mecánica; 2<sup>da</sup> Edición, Editorial McGraw-Hill, México 1979.
12. **SINGER**, Ferdinand; Resistencia de Materiales; 4<sup>ta</sup> Edición, Editorial Harla, México, 1994.
13. **ARTOVOLEVSKI**, I; Mecanismos en la Técnica Moderna; Vol. 3, Editorial MIR, Moscú, 1979.
14. **VENNARD**, Jhon; Elementos de Mecánica de Fluidos; Vol.2, Ediciones Revolucionarias, Cuba, 1986.
15. **WILLIAMS**, Horace; Manual de Hidráulica; 4<sup>ta</sup> Edición, Editorial Pueblo y Educación, La Habana 1984.
16. **BOGOLIUBOV**, S; Dibujo Técnico; Edición MIR, Moscú, 1988.



17. Lic. RODRIGUEZ, Orlando; Dibujo Aplicado para Ingenieros; Tomo I y II, Editorial Pueblo y Educación, La Habana, 1986.

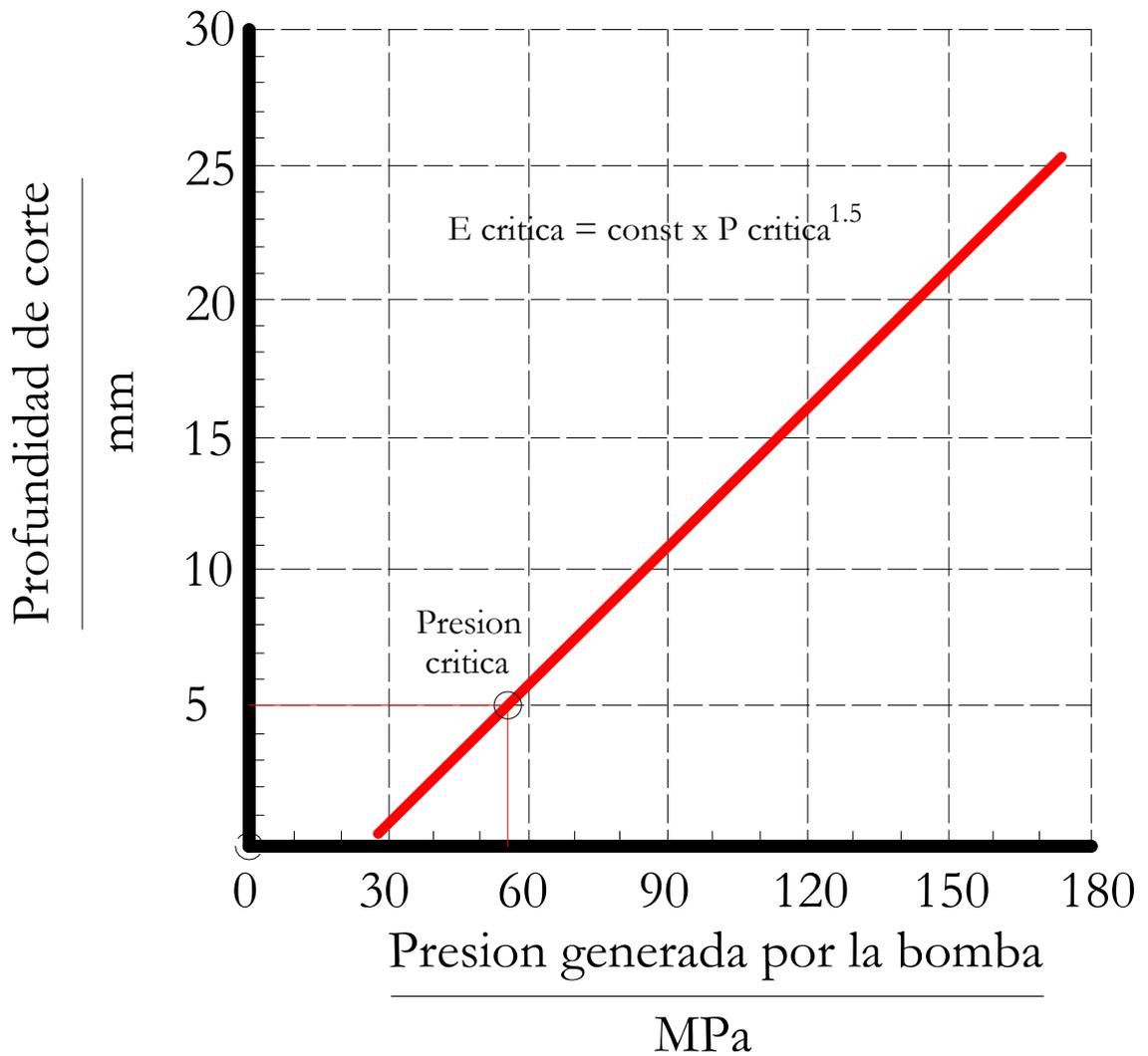
***DIRECCIONES DE INTERNET VISITADAS***

1. Bombas de inyección en línea: disponible en <http://www.bombasdeinyeccion.com>
2. Boquillas de corte: disponible en <http://www.nls.corp.com>
3. Minerales abrasivos: disponible en <http://www.abrasivos.org>
4. Diseño de engranajes de todo tipo: disponible en: <http://www.engranajes-diseño.com>
5. Características de los aceros: disponible en <http://www.losaceros.com>
6. Temas de ingeniería hidráulica: disponible en <http://www.temashidraulicos.com>
7. Todo lo referente al ecosistema: disponible en <http://www.impactoambiental.com>

ANEXO N. 1

GRÁFICA EXPERIMENTAL PARA EL ACERO INOXIDABLE

PRESIÓN DE LA BOMBA CON RELACIÓN AL ESPESOR DEL MATERIAL A CORTAR



## ANEXO N. 2

### SELECCIÓN DE LA BOQUILLA DE CORTE

[Home](#)

[Contact Us](#)

Accessories for up to 20,000 psi (1,400 bar) ▼

Ultra-Clean® for up to 40,000 psi (2,800 bar) ▼

# Accessories

The Leader in High-Pressure Water Jet Technology

[Click here to visit our corporate site](#)

**NLB Corp.**

29830 Beck Road  
Wixom, MI  
48393-2824  
Ph: 248-624-5555  
Fx: 248-624-0908

Email

Go to cart

[Email this Page](#)

[Go to Cart](#) | 0 item

[print preview](#)

[add to RFQ](#)



**Product #:** NLB-6020-AC  
**Product Name:** Abrasive Cutting Nozzle

**Description:** NLB-6020-AC allows water and abrasive material to mix together and exit the cutting nozzle orifice with powerful force. The nozzle requires a BA1966 Abrasive Nozzle Subassembly Kit, which contains adapters and tubing.

#### Features/Benefits:

- Body is made of stainless steel for long life.
- Assembly includes replaceable, long-life nozzle and carbide orifice.
- Cuts cleanly with no burr, slag or warping.
- Less dust, noise, and heat than other cutting methods.
- Compact, lightweight cutting head is compatible with automation equipment.
- Various nozzle combinations available for different cutting applications from 1 to 4 gpm (3.8 to 15.1 lpm).

#### Pricing Information:

**Unit Price:** QUOTE  
**Package Type:** Each  
**Units Per Package:** 1

#### Product Details:

**Minimum Order Quantity:** 1

[add to RFQ](#)

**ANEXO N. 3**

**CUADROS DE LAS VELOCIDADES DE CORTE DE LOS DIFERENTES  
MATERIALES**

**Parámetros implicados:**

**Según Software WJWR V2.4**

**Para espesores de 5 mm**

<b>Material</b>	<b>Pbomba (Bar)</b>	<b>Espesor (mm)</b>	<b>C. abrasivo (kg/min)</b>	<b>Dm. Tobera (mm)</b>	<b>Dm. Boquilla (mm)</b>	<b>V. Aca Supr. (mm/min)</b>	<b>V. corte (mm/min)</b>	<b>Potn. Corte (kw)</b>
Aluminio	1500	5	0.40	0.30	1.016	150.67	399.75	4.05
Cobre	1500	5	0.40	0.30	1.016	70.47	186.96	4.05
Vidrio	1500	5	0.40	0.30	1.016	491.96	1305.21	4.05
Ac.(Herram)	1500	5	0.40	0.30	1.016	48.86	129.63	4.05
Plomo	1500	5	0.40	0.30	1.016	392.76	1042.01	4.05
Ac.(Suave)	1500	5	0.40	0.30	1.016	53.81	142.76	4.05
Pino	1500	5	0.40	0.30	1.016	2676.80	7101.77	4.05
Poliuretano	1500	5	0.40	0.30	1.016	582.20	1544.63	4.05
Acero	1500	5	0.40	0.30	1.016	50.27	133.36	4.05
Titanio	1500	5	0.40	0.30	1.016	74.17	196.77	4.05
Marmol	1500	5	0.40	0.30	1.016	434.51	1152.80	4.05

**ANEXO N. 4**

**CUADROS DE LAS VELOCIDADES DE CORTE DE LOS DIFERENTES  
MATERIALES**

**Parámetros implicados:**

**Según Software WJWR V2.4**

**Para espesores de 2 mm**

<b>Material</b>	<b>P bomba (Bar)</b>	<b>Espesor (mm)</b>	<b>C. abrasivo (kg/min)</b>	<b>Dm. Tobera (mm)</b>	<b>Dm. Boquilla (mm)</b>	<b>V. Aca Supr. (mm/min)</b>	<b>V. corte (mm/min)</b>	<b>Potn. Corte (kw)</b>
Aluminio	1500	2	0.40	0.30	1.016	432.18	1146.61	4.05
Cobre	1500	2	0.40	0.30	1.016	202.13	536.27	4.05
Vidrio	1500	2	0.40	0.30	1.016	1411.11	3743.79	4.05
Ac.(Herram)	1500	2	0.40	0.30	1.016	56.06	371.82	4.05
Plomo	1500	2	0.40	0.30	1.016	1126.56	2988.85	4.05
Ac.(Suave)	1500	2	0.40	0.30	1.016	154.34	409.47	4.05
Pino	1500	2	0.40	0.30	1.016	7677.98	20370.30	4.05
Poliuretano	1500	2	0.40	0.30	1.016	1669.95	4430.52	4.05
Acero	1500	2	0.40	0.30	1.016	144.18	382.53	4.05
Titanio	1500	2	0.40	0.30	1.016	212.73	564.39	4.05
Mármol	1500	2	0.40	0.30	1.016	1246.33	3306.63	4.05

**ANEXO N. 5**

**CUADROS DE LAS VELOCIDADES DE CORTE DE LOS DIFERENTES  
MATERIALES**

**Parámetros implicados:**

**Valores proporcionales según Software WJWR V2.4**

**Para espesores de 5 mm**

<b>Material</b>	<b>P bomba (Bar)</b>	<b>Espesor (mm)</b>	<b>C. abrasivo (kg/min)</b>	<b>Dm. Tobera (mm)</b>	<b>Dm. Boquilla (mm)</b>	<b>V. Aca Supr. (mm/min)</b>	<b>V. corte (mm/min)</b>	<b>Potn. Corte (kw)</b>
Aluminio	600	5	0.40	0.30	1.016	60.27	159.90	1.62
Cobre	600	5	0.40	0.30	1.016	28.19	74.78	1.62
Vidrio	600	5	0.40	0.30	1.016	196.79	522.08	1.62
Ac.(Herram)	600	5	0.40	0.30	1.016	19.96	51.85	1.62
Plomo	600	5	0.40	0.30	1.016	157.10	416.80	1.62
Ac.(Suave)	600	5	0.40	0.30	1.016	21.52	57.10	1.62
Pino	600	5	0.40	0.30	1.016	1070.72	2840.71	1.62
Poliuretano	600	5	0.40	0.30	1.016	232.88	617.85	1.62
Acero	600	5	0.40	0.30	1.016	20.11	53.34	1.62
Titanio	600	5	0.40	0.30	1.016	29.67	78.71	1.62
Marmol	600	5	0.40	0.30	1.016	173.80	461.12	1.62

**ANEXO N. 6**

**CUADROS DE LAS VELOCIDADES DE CORTE DE LOS DIFERENTES  
MATERIALES**

**Parámetros implicados:**

**Valores proporcionales según Software WJWR V2.4**

**Para espesores de 2 mm**

<b>Material</b>	<b>P bomba (Bar)</b>	<b>Espesor (mm)</b>	<b>C. abrasivo (kg/min)</b>	<b>Dm. Tobera (mm)</b>	<b>Dm. Boquilla (mm)</b>	<b>V. Aca Supr. (mm/min)</b>	<b>V. corte (mm/min)</b>	<b>Potn. Corte (kw)</b>
Aluminio	600	2	0.40	0.30	1.016	172.87	458.64	1.62
Cobre	600	2	0.40	0.30	1.016	80.85	214.51	1.62
Vidrio	600	2	0.40	0.30	1.016	564.44	1497.52	1.62
Ac.(Herram)	600	2	0.40	0.30	1.016	22.42	148.73	1.62
Plomo	600	2	0.40	0.30	1.016	450.62	1195.54	1.62
Ac.(Suave)	600	2	0.40	0.30	1.016	61.74	163.79	1.62
Pino	600	2	0.40	0.30	1.016	3071.19	8148.12	1.62
Poliuretano	600	2	0.40	0.30	1.016	667.98	1772.21	1.62
Acero	600	2	0.40	0.30	1.016	57.67	153.01	1.62
Titanio	600	2	0.40	0.30	1.016	85.09	225.76	1.62
Marmol	600	2	0.40	0.30	1.016	498.53	1322.65	1.62

**ANEXO N. 7**

**SELECCIÓN DE CHUMACERAS**

Ejes y árboles de transmisión		<b>DIMENSIONES DE LOS COJINETES DE BRONCE PARA SOPORTES</b>				TABLA 9 . 4
Medidas en mm.						
Soportes de dos tornillos			Soportes de cuatro tornillos			
d	l	d <sub>1</sub>	d	l	d'	
25	60	35	<i>No se fabrican soportes de diámetros inferiores a 75 mm., del tipo de cuatro tornillos</i>			
30		40				
35	70	45				
40		50				
45	80	57				
50		62				
55	90	68				
60		72				
(65)	100	80				
70		85				
(75)	100	90	(75)	140	90	
80		95	80		95	
90	120	105	90	160	105	
100		115	100	180	115	
110		125	110		125	
(120)	140	140	(120)	200	140	
125		145	125		145	
(130)		150	(130)		150	
140	160	160	140	220	160	
(150)		170	(150)		170	
<i>Los diámetros entre paréntesis deben evitarse en lo posible</i>			160		260	180
			180	200		
			200	300	225	
			220		245	

**ANEXO N. 8**

**SELECCIÓN DE TORNILLOS HEXAGONALES**

Tornillos y arandelas		<b>TORNILLOS EXAGONALES (negros o corrientes)</b>																TABLA 10, . 13			
( Evítense los diámetros entre paréntesis )																					
(Concuerda en parte con DIN 601)																					
ROSCA METRICA																					
d		M 5	M 6	M 8	M 10	M 12	M 16	M 20	(M22)	M 24	(M27)	M 30	(M33)	M 36	(M39)	M 42	(M45)	M 48	(M52)		
l	min.	15	15	15	18	20	30	30	40	40	60	75	75	100	100	120	130	140	170		
	máx.	50	80	100	200	> 200															
a	min.	12	15	18	20	22	28	32	35	38	40	45	50	55	60	65	—	—	—		
	normal	15	18	22	25	28	35	40	45	50	55	60	65	70	75	85	85	85	90		
	máx.	—	—	—	—	40	50	55	60	66	70	75	80	85	90	95	100	110	110		
b ≈		10,4	11,5	16,2	19,6	21,9	27,7	34,6	36,9	41,6	47,3	53,1	57,7	63,5	69,3	75	80,8	86,5	92,4		
c		9	10	14	17	19	24	30	32	36	41	46	50	55	60	65	70	75	80		
e		3,5	4,5	5,5	7	8	10,5	13	14	15	17	19	21	23	25	26	28	30	32		
f		4	5	6,5	8	9,5	13	16	17	18	20	22	25	28	30	32	35	38	40		
r ≈		0,5						1						2							
ROSCA WHITWORTH																					
d		1/4"	5/16"	3/8"	(7/16")	1/2"	5/8"	3/4"	7/8"	1"	1 1/8"	1 1/4"	1 3/8"	1 1/2"	1 5/8"	1 3/4"	(1 7/8")	2"			
mm.		6,35	7,94	9,53	11,11	12,7	15,88	19,05	22,23	25,4	28,58	31,75	34,93	38,10	41,28	44,46	47,63	50,80			
l	min.	20	20	20	20	20	30	30	40	40	60	65	70	75	80	80	80	100			
	máx.	110	110	150	150	150	150	> 200													
a	min.	15	18	20	22	25	28	32	38	40	48	50	55	60	65	—	—	—			
	normal	18	22	25	28	30	35	40	50	55	60	65	70	75	80	85	85	90			
	máx.	—	—	—	40	45	50	55	65	70	75	80	85	90	95	100	110	110			
b ≈		12,7	16,2	19,6	21,9	25,4	31,2	36,9	41,6	47,3	53,1	57,7	63,5	69,3	75	80,8	86,5	92,4			
c		11	14	17	19	22	27	32	36	41	46	50	55	60	65	70	75	80			
e		5	6	7	8	9	11	13	16	18	20	22	24	27	30	32	34	36			
f		5,5	6,5	8	9,5	11	13	16	18	20	22	25	28	30	32	35	38	40			
r ≈		0,5				1						1,6								2	

**ANEXO N. 9**

**SELECCIÓN DE CHAVETAS**

Pasadores y chavetas		CHAVETAS PARALELAS SERIE NORMAL						TABLA 18 . 13						
Dimensiones en mm.								(De UNE 17.102 h1)						
		CHAVETA												
Sección <i>b × h</i>	Ancho <i>b</i>		Altura <i>h</i>		Chaflán <i>b<sub>1</sub></i>		Longitud <i>l</i>							
	Nominal	Toler. h9	Nominal	Toler. h9 y h11	Mínima	Máximo	De...	...a						
4 × 4	4	0	4	0	0,16	0,25	8	45						
5 × 5	5	-0,030	5	-0,030	0,25	0,40	10	56						
6 × 6	6		6		0,25	0,40	14	70						
8 × 7	8	0	7		0,25	0,40	18	90						
10 × 8	10	-0,036	8		0,40	0,60	22	110						
12 × 8	12		8	0	0,40	0,60	28	140						
14 × 9	14	0	9	-0,090	0,40	0,60	36	160						
16 × 10	16	-0,043	10		0,40	0,60	45	180						
18 × 11	18		11		0,40	0,60	50	200						
20 × 12	20		12		0,40	0,80	56	220						
22 × 14	22	0	14	0	0,60	0,80	63	250						
25 × 14	25	-0,052	14	-0,110	0,60	0,80	70	280						
28 × 16	28		16		0,60	0,80	80	320						
32 × 18	32		18		0,60	0,80	90	360						
36 × 20	36		20		0,60	1,20	100	400						
40 × 22	40	0	22	0	1,00	1,20	—	—						
45 × 25	45	-0,062	25	0,130	1,00	1,20	—	—						
50 × 28	50		28		1,00	1,20	—	—						
56 × 32	56		32		1,00	2,00	—	—						
63 × 32	63	0	32		1,60	2,00	—	—						
70 × 36	70	-0,074	36	0	1,60	2,00	—	—						
80 × 40	80		40	-0,160	2,50	3,00	—	—						
90 × 45	90	0	45		2,50	3,00	—	—						
100 × 50	100	-0,087	50		2,50	3,00	—	—						
CHAVETERO														
Diámetro del eje <i>d</i>	Sección de la chaveta <i>b × h</i>	Ancho <i>b</i> , tolerancia					Profundidad				Chaflán <i>R<sub>1</sub></i>			
		Nominal	Clase de ajuste del enchavetado			Ajustado Eje y cubo <i>p9</i>	Eje <i>h<sub>1</sub></i>		Cubo <i>h<sub>2</sub></i>		Min.	Máx.		
			Libre	Normal			Nominal	Toler.	Nominal	Toler.				
Más de	hasta	Eje h9	Cubo D10	Eje N9	Cubo Js 9	Nominal	Toler.	Nominal	Toler.					
10	12	4 × 4	4	+0,030	+0,078	0	±0,015	-0,012	2,5	+0,1	1,8	+0,1	0,08	0,16
12	17	5 × 5	5	0	+0,030	-0,030		-0,042	3	0	2,3		0,16	0,25
17	22	6 × 6	6						3,5		2,8		0,16	0,25
22	30	8 × 7	8	+0,036	+0,098	0	±0,018	-0,015	4		3,3		0,16	0,25
30	38	10 × 8	10	0	+0,040	-0,036		-0,051	5		3,3		0,25	0,40
38	44	12 × 8	12						5		3,3		0,25	0,40
44	50	14 × 9	14	+0,043	+0,120	0	±0,0215	-0,018	5,5		3,8		0,25	0,40
50	58	16 × 10	16	0	+0,050	-0,043		-0,061	6		4,3		0,25	0,40
58	65	18 × 11	18						7	+0,2	4,4	+0,2	0,25	0,40
65	75	20 × 12	20						7,5	0	4,9	0	0,40	0,60
75	85	22 × 14	22	+0,052	+0,149	0	±0,026	-0,022	9		5,4		0,40	0,60
85	95	25 × 14	25	0	+0,065	-0,052		-0,074	9		5,4		0,40	0,60
95	110	28 × 16	28						10		6,4		0,40	0,60
110	130	32 × 18	32						11		7,4		0,40	0,60
130	150	36 × 20	36	+0,062	+0,180	0	±0,031	-0,026	12		8,4		0,70	1,00
150	170	40 × 22	40	0	+0,080	-0,062		-0,088	13		9,4		0,70	1,00
170	200	45 × 25	45						15		10,4		0,70	1,00
200	230	50 × 28	50						17		11,4		0,70	1,00
230	260	56 × 32	56						20	+0,3	12,4	+0,3	0,70	1,00
260	290	63 × 32	63	+0,074	+0,220	0	±0,037	-0,032	20	0	12,4	0	1,20	1,60
290	330	70 × 36	70	0	+0,100	-0,074		-0,106	22		14,4		1,20	1,60
330	380	80 × 40	80						25		15,4		2,00	2,50
380	440	90 × 45	90	+0,087	+0,260	0	±0,0435	-0,037	28		17,4		2,00	2,50
400	500	100 × 50	100	0	+0,120	-0,087		-0,124	31		19,5		2,00	2,50

**ANEXO N. 10**

**SELECCIÓN DE ARANDELAS**

Tornillos y arandelas			ARANDELAS PLANAS						TABLA 15 . 13	
Arandela			Para tornillo....		Arandela			Para tornillo....		
d <sub>1</sub>	d <sub>2</sub>	e	Métrico	Whitworth	d <sub>1</sub>	d <sub>2</sub>	e	Métrico	Whitworth	
2,2	5,5	0,5	2		43	78	7	42	1 5/8"	
2,8	7	0,5	2,6		46	85	7	45	1 3/4"	
3,2	7	0,5	3		50	92	8	48		
4,3	9	0,8	4		54	98	8	52	2"	
5,3	11	1	5		58	105	9	56		
6,4	12	1,5	6		60	110	9	58	2 1/4"	
8,4	17	2	8		66	115	9	64	2 1/2"	
10,5	21	2,5	10		74	125	10	72	2 3/4"	
13	24	3	12		78	135	10	76	3"	
13,8	24	3		1/2"	82	140	12	80		
17	30	3	16	5/8"	93	160	12	90	3 1/2"	
21	36	4	20	3/4"	104	175	14	100	4"	
23	40	4	22	7/8"	114	185	14	110		
25	44	4	24		119	200	14	115	4 1/2"	
27	50	5	26	1"	124	210	16	120		
31	56	5	30	1 1/8"	129	220	16	125	5"	
33	60	5	32	1 1/4"	134	220	16	130		
36	68	6	35	1 3/8"	144	240	18	140	5 1/2"	
37	68	6	36		155	250	18	150	6"	
40	72	6	39	1 1/2"	( Concuerta con la norma DIN 127)					

## SIMBOLOGÍA

<b>a</b>	Aceleración
<b>A</b>	Área
<b>b</b>	Base
<b>Cc</b>	Coefficiente de contracción
<b>Cd</b>	Coefficiente de descarga
<b>Cv</b>	Coefficiente de velocidad
<b>De</b>	Diámetro exterior de un engranaje
<b>DP</b>	Depresión
<b>Dp</b>	Diámetro primitivo de un engranaje
<b>d</b>	Diámetro
<b>e</b>	Espesor
<b>E</b>	Energía
<b>F</b>	Fuerza
<b>g</b>	Gravedad
<b>h</b>	Altura
<b>I</b>	Momento de Inercia
<b>Kt</b>	Resistencia a la rotura por tracción
<b><math>\sigma_f</math></b>	Tensión de Fluencia
<b>V</b>	Velocidad
<b><math>\gamma</math></b>	Peso Específico
<b><math>\rho</math></b>	Densidad
<b><math>\varnothing</math></b>	Diámetro
<b>P</b>	Presión
<b>Q</b>	Caudal
<b>L</b>	Longitud
<b>m</b>	Masa
<b>Mf</b>	Momento flector
<b>Mt</b>	Momento torsor
<b>n</b>	Número de revoluciones
<b>N</b>	Potencia
<b>q</b>	Carga
<b>R</b>	Reacción

<b>t</b>	Tiempo
<b>V</b>	Fuerza Cortante
<b>W</b>	Peso
<b>W<sub>x</sub></b>	Módulo resistente
<b>x</b>	Espacio
<b>Z</b>	Número de dientes de un engranaje
<b>η</b>	Rendimiento
<b>σ<sub>máx</sub></b>	Tensión máxima
<b>σ<sub>adm</sub></b>	Tensión admisible