



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

ÁREA DE ENERGÍA, INDUSTRIAS Y RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES

INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

TEMA:

*“ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE LOS PROCESOS DE CORTE DE PLANCHAS DE ACERO EN EL SECTOR INDUSTRIAL DE LA CIUDAD DE LOJA. CASO PRÁCTICO, PROCESO DE CORTE CON PLASMA”*

TESIS DE GRADO PREVIA LA OBTENCIÓN DEL  
TÍTULO DE INGENIERO EN ELECTROMECAÁNICA

AUTORES: Luis Aguirre

Johnny Arboleda

Juan Carlos Noriega

DIRECTOR: Ing. Gonzalo Riofrío Cruz

LOJA – ECUADOR

2007

## **CERTIFICACIÓN**

Ing. Gonzalo Riofrío Cruz.

**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 **“ANÁLISIS Y EVALUACION DE LOS PROCESOS DE CORTE DE PLANCHAS DE ACERO EN EL SECTOR INDUSTRIAL DE LA CIUDAD DE LOJA, CASO PRÁCTICO PROCESO DE CORTE CON PLASMA”**, previa a la obtención del título de **INGENIERO ELECTROMECHANICO**, realizado por los **Egresados: Luis Aguirre, Juan Carlos Noriega y Johnny Arboleda**, la misma que cumple con la reglamentación y políticas de investigación, por lo que autorizo su presentación.

Loja, Diciembre del 2007

Ing. Gonzalo Riofrío Cruz  
**DIRECTOR DE TESIS**

## **DECLARACION DE AUTORIA**

Luis Aguirre, Juan Carlos Noriega y Johnny Arboleda, autores de este trabajo de tesis de grado autorizamos al Área de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales no Renovables de la Universidad Nacional de Loja a hacer uso del mismo, con la finalidad que estime conveniente.

Los autores

## **PENSAMIENTOS**

“Si a los treinta años no fuiste nada, no maldigas el día en que naciste, maldice el tiempo que perdiste”

*J.C. Mariátegui*

“Los hombres que luchan un día, son buenos; los que luchan un año son mejores; pero aquellos que luchan toda una vida, esos son los imprescindibles”

*Bertold Brencht.*

“El hombre que hace algo puede equivocarse; pero aquel que no hace nada ya está equivocado”

*E. Róterdam.*

“El que aprende y aprende y no practica lo que aprende, es como el que ara y ara y nunca siembra”.

*Platón*

## **AGRADECIMIENTO**

Dejamos constancia de nuestro profundo agradecimiento a la Universidad Nacional de Loja, Área de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales no Renovables, en la carrera de Ingeniería Electromecánica, a sus catedráticos, quienes nos han impartido sus valiosos conocimientos, durante nuestra vida estudiantil, a los coordinadores del ***PROGRAMA CARRERA DE PROFESIONALIZACIÓN PARA TECNÓLOGOS***, quienes hicieron posible la culminación de nuestros estudios superiores. De manera especial al Ing. Gonzalo Riofrío, en calidad de Director de Tesis, quien con sus conocimientos muy acertados se ha constituido en el pilar fundamental durante el desarrollo de nuestro trabajo de investigación.

En fin a todos cuantos de una u otra manera han colaborado con sus sugerencias e ideas para la culminación de nuestro trabajo.

***Los autores***

## **DEDICATORIA**

Dedico el esfuerzo del presente trabajo investigativo a mis queridos padres, quienes con abnegación, desprendimiento y sacrificio han hecho posible alcanzar mis anhelos y metas planteadas. A mis hermanos y amigos por su desmedido apoyo y comprensión durante mis años de estudio.

*Luis Antonio*

El presente trabajo de investigación lo dedico a mis padres y hermanos que me han servido de soporte durante mi carrera y de manera especial a mi esposa que con su cariño y comprensión me ha estado brindando su apoyo.

*Johnny Arboleda*

Este trabajo de investigación lo dedico con mucho cariño a mis padres que siempre me brindaron su apoyo durante toda mi vida estudiantil y han sido mi pilar fundamental para la culminación de mi carrera, también agradezco a mi esposa que siempre me ha brindado su apoyo.

*Juan Carlos Noriega*

## **RESUMEN**

El presente trabajo de investigación muestra un análisis y evaluación de los procesos de corte de planchas de acero en el sector industrial de la ciudad de Loja, haciendo un estudio de cada una de las tecnologías que a nivel mundial se utilizan; con énfasis especial en el proceso de corte por plasma, tecnología recomendada para ser implementada en el currículo de la carrera durante la formación del Ingeniero Electromecánico.

## **SUMMARY**

The present investigation work shows an analysis and evaluation of the processes of court of steel irons in the industrial sector of the city of Loja, making a study of each one of the technologies that are used at world level, with special emphasis in the court process for plasm, recommended technology to be implemented in the curriculum of the career during the Electromechanical Engineer's formation.



# INDICE

CARÁTULA.....	I
CERTIFICACIÓN.....	II
DECLARACION DE AUTORÍA.....	III
PENSAMIENTOS.....	IV
AGRADECIMIENTO.....	V
DEDICATORIA.....	VI
RESUMEN.....	VII
SUMMARY.....	VIII
INDICE.....	IX

## **1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN** ..... 13

1.1 Introducción .....	13
1.2 Situación problemática .....	13
1.2.1 Objetivo general .....	13
1.2.2 Objetivos específicos.....	14
1.2.3 Hipótesis general .....	14
1.2.4 Hipótesis específica .....	14

## **2 METODOLOGIA**

2.1 Procedimiento.....	16
2.2 MÉTODOS Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN.....	16
2.2.1 Método Inductivo .....	17
2.2.2 Método Experimental.....	17
2.2.3 Método estadístico.....	17
2.2.4 Técnica de la entrevista .....	17
2.2.5 Técnica de la Encuesta .....	18
2.2.6 Técnica de la observación .....	18
2.3 TAMAÑO DE LA MUESTRA.....	18
2.4 Aplicación de instrumentos y recopilación de la información.....	19
2.5 Procesamiento de la información .....	20

## **3 FUNDAMENTOS TEÓRICOS**

3.1 EVOLUCIÓN DE LOS PROCESOS DE CORTE Y DEFORMACIÓN DE CHAPA .....	21
3.1.1 Introduccion .....	21
3.1.2 TECNOLOGÍAS PARA EL CORTE DE CHAPA .....	21
<b>3.1.2.1 CORTE DE CHAPA POR PROCESOS TÉRMICOS</b> .....	<b>22</b>
3.1.2.1.1 Oxicorte .....	22
3.1.2.1.1.1 Procedimientos básicos propios de la utilización del equipo de corte .....	24
3.1.2.1.1.1.1 Selección de la boquilla.....	24
3.1.2.1.1.1.2 Presión en el regulador .....	24

3.1.2.1.1.1.3 Ajuste de las flamas para el calentamiento previo .....	25
3.1.2.1.1.1.4 Velocidad de desplazamiento.....	25
3.1.2.1.1.2 Características de los elementos de la soldadura oxiacetilénica .....	25
3.1.2.1.1.2.1 Mano reductores .....	25
3.1.2.1.1.2.2 Soplete .....	26
3.1.2.1.1.2.3 Válvulas antirretroceso.....	26
3.1.2.1.1.2.4 Conducciones .....	26
3.1.2.1.1.3 Riesgos y factores de riesgo .....	27
3.1.2.1.1.3.1 Botellas.....	27
3.1.2.1.1.3.2 Mangueras .....	27
3.1.2.1.1.3.3 Soplete .....	28
3.1.2.1.1.4 Ventajas del proceso de oxicorte.....	28
3.1.2.1.1.5 Desventajas.....	29
3.1.2.1.2 Corte por láser .....	29
3.1.2.1.2.1 Clasificación de los dispositivos para el corte de chapa por láser .....	31
3.1.2.1.2.2 Características generales del procesado láser.....	33
3.1.2.1.2.2.1 Posibilidad de actuar sobre zonas de tamaño reducido .....	33
3.1.2.1.2.2.2 Accesibilidad .....	33
3.1.2.1.2.2.3 No contacto mecánico con la pieza .....	33
3.1.2.1.2.2.4 Sistemas sofisticados.....	34
3.1.2.1.2.3 Aplicación industrial del corte por láser .....	34
3.1.2.1.2.4 Ventajas del corte por láser .....	34
3.1.2.1.2.5 Desventajas.....	35
3.1.2.1.3 EL PLASMA.....	35
3.1.2.1.3.1 Introducción .....	35
3.1.2.1.3.1.1 La ionización de los Gases .....	36
3.1.2.1.3.1.2 Métodos de producción del plasma .....	36
3.1.2.1.3.1.3 Tecnología de materiales con plasma.....	37
3.1.2.1.3.2 Corte por plasma .....	38
3.1.2.1.3.2.1 Clasificación de las tecnologías de corte por plasma.....	39
3.1.2.1.3.2.1.1 Por aplicación.....	39
3.1.2.1.3.2.1.1.1 Plasma estándar .....	39
3.1.2.1.3.2.1.1.2 Plasma dual .....	40
3.1.2.1.3.2.1.2 Por tecnología o tipo de proceso .....	40
3.1.2.1.3.2.1.2.1 Plasma por aire .....	40
3.1.2.1.3.2.1.2.2 Plasma por oxígeno .....	40
3.1.2.1.3.2.1.2.3 Plasma por nitrógeno.....	41
3.1.2.1.3.2.2 Aspectos valorables en la inversión .....	41
3.1.2.1.3.2.2.1 Materiales a cortar .....	41
3.1.2.1.3.2.2.2 Productividad .....	42
3.1.2.1.3.2.2.3 Coste de la inversión .....	42
3.1.2.1.3.2.2.4 La automatización del proceso .....	42
3.1.2.1.3.2.2.5 Higiene y medio ambiente.....	43
3.1.2.1.3.2.2.6 Velocidad .....	43
3.1.2.1.3.2.2.7 Control numérico.....	43
3.1.2.1.3.2.3 Limitación .....	44
3.1.2.1.3.2.4 Ventajas del corte por plasma.....	44
<b>3.1.2.2 CORTE DE CHAPA POR PROCESOS DE EROSION.....</b>	<b>44</b>
3.1.2.2.1 Introducción.....	44

3.1.2.2.2 Corte por chorro de agua + abrasivo .....	45
3.1.2.2.2.1 El método utilizado .....	46
3.1.2.2.2.2 Sistemas generadores de presión.....	47
3.1.2.2.2.3 Introducción del abrasivo .....	48
3.1.2.2.2.3.1 Abrasivos empleados.....	48
3.1.2.2.2.4 La formación del haz de agua en el cabezal de corte .....	49
3.1.2.2.2.5 Corte de distintos materiales .....	49
3.1.2.2.2.6 Ventajas del proceso de corte por chorro de agua y abrasivos.....	50
3.1.2.2.2.7 Desventajas .....	50
<b>3.1.2.3 CORTE DE CHAPA POR PROCESOS MECANICOS .....</b>	<b>51</b>
3.1.2.3.1 Corte por punzonado .....	51
3.1.2.3.1.1 Análisis del proceso de punzonado .....	51
3.1.2.3.1.1.1 Deformación.....	52
3.1.2.3.1.1.2 Penetración.....	52
3.1.2.3.1.1.3 Fractura.....	52
3.1.2.3.1.2 Afilados del punzón .....	53
3.1.2.3.1.3 Desgaste de la herramienta.....	54
3.1.2.3.1.4 Ventajas del corte por punzonado .....	55
3.1.2.3.1.5 Desventajas .....	55
3.1.2.3.2 Corte por cizallado .....	55
3.1.2.3.2.1 Características generales .....	56
3.1.2.3.2.2 Composición de la cizalla de guillotina mecánica .....	56
3.1.2.3.2.3 Método de trabajo.....	57
3.1.2.3.2.4 Sistemas de protección.....	58
3.1.2.3.3 Aserrado de metales .....	59
3.1.2.3.3.1 Aserrado manual .....	59
3.1.2.3.3.2 Máquina alternativa para serrar .....	60
3.1.2.3.3.2.1 Hojas de sierra .....	60
3.1.2.3.3.3 Sierras circulares metálicas .....	61
3.1.2.3.3.4 Discos de fricción de acero .....	62
3.1.2.3.3.5 Discos abrasivos .....	62
3.1.2.3.3.6 Maquinas sierra banda.....	63
3.1.2.3.3.6.1 Hojas para sierra banda .....	63

#### **4 INVESTIGACION DE CAMPO**

4.1 Aplicación de la entrevista y encuestas .....	64
4.1.1 Cuestionario .....	64
4.1.2 Formato de encuesta .....	65
4.2 Análisis e interpretación de datos.....	66
4.3 Evaluación económica del corte por plasma respecto del oxicorte y corte manual .....	2177
4.3.1 Corte por plasma respecto al corte manual .....	77
4.3.2 Corte por plasma respecto al oxicorte .....	78
4.3.3 Comparación de los costos de corte .....	79
4.4 Verificación de objetivos .....	79
4.5 Contrastación de hipótesis.....	80

## **5 PROPUESTA ALTERNATIVA**

5.1 Implementación de la cortadora de plasma .....	82
5.1.1 Cortadora de plasma .....	82
5.1.2 Utilidad de la cortadora de plasma .....	83
5.1.3 Plasma un corte superior al oxicorte .....	83
5.2 Guías para el desarrollo de prácticas .....	83
5.3 Currículo de la carrera .....	98
5.3.1 Duración de las prácticas .....	98
5.3.2 Objetivos .....	98
5.3.3 Contenido .....	99
5.3.4 Actividades prácticas y de investigación .....	99
5.3.5 Bibliografía .....	99
5.4 Validez, confiabilidad y seguridad del equipo .....	100
5.5 Evaluación técnica económica y medio ambiental .....	100
<b><u>6. CONCLUSIONES</u></b> .....	101
<b><u>7. RECOMENDACIONES</u></b> .....	102
<b><u>8 BIBLIOGRAFÍA</u></b> .....	103
<b>ANEXOS</b> .....	105

# **CAPÍTULO I**

## **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACION**

## **1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACION**

### **1.1 Introducción**

En el mundo desde hace mucho tiempo atrás se vienen dando adelantos tecnológicos aplicables para el sector industrial, y en nuestro país se ha podido evidenciar que en las principales ciudades como Quito, Guayaquil, Cuenca y Ambato ya están haciendo uso de dichos adelantos como son por ejemplo innovaciones en el campo de soldaduras (TIG),(MIG) , recubrimientos superficiales como son las pinturas Electrostáticas Termo convertibles, maquinas herramientas asistidas por control numérico, corte de planchas de acero utilizando procesos de corte por chorro de agua y abrasivos, corte por láser, corte con plasma. Lo que ha dado como consecuencia un gran adelanto en el sector industrial de esas ciudades y por ende un mejor estilo de vida, debido a la alta competitividad.

Es por eso que ciudades como la nuestra no pueden ser competitivas, y se ven relegados en lo que al campo industrial se refiere. Como caso específico podemos citar el corte de planchas de acero utilizando métodos obsoletos como el oxicorte.

Atendiendo a lo anteriormente expuesto, se enuncia la siguiente situación problemática: Bajo rendimiento en productividad, competitividad y calidad en los procesos de corte de planchas de acero en el sector industrial de la ciudad de Loja.

### **1.2 Situación problemática**

“Los inadecuados procesos de corte de planchas de acero en el sector industrial de la ciudad de Loja inciden en la poca calidad, productividad y competitividad”

#### **1.2.1 Objetivo General**

- Analizar y evaluar los procesos de corte de planchas de acero que se utilizan en el sector industrial de la ciudad de Loja.

### **1.2.2 Objetivos específicos**

- Recopilar información sobre los procesos de corte de planchas de acero y su utilización en el sector industrial de la ciudad de Loja.
- Evaluar los procesos de corte de planchas de acero en el sector industrial de la ciudad de Loja.
- Elaborar guías didácticas para el desarrollo de prácticas de corte con plasma para taller mecánico del AEIRNNR, en la carrera de Ing. Electromecánica.
- Socializar el proyecto del proceso de corte de planchas de acero con plasma en el AEIRNNR de la Universidad Nacional de Loja.

### **1.2.3 Hipótesis general**

- Aplicando debidamente los procesos de corte de planchas de acero en el sector industrial de Loja se logrará mejorar la calidad y productividad con ahorro de tiempo y dinero.

### **1.2.4 Hipótesis específica**

- Con una adecuada recopilación de la información sobre nuevas tecnologías y procesos de corte se obtendrá un mejor aprovechamiento en su utilización en el sector industrial.
- Con la adquisición de nuevas tecnologías en procesos de corte de planchas de acero en el sector industrial de la ciudad de Loja favorece el desarrollo productivo del mismo.

- Con la utilización del sistema de corte de planchas de acero con plasma se obtiene mayor productividad y calidad que con los procesos tradicionales.
- La elaboración de las guías permitirá un mejor desarrollo de las prácticas del proceso de corte de planchas de acero con plasma.



**CAPITULO II**  
**METODOLOGIA**

## **2 METODOLOGIA**

### **2.1 Procedimiento**

La presente investigación se la realizo en la ciudad de Loja, específicamente en los talleres de construcción metalmecánica que por lo general utilizan varios procesos de corte para la ejecución de sus trabajos.

Una de las tareas mas importantes fue la de recoger toda la información posible acerca de las nuevas tecnologías para corte de planchas de acero, para lo cual visitamos bibliotecas de la UNL, y como herramienta primordial muy utilizada el Internet; cabe destacar que para realizar la evaluación de los diferentes procesos de corte que se utilizan en el sector industrial de la ciudad de Loja, utilizamos técnicas de investigación como: la observación, la entrevista y la encuesta. Además tuvimos que realizar las respectivas prácticas, para lo cual compramos el equipo de corte por plasma que de igual forma queda implementado en el taller mecánico del AEIRNNR.

Acudimos al SECAP en búsqueda de información sobre los procesos de corte para planchas de acero que se están utilizando en la ciudad de Loja, para lo cual utilizamos la técnica de la entrevista dirigida al jefe del taller de mecánica industrial, información que nos sirvió de mucho para armar las encuestas y así poder hacer la verificación de las hipótesis planteadas.

Para la investigación de campo realizamos un listado de los talleres de construcciones metalmecánicas de la ciudad de Loja, para conformar una población determinada a ser investigada; de la cual fue extraída la muestra a la cual aplicamos la técnica de la encuesta.

### **2.2 MÉTODOS Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN**

Para desarrollar el presente trabajo de investigación nos apoyamos en los siguientes métodos y técnicas de investigación.

### **2.2.1 Método Inductivo**

Método de investigación científica que permite llegar al objetivo de la investigación partiendo de premisas particulares hasta concretar una en general.

En nuestra investigación lo utilizamos en las entrevistas a los propietarios de un determinado número de talleres de la ciudad de Loja; para determinar de manera inductiva cuan grande es el desconocimiento de los adelantos tecnológicos a nivel local en lo que a procesos de corte planchas de acero se refiere.

### **2.2.2 Método Experimental**

Es el método de la investigación científica que se basa como su nombre lo indica en la experimentación.

Con la ayuda de este método realizamos las prácticas de corte correspondientes con diferentes metales y espesores, mismas que nos ayudaron a la redacción de las guías a ser implementadas en el currículo de la carrera para la realización de prácticas.

### **2.2.3 Método estadístico**

Este método nos ayudó para el análisis de los datos de las encuestas aplicadas a los diferentes propietarios de talleres, a través de la utilización de gráficas, tablas y cuadros.

### **2.2.4 Técnica de la entrevista**

Con la ayuda de esta técnica acudimos al Centro de Capacitación Profesional SECAP, para entrevistar al jefe del taller de mecánica industrial, con la finalidad de obtener la mayor cantidad de información posible, sobre los procesos de corte para planchas de acero que se están utilizando en el sector industrial de la ciudad de Loja.

### 2.2.5 Técnica de la Encuesta

Con la ayuda de esta técnica se posibilitó la recolección de datos de diferentes propietarios de talleres de la ciudad de Loja que utilizan para sus construcciones procesos de corte para planchas de acero.

### 2.2.6 Técnica de la observación

Mediante el uso de esta técnica nos pudimos dar cuenta como se están realizando los trabajos en los talleres de metalmecánica, ya que acudimos a un determinado número de ellos para observar cuales son los procesos de corte para planchas de acero que utilizan.

## 2.3 Tamaño de la muestra

Considerando la investigación que se realiza en su extensión y profundidad, se exponen un conjunto de expresiones matemáticas que facilitan a los estudiantes discernir las posibilidades de búsqueda de resultados, en el análisis y verificación de hipótesis, enmarcadas en los diferentes campos de acción. Así tenemos que la expresión matemática mas utilizada para el cálculo de tamaño de la muestra por investigadores en las diferentes áreas del conocimiento es la siguiente:

$$n = \frac{N pq}{(N - 1) \frac{E^2}{K^2} + pq}$$

Donde:

**n:** Es el tamaño de la muestra, muestras que se requiere.

**N:** Es la población o el universo del cual se van a extraer las muestras.

**Pq:** Es la varianza de la población con respecto a las principales características que se van a representar, equivale a 0.25 y es un valor constante.

**E:** Error estadístico o error máximo admisible para las inferencias y estimaciones. Es un valor que varía entre 0.02 y 0.9.

**K:** Nivel de significancia con el cual se va a realizar el tratamiento de las estimaciones o constante de la corrección del error estadístico. Valor constante que equivale a 2.

**(N-1):** Es una corrección paramétrica para muestras grandes mayores de 30.

Para nuestra investigación tenemos una población de 29 talleres de los cuales vamos a extraer la muestra aplicando la fórmula antes expuesta y tomando como parámetros los anotados como constantes, acotando que como **E** tomamos el valor de 0.9, puesto que el valor de **(N-1)** no lo tomaremos en cuenta debido a que la muestra será menor de 30.

Así que desarrollando tenemos:

$$n = \frac{29(0.25)}{\frac{(0.9)^2}{(2)^2} + 0.25}$$

$$n = \frac{7.25}{\frac{0.81}{4} + 0.25}$$

$$n = \frac{7.25}{0.4525}$$

$$n = 16.02$$

**El tamaño de la muestra es de 16 talleres.**

Se realizó la encuesta a 16 propietarios de talleres de metalmecánica del sector industrial de la ciudad de Loja.

#### **2.4 Aplicación de instrumentos y recopilación de información**

En el presente trabajo de investigación se obtuvo datos cualitativos como resultado de la entrevista realizada en el SECAP; datos cuantitativos mediante el uso de las encuestas aplicadas a los propietarios de talleres metalmecánicos de la ciudad de Loja. Así mismo obtuvimos toda la información posible de las bibliotecas e Internet, como también de catálogos de máquinas de corte para planchas de acero.

## **2.5 Procesamiento de la información**

Toda la información teórica obtenida de consultas en bibliotecas e Internet así como de manuales y catálogos nos sirvió para armar el marco teórico de nuestra investigación.

La información obtenida mediante la aplicación de la entrevista realizada en el SECAP, en la cual se abordaron temas sobre los procesos de corte de planchas de acero que se utilizan actualmente en la ciudad de Loja, nos dio la pauta para poder construir la encuesta que posteriormente fue aplicada en los talleres de metal mecánica de la ciudad de Loja.

Los resultados de las encuestas aplicadas a los propietarios de los diferentes talleres de metalmecánica, luego de ser tabuladas se realizaron sus respectivos análisis; mismos nos sirvieron para verificar nuestras hipótesis y formular las conclusiones de nuestro trabajo de investigación.

**CAPITULO III**  
**FUNDAMENTOS**  
**TEÓRICOS**

### **3 FUNDAMENTOS TEÓRICOS**

#### **3.1 EVOLUCIÓN DE LOS PROCESOS DE CORTE Y DEFORMACIÓN DE CHAPA**

##### **3.1.1 Introducción**

En la historia de la metalurgia el trabajo de la chapa ocupa sin duda un lugar de relieve. Desde la prehistoria, el hombre se ha esforzado en desarrollar herramientas, utensilios y máquinas cada vez más sofisticados para dar forma a los metales. El trabajo en frío y en caliente de la chapa ha sido realizado durante siglos por los herreros y hojalateros de forma enteramente manual. Herramientas como la tajadera, el tranchete de yunque, los cortafríos o los punzones fueron la única ayuda de los artesanos del metal para el corte y deformación de chapa, aunque con el tiempo fueron incorporándose utillajes más evolucionados, como la cizalla de palanca o la prensa de balancín a finales de la edad media.

El gran avance de la calderería no se produce hasta las últimas décadas del siglo XVIII cuando la irrupción de la máquina de vapor revoluciona la industria en general y muy especialmente la construcción naval y el transporte terrestre. Los barcos de vapor con casco metálico o el desarrollo del ferrocarril, entre otros grandes avances, imponen la necesidad de construir grandes estructuras metálicas para edificios, puentes o calderas.

Todo ello impulsa una verdadera revolución tecnológica en todos los procesos relacionados con el trabajo de la chapa: corte, punzonado, curvado, rebordeado, plegado, remachado, etc. Los llamados procesos no convencionales para corte de chapa (beam cutting process): corte por chorro de agua, oxicorte, arco de plasma o láser, son tecnologías desarrolladas enteramente durante el siglo XX.

##### **3.1.2 TECNOLOGÍAS PARA EL CORTE DE CHAPA**

Los distintos procesos de corte de chapa pueden ser clasificados en tres grupos:

- Procesos térmicos (Oxicorte, láser, Plasma)
- Procesos de erosión (Corte con chorro de agua)



- Procesos mecánicos(Punzonado, Cizallado, Aserrado)

### 3.1.2.1 CORTE DE CHAPA POR PROCESOS TÉRMICOS

#### 3.1.2.1.1 Oxicorte

Es un proceso de combustión en el que lógicamente se necesitan tres agentes: un combustible, que en el corte de acero va ser el hierro, un comburente que puede ser el oxígeno y un iniciador de esa combustión que va ser la llama. Por supuesto, el hierro en presencia del aire, donde hay oxígeno, no va a entrar en combustión y necesitamos reunir una serie de condiciones que nos permitan alcanzar una temperatura elevada en el orden de 800°C. La llama calentará el material hasta alcanzar esta temperatura y lo lograremos mediante la mezcla de oxígeno con un gas combustible. Esta llama hará el proceso de precalentamiento hasta llegar al proceso de oxidación final. Fig. 1



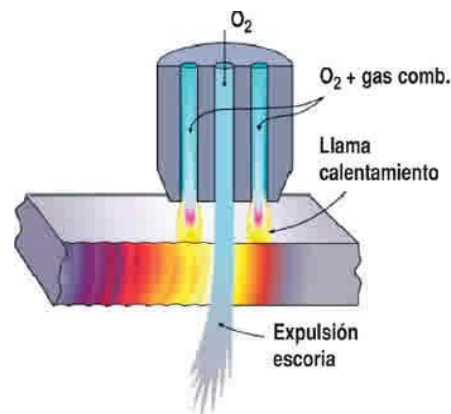
Fig. 1.- Fases del proceso de oxicorte

Cuando esa llama calienta el material de forma adecuada hasta producir el proceso de combustión, se inyecta un chorro de oxígeno en la boquilla, de tal manera que este oxígeno acelera el proceso. Esta combustión oxida el material y gracias a la temperatura utilizada, los óxidos se funden y luego son expulsados por la parte inferior aprovechando el chorro de oxígeno (Fig. 2). Es decir, que lo que se funde son los óxidos que se originan del material y no el material en sí.

Para que un material pueda ser tratado con oxicorte la temperatura de fusión del óxido debe ser menor a la temperatura de fusión del metal. Esto ocurre con el hierro ya que su temperatura de fusión es inferior a la del propio acero, de modo que se puede cortar simplemente fundiendo el óxido sin fundir el metal.

Esta característica no es muy común en todos los materiales, de hecho, en la mayoría de los metales ocurre lo contrario ya que tienen un punto de fusión inferior al del óxido con lo cual estos se funden antes.

Por ejemplo, los materiales que no se pueden cortar fácilmente mediante oxicorte son aquellos que tienen elementos aleantes como el aluminio, el cromo, o el magnesio, o que tengan un contenido muy elevado de carbón.



**Fig. 2.- Principio de funcionamiento del proceso térmico de oxicorte (proceso de combustión)**

En cuanto a los gases que se utilizan en el proceso, se debe tener en cuenta que la pureza del chorro de oxígeno debe ser elevada ya que de lo contrario no se consigue la combustión; este debe ser superior al 99,5%, si se reduce este porcentaje puede disminuir la velocidad de corte de manera importante. Ya que se necesita un oxígeno de alta pureza.

En relación al gas combustible que utilizamos para originar la llama que calienta el material, tenemos el acetileno, el propano o el MAPP (abreviación de metal, acetileno y propileno).

Cada una de las empresas dedicadas a producir todos estos gases ha ido creando nuevas mezclas y nuevas composiciones de gases buscando que su temperatura y capacidad calorífica sean superiores.

El acetileno alcanza una mayor capacidad calorífica y una mayor temperatura frente al resto de gases. Su calentamiento ocurre en el centro de la llama, con lo cual está en la

zona que precisamente queremos cortar, por lo tanto puede ser el más apropiado para este proceso de corte.

Existen otros gases como el propano que tienen una temperatura un poco inferior y por lo tanto con un descenso bastante importante de la capacidad calorífica. El MAPP, es un caso intermedio entre el acetileno y el propano con temperatura y poder calorífico intermedios.

Otros gases como el gas natural, tienen una temperatura muy elevada pero tienen un poder calorífico muy bajo y aunque puede que no sirva para la parte inicial del proceso, podría funcionar una vez que éste ya ha empezado y se está realizando el corte, aún teniendo un poder calorífico reducido.

### **3.1.2.1.1.1 Procedimientos básicos propios de la utilización del equipo de corte**

#### **3.1.2.1.1.1.1 Selección de la boquilla**

Una boquilla para cortar tiene seis agujeros distribuidos alrededor de un orificio central. Los seis agujeros se utilizan para las flamas de calentamiento preliminar. Fig. 2 Antes de que sea posible cortar acero con un chorro de oxígeno es necesario calentar el acero hasta unos  $820^{\circ}\text{C}$ . El acero se quema rápidamente en una atmósfera de oxígeno puro cuando se encuentra a esta temperatura. Por el agujero central de la boquilla de corte sale el oxígeno puro para efectuar la operación de corte.

#### **3.1.2.1.1.1.2 Presión en el regulador**

Los ajustes de la presión que se hagan en los reguladores de gas combustible y de oxígeno, dependen de la boquilla del soplete y del espesor del metal. El gas combustible utilizado para la mayoría de las necesidades de corte se encuentra a presiones entre  $0.2109$  y  $0.3515$  Kg./cm<sup>2</sup> (3 a 5 libras por pulgada cuadrada). Esta presión no es crítica. La presión 5 libras por pulgada cuadrada sirve para todas las operaciones de corte. La única desventaja es el mayor consumo de gas combustible. La presión en el regulador de oxígeno varía desde  $1.406$  hasta  $4.218$  Kg./cm<sup>2</sup> (20 hasta 60 libras por pulgada cuadrada).

Los metales de 6.4 mm (1/4 ") de espesor se cortan con puntas provistas de agujeros para el calentamiento previo de tamaño de broca igual al No. 60.

#### **3.1.2.1.1.3 Ajuste de las flamas para el calentamiento previo**

La finalidad de las flamas para el calentamiento previo, es calentar el metal rápidamente a fin de prepararlo para la operación de corte. El acero al carbono, calentado al rojo cerezo se quema instantáneamente, para convertirse en vapor, con el corte o entalladura no mas ancho que el chorro de oxigeno. Las flamas para el calentamiento preliminar deben ser un poco oxidantes (con una cantidad adicional de oxigeno) para que calienten mas eficazmente. La longitud del cono interior de las flamas para precalentamiento debe variar de acuerdo con el espesor del metal que va a cortarse.

#### **3.1.2.1.1.4 Velocidad de desplazamiento**

El operario que maneje el soplete de corte observa la acción del metal adelante del sitio de corte para seleccionar la velocidad adecuada de desplazamiento. Una velocidad de desplazamiento representativa para acero estructural de 6.4 mm es de 50.8 a 76.20 cm/min. Una baja velocidad de desplazamiento da por resultado que el metal fundido del borde superior forme una junta soldada en el fondo del corte. Las velocidades superiores pueden ocasionar una disminución de la temperatura de precalentamiento, con lo que se detiene la acción de corte. Sin embargo hay que tener presente que a velocidades de desplazamiento superiores se obtienen corte de mejor calidad.

#### **3.1.2.1.1.2 Características de los elementos de la soldadura oxiacetilénica**

Además de las dos botellas móviles que contienen el combustible y el comburente, los elementos principales que intervienen en el proceso de soldadura oxiacetilénica son las manos reductoras, el soplete, las válvulas antirretroceso y las mangueras. Fig. 3

##### **3.1.2.1.1.2.1 Mano reductores**

Los mano reductores pueden ser de uno o dos grados de reducción en función del tipo de palanca o membrana. La función que desarrollan es la transformación de la presión

de la botella de gas (150 atm) a la presión de trabajo (de 0,1 a 10 atm) de una forma constante. Están situados entre las botellas y los sopletes.

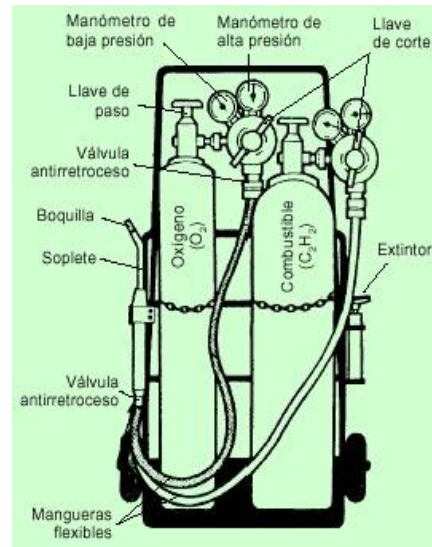


Fig. 3: Elementos principales de una instalación móvil de soldadura por gas

#### 3.1.2.1.1.2.2 Soplete

Es el elemento de la instalación que efectúa la mezcla de gases. Pueden ser de alta presión en el que la presión de ambos gases es la misma, o de baja presión en el que el oxígeno (comburente) tiene una presión mayor que el acetileno (combustible). Las partes principales del soplete son las dos conexiones con las mangueras, dos llaves de regulación, el inyector, la cámara de mezcla y la boquilla.

#### 3.1.2.1.1.2.3 Válvulas antirretroceso

Son dispositivos de seguridad instalados en las conducciones y que sólo permiten el paso de gas en un sentido impidiendo, por tanto, que la llama pueda retroceder. Están formadas por una envolvente, un cuerpo metálico, una válvula de retención y una válvula de seguridad contra sobre presiones. Puede haber más de una por conducción en función de su longitud y geometría.

#### 3.1.2.1.1.2.4 Conducciones

Las conducciones sirven para conducir los gases desde las botellas hasta el soplete. Pueden ser rígidas o flexibles.

### **3.1.2.1.1.3 Riesgos y factores de riesgo**

Los riesgos más frecuentes que se derivan de este tipo de operaciones son muy similares a los de la soldadura eléctrica al arco, con algunas diferencias, es decir:

- Contacto térmico
- Incendio
- Inhalación de humos
- Caída de las botellas

De acuerdo con estas consideraciones, las precauciones a tener en cuenta para evitar tales riesgos son:

#### **3.1.2.1.1.3.1 Botellas**

- Las botellas de gases deben estar adecuadamente protegidas para evitar las caídas, ya sea mediante abrazaderas en la pared o fijadas a las carretillas en caso de quipos móviles.
- Comprobar la última fecha de prueba oficial, que debe estar en el período de vigencia.
- Las válvulas de acetileno sin volante deben ir provistas siempre de la correspondiente llave, para su manipulación en caso de emergencia.

#### **3.1.2.1.1.3.2 Mangueras**

- Las mangueras deben estar siempre en perfectas condiciones de uso y sólidamente fijadas a las tuercas de empalme.
- Las mangueras deben conectarse a las botellas correctamente sabiendo que las de oxígeno son verdes y las de acetileno son rojas, teniendo estas últimas un diámetro mayor que las primeras.
- Se debe evitar que las mangueras entren en contacto con superficies calientes, bordes afilados, ángulos vivos o caigan sobre ellas chispas procurando que no formen bucles.
- Las mangueras no deben atravesar vías de circulación de vehículos o personas sin estar protegidas con apoyos de paso de suficiente resistencia a la compresión.

- No se debe trabajar con las mangueras situadas sobre los hombros o entre las piernas.
- Las mangueras no deben dejarse enrolladas sobre las ojivas de las botellas.
- Después de un retorno accidental de llama, se deben desmontar las mangueras y comprobar que no han sufrido daños. En caso afirmativo se deben sustituir por unas nuevas desechando las deterioradas.

### **3.1.2.1.1.3.3 Soplete**

- El soplete debe manejarse con cuidado y en ningún caso se golpeará con él.
- En la operación de encendido deberá seguirse una secuencia de pasos para lograr la llama requerida.
- En la operación de apagado deberá cerrarse primero la válvula del acetileno y después la del oxígeno.
- No colgar nunca el soplete en las botellas, ni siquiera apagado.
- No depositar los sopletes conectados a las botellas en recipientes cerrados.
- La reparación de los sopletes la deben hacer técnicos especializados.
- Limpiar periódicamente las toberas del soplete pues la suciedad acumulada facilita el retorno de la llama. Para limpiar las toberas se puede utilizar una aguja de latón.
- Si el soplete tiene fugas se debe dejar de utilizar inmediatamente y proceder a su reparación. Hay que tener en cuenta que fugas de oxígeno en locales cerrados pueden ser muy peligrosas.

### **3.1.2.1.1.4 Ventajas del proceso de oxicorte**

Dentro de las ventajas de este proceso encontramos las siguientes:

- Baja inversión / bajo coste de operación
- Capacidad para cortar grandes espesores
- Uso de varias antorchas simultáneamente: aunque la baja velocidad de corte se ha visto como uno de los inconvenientes, también es cierto que en grandes producciones la máquina de corte puede equiparse con varias boquillas, de tal

manera que puede estar cortando simultáneamente piezas similares al mismo tiempo, así que en caso de necesitar una producción acelerada y que el número de piezas sea de series muy grandes podríamos aumentar bastante esta velocidad.

- Buena opción cuando haya operaciones secundarias, como mecanizado posterior o fresado.

#### **3.1.2.1.1.5 Desventajas**

Como inconvenientes encontramos:

- Baja velocidad de corte
- Necesita tiempo de precalentamiento
- La zona afectada térmicamente es grande
- Alabeo de la chapa
- Limitación a aceros de baja aleación
- Problemas con inoxidable y aleaciones de Aluminio
- Tolerancias más amplias que en plasma, agua o láser

#### **3.1.2.1.2 Corte por láser**

Desde que a principios del siglo XX se postuló que la transición entre estados de energía al excitar un átomo puede emitir un fotón, hasta nuestros días, ha variado en gran medida el uso que se ha dado a la energía láser.

El haz de luz coherente obtenido a la salida de un resonador óptico por excitación del medio activo es un haz láser (acrónimo de "Light Amplification by the Stimulated Emission of Radiation"), que debidamente tratado se convertirá en una fuente de energía de alto aprovechamiento. Las características propias de la energía láser posibilitan su utilización de una manera muy directa en aplicaciones industriales actuales de procesado de materiales en general y de corte de chapa en particular.



El proceso consiste en la focalización del haz láser en un punto del material que se desea cortar, para que éste funda y evapore lográndose así el corte. Fig. 4

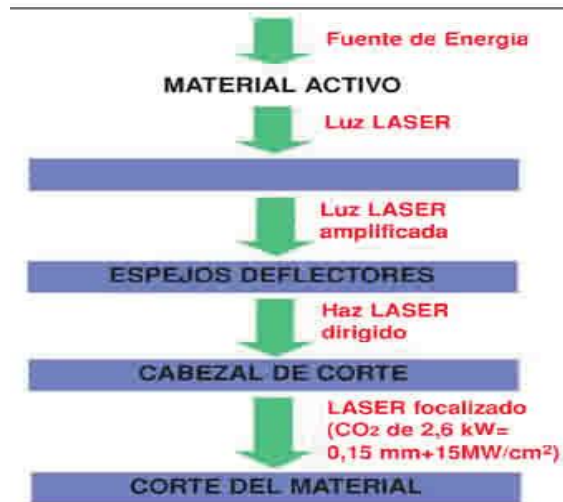


Fig. 4- Fases del proceso de corte por láser

Como pretende simbolizar la (Fig.5) el haz láser, con una determinada potencia procedente del generador y de un sistema de conducción (Fig. 5.1), llegará al cabezal (Fig. 5.2). Dentro de éste, un grupo óptico (Fig. 5.3) se encarga de focalizar el haz con un diámetro determinado, sobre un punto de interés del material a tratar. El posicionamiento del punto focal del rayo respecto de la superficie que se desea cortar es un parámetro crítico.

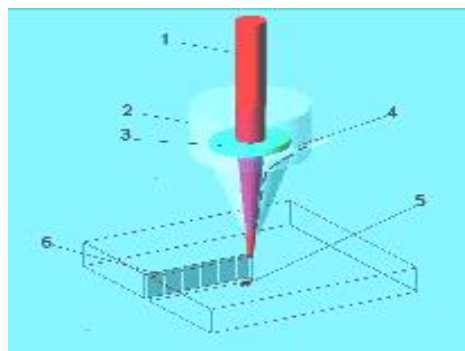


Fig. 5. Modelado representativo del proceso de corte

El proceso requiere de un gas de asistencia (Fig. 5.4), que se aplica mediante la propia boquilla del cabezal, coaxial al propio rayo láser. Este gas puede ser inerte para evitar oxidaciones o activo para catalizar el proceso. A su vez favorece la eliminación de

material fundido, vapor y plasma de la zona de corte (Fig. 5.5). Es típica la aparición de ciertas estrías o rugosidades en las superficies cortadas (Fig. 5.6). La conjunción de todos estos factores, junto con otros como la velocidad relativa entre el cabezal y la pieza, producen una densidad de energía (con valores característicos en orden de magnitud de  $\text{MW}/\text{cm}^2$ ), que origina el corte para cada tipo de material.

Aunque la aplicación mayoritaria del corte con láser se da en materiales metálicos, otro tipo de materiales como goma, vidrio, cuero, o madera son susceptibles de ser cortados con este método. En aplicaciones de corte láser de materiales metálicos debe tenerse en cuenta aspectos como calidad del material o posibles recubrimientos (aceite, óxido, pinturas, etc.) como condicionantes importantes del resultado final.

#### 3.1.2.1.2.1 Clasificación de los dispositivos para el corte de chapa por láser

Los láser más utilizados en aplicaciones de corte industriales son los de Nd: YAG (Fig.6) y los de CO<sub>2</sub> (Fig.7). Se denominan así haciendo referencia al medio activo de su generador, es decir en el primer caso el láser se genera a partir de la excitación de cristal de YAG dopado con iones de Nd, mientras que en el segundo caso se excita un gas compuesto de CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub> y He.

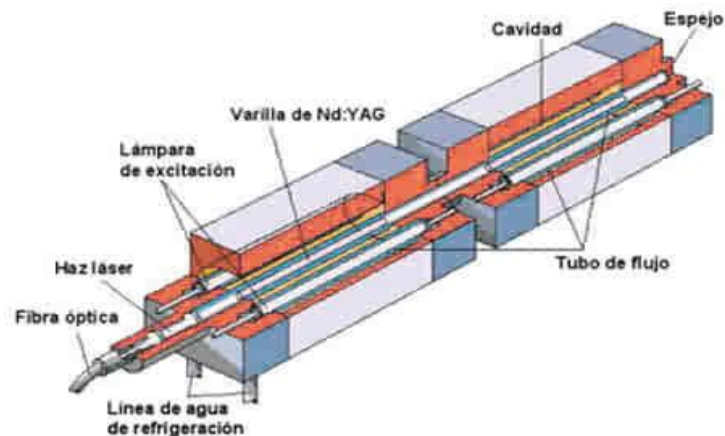


Fig. 6.- Principio de funcionamiento del corte por láser ND: YAG

Aunque existen diferencias en las características del rayo láser que se genera en uno y otro caso, de cara al diseño de los dispositivos industriales para operaciones de corte de chapa la elección de un sistema frente a otro estará principalmente influenciada por la

diferente vía de transmisión del haz. Mientras que en los sistemas de CO<sub>2</sub> el haz láser se transmite a través de espejos hasta incidir sobre la pieza que se desea cortar, los láseres de Nd: YAG permiten además que esa transmisión de haz se pueda hacer a través de fibra óptica.

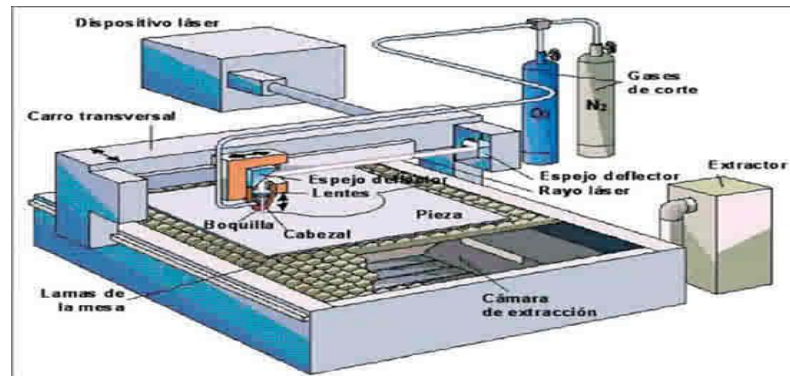


Fig. 7.- Esquema del proceso de corte por láser de CO<sub>2</sub>

La posibilidad de transmitir el haz láser a través de fibra óptica dota de gran versatilidad a la opción del láser de Nd: YAG. En aplicaciones de corte 2D o de chapa plana el cabezal láser suele estar estático y es la chapa la que se desplaza en una mesa XY. En estos casos el sistema más extendido es el de CO<sub>2</sub>. Sin embargo, en aplicaciones de corte láser tridimensional o de chapa embutida la posibilidad de transmitir el haz láser por fibra de vidrio hace de los láser de Nd: YAG una opción muy potente. Entre otras ventajas de estos sistemas está la de poder integrar un equipo láser de Nd: YAG sobre un robot antropomórfico (de 6 ejes angulares) de uso general. Esto aporta al proceso de corte todas las propiedades intrínsecas del robot como se ha descrito anteriormente. Fig.8



Fig. 8.- Robot con láser de corte transmitido por fibra óptica

Los dispositivos utilizados para corte de chapa tridimensional son los pórticos y los robots. Cualquiera de ellos se puede usar con los dos tipos de láser descritos, aunque las dos configuraciones más extendidas son las de pórtico de CO<sub>2</sub> y robot con Nd: YAG. Los pórticos son estructuras con al menos tres ejes cartesianos (que permiten posicionar el cabezal en el espacio tridimensional) y generalmente otros dos ejes angulares para poder reorientar la herramienta dentro del campo de trabajo. En proyectos europeos como ROLAN (Aplicaciones Robotizadas para la Industria del Automóvil), se integró la tecnología láser de Nd: YAG conducida por fibra óptica en un robot antropomórfico y se estudió su aplicación en operaciones de corte de chapa para carrocerías de automóvil.

#### **3.1.2.1.2.2 Características generales del proceso de corte láser**

Las que se exponen a continuación tienen un mayor protagonismo en el caso concreto del proceso industrial de corte de chapa.

##### **3.1.2.1.2.2.1 Posibilidad de actuar sobre zonas de tamaño reducido**

El diámetro del spot que incide sobre la superficie a cortar tiene un valor medio en torno a las tres décimas de milímetro. Esto acarrea la consecución de surcos de corte muy estrechos de dimensiones muy parecidas a las del propio spot o ligeramente superiores. Asimismo, las distorsiones que origina en el material son mínimas.

##### **3.1.2.1.2.2.2 Accesibilidad**

La posibilidad de transmitir el haz láser mediante fibra óptica hace que, montado un cabezal de corte en un robot antropomórfico, se pueda alcanzar cualquier orientación de corte dentro del campo de trabajo del robot.

##### **3.1.2.1.2.2.3 No contacto mecánico con la pieza**

No se produce desgaste de la herramienta por contacto ya que el grupo óptico que enfoca el haz origina que en posición de trabajo exista una separación entre la boquilla de la que sale el rayo y la pieza.

#### **3.1.2.1.2.2.4 Sistemas sofisticados**

La programación se hace de una forma cómoda y precisa. Los dispositivos pueden incluir tablas de parámetros para cortar diferentes materiales. Es posible la automatización del proceso así como la comunicación de la máquina láser con otro tipo de dispositivos como CNC, centros de procesado, elementos de control de calidad, sistemas de gestión de errores y alarmas así como dispositivos de monitorización on-line de la máquina y del proceso láser.

#### **3.1.2.1.2.3 Aplicación industrial del corte por láser**

Entre las aplicaciones industriales del láser para procesado de materiales se calcula que en torno al 60% de la actividad está dedicada al corte. Una de las industrias que mayormente absorbe esta actividad es la industria del automóvil y la industria auxiliar del automóvil.

A continuación se presentan unos ejemplos que caracterizan y justifican el uso del corte láser de chapa tridimensional en el sector del automóvil:

- Herramienta necesaria en corte de pre-series en el proceso de fabricación de troqueles cortantes.
- Alternativa de coste aceptable al uso de troqueles cortantes. Se debe considerar esta aplicación únicamente en casos de series limitadas.
- Corte rápido de paneles de carrocería para el automóvil.
- Reduce el stock en series especiales posibilitando cortar opcionalmente. por ejemplo: justo en la etapa anterior al proceso de pintado.

#### **3.1.2.1.2.4 Ventajas del corte por láser**

Entre las ventajas del proceso de corte por láser encontramos las siguientes:

- Más rápido que plasma de alta definición.
- Corta perfiles de forma compleja.
- Elevada precisión y calidad de piezas cortadas. (sobre todo en espesores pequeños y medianos)

- Zona Afectada Térmicamente muy reducida.
- Variedad de materiales a cortar.

### 3.1.2.1.2.5 Desventajas

- La gran desventaja que presenta el corte de chapa por láser frente a otros procedimientos reside principalmente en el espesor máximo que se puede cortar.
- No puede cortar materiales reflectantes (Al, Cu, etc.)
- Velocidad reducida para espesores < 3 mm
- Inversión inicial elevada (en comparación con oxicorte, plasma o agua)
- Inversión alta / Coste elevado de consumibles (boquillas, electrodos)

### 3.1.2.1.3 EL PLASMA

#### 3.1.2.1.3.1 Introducción

La definición que se enseña nos dice: "**El plasma es un conjunto cuasi neutral de partículas con portadores libres de carga eléctrica, el cual desarrolla comportamiento colectivo**". Analicemos por partes esta definición. Lo más importante es que en el plasma se encuentran portadores de carga eléctrica libres. Los átomos están al menos parcialmente ionizados. El grado de ionización no tiene que ser muy grande, si el tamaño de la formación de plasma es lo suficientemente extensa. Precisamente un plasma se diferencia de un gas por la presencia de portadores libres de carga. El plasma es conductor y reacciona fuertemente a los campos eléctricos y magnéticos. La segunda cualidad es la cuasi neutralidad; supongamos que visto microscópicamente un cierto volumen tiene en promedio siempre la misma cantidad de partículas positivas y negativas. Desde afuera el plasma se comporta como si fuera un fluido sin carga (líquido o gas). La exigencia de cuasi neutralidad toma en parte de la definición de plasma lo de ser un conjunto de partículas cargadas; o sea, un plasma es "casi" neutral, pero no lo es completamente. La última parte de la definición de plasma es su comportamiento colectivo; con esto se entiende que el plasma es capaz en su conjunto de procesos generar campos magnéticos y eléctricos, campos a los cuales a su vez puede reaccionar.

El concepto de plasma fue usado por primera vez por Irwing Langmuir (1881-1957).

#### **3.1.2.1.3.1.1 La ionización de los Gases**

Cuando una partícula de movimiento rápido, como un electrón, una partícula alfa o un fotón, colisiona con un átomo de gas, éste expulsa un electrón, dejando un ión cargado. Los iones convierten en conductor al gas. La cantidad de energía necesaria para extraer un electrón de un átomo se llama energía de ionización. La atmósfera contiene siempre iones producidos por la radiación cósmica y la luz ultravioleta.

Cuando un gas está compuesto de un número casi igual de iones positivos y negativos se denomina plasma. Ejemplos de plasma son las atmósferas de la mayoría de las estrellas, los gases en el interior de los tubos fluorescentes de los rótulos y anuncios, y los gases de la capa superior de la atmósfera terrestre. Un gas se transforma en plasma cuando la energía cinética de las partículas del gas se eleva hasta igualar la energía de ionización del gas. Cuando alcanza este nivel, las colisiones de las partículas del gas provocan una rápida ionización en cascada, y el gas se transforma en plasma.

Cuando la temperatura de un medio es superior a 30.000 °C, toda la materia existente, está en un estado de ionización, por esta razón el plasma es llamado cuarto estado de la materia; por lo tanto si un sólido es calentado suficientemente se obtiene un líquido, si se sigue aumentando la temperatura se obtiene un gas y si continuamos calentando al gas llegará a una temperatura en que los átomos se ionizarán y se formará un plasma. Otro modo de convertir un gas en plasma consiste en hacer pasar electrones de alta energía a través del gas.

#### **3.1.2.1.3.1.2 Métodos de producción de plasma**

Varios métodos se utilizan para producir un plasma gaseosa en un laboratorio; el primero es un arco de alto voltaje, como los fenómenos naturales de relámpagos en tormentas; el segundo método es por la descarga producida en un recipiente que posee un filamento termiónico, el haz electrónico es producido en un filamento caliente y los electrones que emite dicho filamento son acelerados por un campo eléctrico, estos al golpear contra las moléculas gaseosas producen el plasma.

En el laboratorio, el tiempo de vida del plasma es determinado por su contacto con una superficie material sólida, ya que al producirse enfría al plasma; un campo magnético puede prolongar el tiempo de vida del plasma manteniéndolo alejado de las paredes.

### **3.1.2.1.3.1.3 Tecnología de materiales con plasma**

Otra área de mucho interés en cuanto a plasmas, se concentra en la Ciencia de Materiales. Luego de muchos años de avances significativos en el desarrollo de nuevos materiales, existe ahora un creciente interés en la utilización de estos pero impartiendo propiedades diferentes. Para esto, se han desarrollado diversas técnicas de modificación, desde las puramente mecánicas hasta las netamente químicas; esto se debe a que las tecnologías de plasmas son limpias, pues no producen desechos tóxicos, son rápidos y además modifican solamente la superficie del material, dejando las demás propiedades intactas.

Entre las diversas técnicas para modificar materiales con plasmas utilizadas hoy en día se pueden mencionar:

- limpieza y/o aumento de rugosidad de superficies
- recubrimiento de superficies
- implantación iónica en metales
- modificación de superficies de polímeros
- esterilización de materiales
- formación de nuevos materiales (formados a partir de reacciones en el plasma)
- soldaduras y corte de metales
- Aumento de la dureza
- Aumento de la resistencia a la corrosión, al desgaste y la fatiga.
- Modificación a las propiedades ópticas, eléctricas y térmicas.

Estos procesos se utilizan comercialmente a pesar que carecen aún de una base teórica completa. Por lo tanto, es necesario desarrollar los fundamentos científicos para potencializar aun más las aplicaciones de los plasmas.



### 3.1.2.1.3.2 Corte por plasma

El fundamento del corte por plasma se basa en elevar la temperatura del material a cortar de una forma muy localizada y por encima de los 30.000 °C, llevando el material hasta el cuarto estado de la materia, estado en el que los electrones se disocian del átomo.

El procedimiento consiste en provocar un arco eléctrico estrangulado a través de la sección de la boquilla del soplete (Fig.9) sumamente pequeña, lo que concentra extraordinariamente la energía cinética del gas empleado, ionizándolo, y por polaridad adquiere la propiedad de cortar. Si se reduce mucho la sección por donde pasa la corriente se estará aumentando la resistencia, provocando un calentamiento del gas alcanzando temperaturas muy elevadas y velocidades muy altas, más o menos la velocidad del sonido.

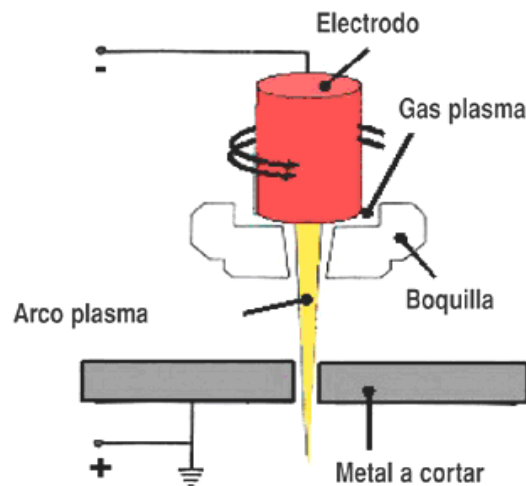


Fig. 9.- Principio de funcionamiento del corte por plasma

Este gas caliente es el que se aporta sobre la pieza y es el que consigue la fusión y la propia presión del gas, además evacua ese material fundido por la parte inferior de la chapa.

La ventaja principal de este sistema radica en su reducido riesgo de deformaciones debido a la compactación calorífica de la zona de corte. También es valorable la economía de los gases aplicables, ya que a priori es viable cualquiera, si bien es cierto que no debe de atacar al electrodo ni a la pieza.

El equipo necesario para aportar esta energía consiste en un generador de alta frecuencia alimentado de energía eléctrica, gas para generar la llama de calentamiento (argón, hidrógeno, nitrógeno o aire comprimido), y un porta electrodos, que dependiendo del gas puede ser de tungsteno, hafnio o circonio.

Una de las principales causas de las investigaciones que se realizan al respecto desde la década de los cincuenta, es la de acelerar el proceso (Fig.10) a través de temperaturas más elevadas, por lo cual se han desarrollado varios tipos de procesos dentro del corte por plasma.



Fig. 10.- Fases del proceso de corte por plasma

### 3.1.2.1.3.2.1 Clasificación de las tecnologías de corte por plasma

La aplicación fundamental del plasma en la actualidad se encuentra en el corte mecánico.

Hablando genéricamente de los tipos de plasma es posible distinguir dos grandes clasificaciones:

#### 3.1.2.1.3.2.1.1 Por aplicación

##### 3.1.2.1.3.2.1.1.1 Plasma estándar

De cara al corte mecanizado es la derivación del plasma manual que sólo cuenta con un gas: el que efectúa el corte. Esta aplicación es bastante limitada y es poco empleada, ya que solo trabaja para corte de chapas de pequeño espesor.

### **3.1.2.1.3.2.1.1.2 Plasma dual**

Es la tecnología más usada actualmente. Se utiliza un gas como plasma y un segundo gas (que puede ser el mismo) que no realiza la función de corte sino de elemento de protección. Una de las ventajas de esta tecnología es que en ciertos metales, y en particular en acero al carbono, el plasma dual puede mejorar un 10 o 15% las velocidades de corte y la calidad.

En acero inoxidable y aluminio tiene aplicaciones muy importantes respecto a la calidad de corte. La tecnología dual permite una gran combinación entre plasmas de corte y plasmas de protección, lo que ayuda muchísimo a elevar los valores de productividad y calidad.

### **3.1.2.1.3.2.1.2 Por tecnología o tipo de proceso**

En esta clasificación cada gas lleva como apellido el gas de corte que lo genera.

#### **3.1.2.1.3.2.1.2.1 Plasma por aire**

Se trata de un tipo de corte muy genérico: es por supuesto el gas más barato, pero su calidad es media-baja. Presenta una problemática importante dado que el aporte de aire es gratuito, su proceso de introducción debe ser revisado con mucho esmero, garantizando que esté muy limpio de partículas de aceite o polvo y sobre todo de humedad. En caso contrario, el gasto de consumibles aumenta muchísimo, de forma que lo que se gana en gases se pierde en el coste de los consumibles.

El aire se utiliza principalmente en acero al carbono aunque en ciertas aplicaciones puede cortar inoxidable y aluminio también, así como el plasma dual acompañado de todos los gases

#### **3.1.2.1.3.2.1.2.2 Plasma por oxígeno**

El oxígeno es el gas primordial para corte con acero al carbono siempre que se esté buscando una muy buena calidad. El oxígeno deja unas superficies muy limpias, en cuanto al corte deja pocas rebabas y las angularidades de las superficies cortadas son

pequeñas. El problema del oxígeno es que el campo de corte está limitado a los 300 amperios, lo que supone el corte de 25 o 30 mm como máximo.

### **3.1.2.1.3.2.1.2.3 Plasma por nitrógeno**

A partir de 30 mm, en el caso del acero al carbono es preciso cortar con nitrógeno, también aplicable al aluminio y al acero inoxidable. El problema del nitrógeno con el acero al carbono se presenta cuando hay posibles o futuras soldaduras, ya que puede conllevar problemas de nitruración. Así pues, en el caso de que el elemento a cortar requiera un proceso posterior, es preciso analizar con detenimiento qué combinación de gases debe realizarse.

El acero inoxidable y aluminio también obtiene una buena calidad al ser cortado con nitrógeno. Para inoxidable y aluminio la mejor combinación es el H35, nombre genérico o estándar de una mezcla al 35% de carbono e hidrógeno. El corte es excelente en cuanto a calidad, muy limpio y presenta unas superficies brillantes.

### **3.1.2.1.3.2.2 Aspectos valorables en la inversión**

#### **3.1.2.1.3.2.2.1 Materiales a cortar**

El plasma corta cualquier elemento metálico, incluso metales no férricos como el titanio. En este sentido tiene un campo de aplicación total. En el caso de inoxidable o de aluminio la comparativa frente al láser en cuanto a calidad resulta inferior. Frente a la actual limitación de láser a nivel de corte, hoy es posible cortar con plasma, más de 100 mm de espesor en acero inoxidable. El campo de aplicación en corte de metales ahora es importantísimo. En acero al carbono y frente al oxígeno, el plasma ha ido avanzando año tras año. En lo que se entendía hace años como espesores absolutamente limitados para corte con oxígeno, el plasma, a nivel de rentabilidad y de velocidad de corte, incluso de costos de procesos, va ganando terreno.

Respecto a la calidad de corte, en el marco de los tres métodos térmicos, el plasma es el que más evita cualquier alteración o variación en todos los parámetros que puedan afectar la calidad.

El plasma es un elemento que evita cualquier imperfección mecánica; por lo tanto, éste es uno de los puntos fundamentales en el corte; el oxigás es un tipo de corte en el que no es realmente necesaria demasiada precisión mecánica.

El plasma también es muy susceptible a los cambios en las combinaciones de gases, a las velocidades de corte e incluso al posicionamiento de la altura del soplete. Si la conicidad del plasma no coincide con el posicionamiento de la chapa, esa será la conicidad que refleje la chapa cortada.

#### **3.1.2.1.3.2.2.2 Productividad**

Vendrá dada por las velocidades de corte que consigan y el número de sopletes o de estaciones de corte que sean aplicables. Hoy en día aunque es técnicamente posible utilizar mas de dos fuentes lo usual es no pasar de esas dos fuentes de plasma cortando; dos estaciones de corte plasma frente a seis o siete de oxigás, pueden ser más rentables productivamente.

#### **3.1.2.1.3.2.2.3 Coste de la inversión**

Estas cifras son muy difíciles de evaluar. Tomando como referencia la de un corte de velocidad más o menos rentable, entre oxigás, plasma o láser habría que elegir un plasma de unos 2.000 amperios para un corte de 25 mm de espesor y un láser de 3.000 o 4.000 W. El plasma presenta un incremento de coste frente al oxigás no solamente por el hecho de la inclusión del propio plasma como equipo de corte sino también por los requerimientos de precisión mecánica de la maquina.

En el campo de los 25 mm se puede considerar un 50% de incremento de la máquina de plasma frente al oxigás, y de un 300-400% del láser frente a la maquina de plasma. Son cifras muy grandes, pero elocuentes respecto a los niveles de inversión en cada tipo de máquinas.

#### **3.1.2.1.3.2.2.4 La automatización del proceso**

Una máquina plasma está preparada para trabajar sin ningún tipo de auxilio exterior. Sin embargo, hay que tener en cuenta aspectos como la seguridad y el medio ambiente debido a la extracción de humos.

### **3.1.2.1.3.2.2.5 Higiene y medio ambiente**

Cada día se ha ido tomando más conciencia de los aspectos relativos a la higiene y el medio ambiente. Actualmente, por ley, es obligatoria la extracción y limpieza de los humos, estos son realmente tóxicos, pues contienen partículas de cromo y níquel que hay que extraer y limpiar.

Existe una normativa de higiene en cuanto a la extracción de los humos de plasma que regula su tratamiento, a estos se los debe filtrar; también existe una normativa de gestión de residuos que dicta lo que hay que hacer con las partículas que se recogen.

Se dispone en la actualidad de mesas de aspiración y filtros autolimpiables, tecnología que apunta a ser la del futuro para garantizar la extracción y limpieza.

### **3.1.2.1.3.2.2.6 Velocidad**

Uno de los puntos importantes a la hora de evaluar una máquina de plasma es la velocidad con la que se va a mover el proceso. En situaciones exageradas, con un plasma de 200 amperios es posible cortar chapas de 40 mm a 300 mm/min. e incluso menos, pero también podrá cortarse chapa de pocos milímetros a 8.000 y 10.000 mm/min. Esto ofrece un margen de aplicaciones muy amplio en cuanto a velocidad.

La situación más desfavorable en cuanto al corte es que la velocidad máxima no pueda ser la que marque la máxima velocidad de posicionamiento de la máquina, pues es preciso otorgar un cierto margen de movimiento. Además, todo lo que sea, aumentar la velocidad de posicionamiento de la máquina supone mayor productividad del sistema.

Estos son los factores a conjugar cuando se define la máquina, dada una velocidad máxima de desplazamiento. Por regla general, las máquinas se pueden estar moviendo también entre 15 m/min. Y 40 m/min., dependiendo también, por supuesto, de la longitud de la rodadura y de otros factores.

### **3.1.2.1.3.2.2.7 Control numérico**

A nivel de control numérico se ha avanzado muchísimo. Una de sus funciones es la de gestionar todo el sistema máquina-plasma, teniendo que comandar todos los cuadros de

gases, posicionamientos de chapa, etc. Hay que tener en cuenta que con la tecnología actual en PC se ha avanzado en el mismo sentido que en cualquier otro sector de la informática.

También es muy importante el control de altura del soplete, del que depende en gran parte la calidad de corte; dos parámetros son fundamentales, el posicionamiento de inicio de la perforación y el seguimiento de la altura. Este factor es crítico respecto a la calidad, y al hecho de no dejar angularidades excesivas.

### **3.1.2.1.3.2.3 Limitación**

La limitación para cortar con plasma es simplemente que el material que se esté cortando no sea conductor de la electricidad.

El plasma corta cualquier elemento metálico, incluso metales no féreos como el titanio. En este sentido tiene un campo de aplicación total. En el caso de inoxidable o de aluminio la comparativa frente al láser en cuanto a calidad resulta inferior.

### **3.1.2.1.3.2.4 Ventajas de corte por plasma**

- Angularidad excelente
- Una pequeña zona afectada por el calor
- Virtualmente sin escoria
- Corte de rasgos finos de bueno a excelente
- Corta acero al carbono, inoxidable o aluminio
- Velocidades de corte muy rápidas en todos los espesores
- Tiempo de perforación muy rápido
- Las antorchas de conexión rápida maximizan la producción.

## **3.1.2.2 CORTE DE CHAPA POR PROCESOS DE EROSION**

### **3.1.2.2.1 Introducción**

Es un proceso por erosión de tipo mecánico. Se desarrolló en los años sesenta para utilizar exclusivamente agua ya que había industrias como la electro-espacial que tenía

problemas para cortar algunos materiales como los recién aparecidos materiales tipo fibra.

Sin embargo, el origen es un poco anterior a eso ya que la primera persona que se encargó de desarrollar el tema del agua como herramienta de corte fue Norman Franz, un ingeniero forestal que trabajaba en el desarrollo de nuevas tecnologías para el corte de madera, llegando a hacer unas máquinas prototipo con las que experimentó intentando alcanzar grandes presiones de agua, bastante mayores de las que se utilizan hoy industrialmente. El problema era que no se podía mantener esa presión de forma continua.

### 3.1.2.2 Corte por chorro de agua + abrasivo

Con este proceso por erosión se inyecta agua a presión en la pieza a través de la boquilla, y se consigue una velocidad muy alta, del orden de 3 veces la del sonido; si a esta agua le añadimos un abrasivo, en este caso este se encarga de realizar la erosión del material y poder arrancar las partículas para al final realizar el corte. Fgs. 11 y 12

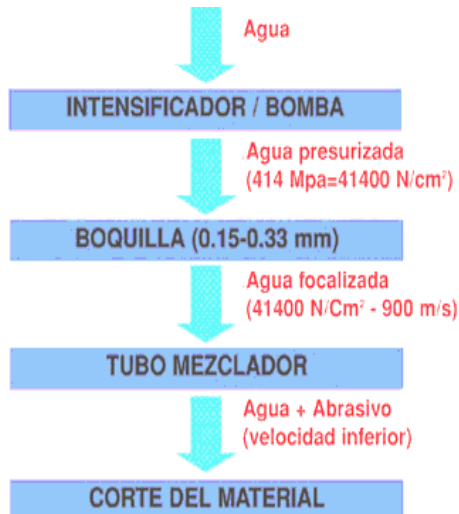


Fig. 11 Fases del proceso de corte por agua

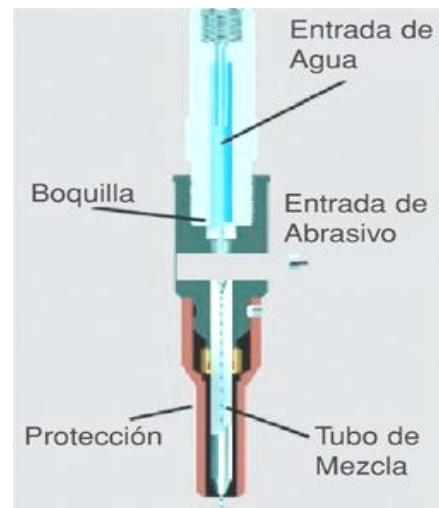


Fig. 12 Principio de funcionamiento

Lo principal es alcanzar una presión muy elevada del agua, una de las máximas que se alcanzan actualmente es de 414 MPa,  $41400 \text{ N/cm}^2$ , 60030 PSI. La forma de conseguir esta presión es mediante una bomba que se denomina intensificador, que fue introducida por Ingersollrand, y que nos permite alcanzar estas presiones de agua. Fig. 13



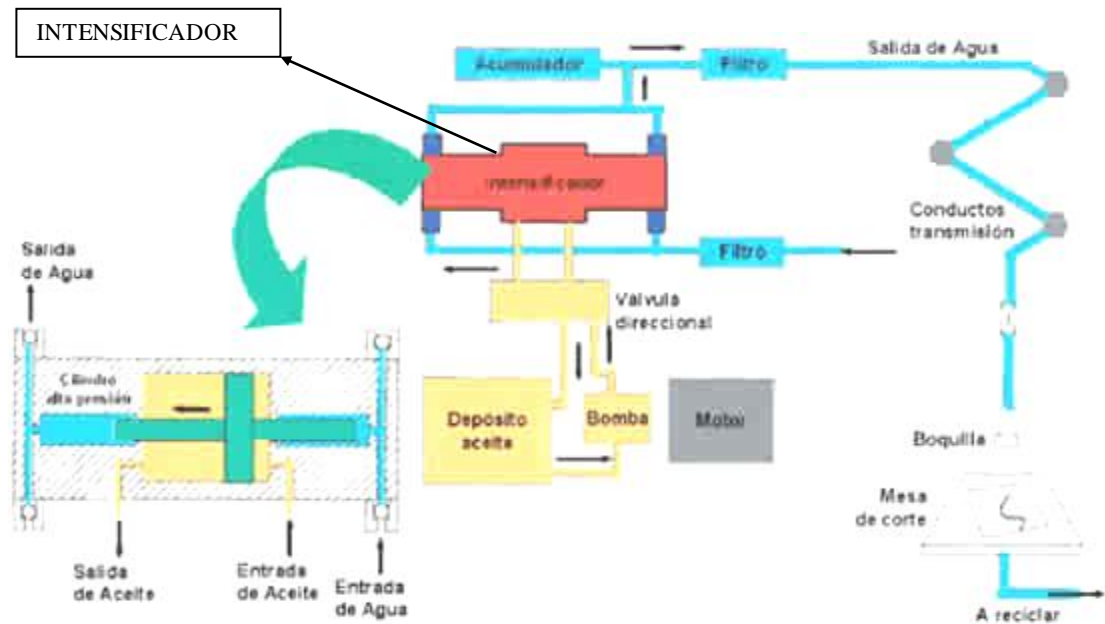


Fig. 13.- Esquema del proceso de corte por agua con intensificador

### 3.1.2.2.1 El método utilizado

Los investigadores de esta materia, se han basado en las leyes fundamentales de la física y la mecánica de los fluidos para interpretar los fenómenos que aquí ocurren. Por ejemplo, el chorro impacta el material con una cierta energía cinética  $E_a$  y abandona el material con una energía  $E_{ex}$ , la cual debe ser menor que la inicial para que se produzca el corte. La diferencia de estas dos energías es la energía disipada  $E_{dis}$ , producto del impacto, la fricción, etc., en el corte.

$$E_{dis} = E_a - E_{ex} \quad (3.1)$$

La energía cinética depende directamente de los flujos básicos de agua y abrasivo, así como también de la velocidad del chorro agua-abrasivo que depende de la presión de agua generada por la bomba y de la eficiencia del inyector.

Para que se logre el corte, los investigadores han podido comprobar, que existe una presión límite entre el éxito del corte y el fracaso de éste, que se puede denominar "presión crítica", la que varía para los diferentes materiales y espesores. Pero también influyen otros parámetros en el éxito del corte como: la cantidad y calidad de abrasivo, cantidad de agua, además los diámetros de tobera/ tubo colector.

### 3.1.2.2.2 Sistemas generadores de presión

Existen dos sistemas principales para generar la presión necesaria; las bombas de émbolos y el llamado “intensificador de presión”. Las primeras poseen generalmente tres émbolos conectados a un cigüeñal e impulsado por un motor eléctrico. Pueden llegar a generar presiones bajas y medias (hasta 344 Mpa en últimos diseños) sin problemas. La principal ventaja de estas bombas es que es muy eficiente en las presiones mencionadas y su principal desventaja es que sobre estas presiones se torna insegura y produce importante variabilidad en el caudal de entrega. Fig. 14

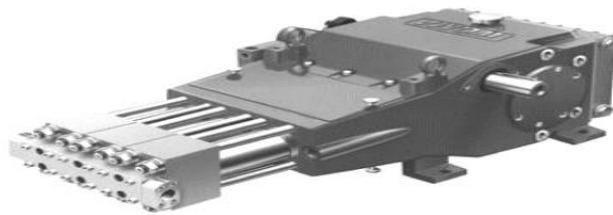


Fig. 14 Bomba de émbolos

El “intensificador de presión” consiste principalmente en un cilindro con diferencia de diámetros y un pistón con igual diferencia. La sección del pistón con mayor diámetro es impulsado por un fluido hidráulico, produciendo una presión mucho mayor sobre el agua debido a la diferencia de diámetros (en una relación sección pistón-aumento de presión de 1:10 a 1:25). Las presiones normales que pueden generar son por sobre los 400Mpa y se a llegado a los 690Mpa en algunos equipos modernos. Fig. 15

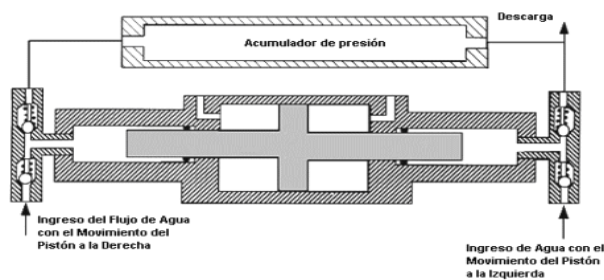


Fig. 15 Intensificador de presión doble

Su principal ventaja radica en la alta presión que puede generar y que puede alimentar a varios inyectores simultáneamente, y en contra, su baja eficiencia debido al sistema hidráulico que posee, ya que pierde potencia por el calor que necesita disipar mediante

un sistema intercambiador, además de necesitar un acumulador de presión debido a su gran variabilidad de entrega.

### **3.1.2.2.2.3 Introducción del abrasivo**

Una vez que el chorro de agua pasa por la tobera, su velocidad se incrementa de gran manera, entrando luego a una zona de un diámetro bastante mayor o zona de mezcla. Debido a la altísima velocidad con que ingresa a esta zona, se produce un fenómeno llamado “depresión” o “efecto Vénturi”, el que es aprovechado para succionar las partículas de abrasivo y agregarlas al chorro.

Normalmente la alimentación del abrasivo hacia el inyector se realiza por medio de un pequeño recipiente cercano a este y que a su vez es surtido neumáticamente desde un recipiente de mayor tamaño. También existen otros sistemas, como por ejemplo: el que parte del agua de alta presión es desviada hacia un estanque donde se mezcla con el abrasivo y es conducida al inyector, o bien otro sistema en el cual el agua y el abrasivo, previamente mezclados, son impulsados al inyector por una membrana accionada por parte del fluido hidráulico que impulsa al intensificador de presión y conducido al inyector para la descarga.

#### **3.1.2.2.2.3.1 Abrasivos empleados**

En general los abrasivos que se emplean o que dan buenos resultados en el corte deben poseer ciertas características adecuadas como: buena estructura, una dureza adecuada, un buen comportamiento mecánico y tener un grano de forma y distribución adecuadas. Para cortar materiales, como acero por ejemplo, son adecuados abrasivos con granos duros y de formas afiladas y para materiales como aluminio son preferibles los de granos más blandos y no de gran calidad, lo que lo hace más económico.

Los abrasivos más utilizados son: Granate, Oxido de Aluminio, Olivino, Arena Sílice, entre otros. Siendo el Granate tipo “Almandino” el que presenta características más estables y que permite ser empleado sobre gran cantidad de materiales, por lo que es el más popular a nivel mundial.

#### **3.1.2.2.4 La formación del haz de agua en el cabezal de corte**

La estabilidad de haz de agua se garantiza con un atenuador de presión integrado en un sistema de tubería de alta presión que conducen el agua hasta la misma cabeza de corte. En dicha cabeza un taladro muy pequeño en una piedra de rubí transforma la presión en energía cinética al atravesar un orificio de un tamaño aproximado de 0,3 mm. El chorro generado, que viaja a tres veces la velocidad del sonido, pasa a través de la cámara de mezcla, en la que se produce el efecto vórtice para absorber el abrasivo y mezclarlo con el haz de agua. A partir de este punto, el chorro de agua y abrasivo pasa a través del tubo de mezcla, y acaba impactando contra el material a cortar.

El principio de los procesos de corte con agua pura, y de corte con agua y abrasivo es el mismo. La única diferencia, es que en este último se añade abrasivo en la parte inferior, para acelerar sus partículas contra el material.

#### **3.1.2.2.5 Corte de distintos materiales**

Aunque los espesores de corte más comunes en esta tecnología oscilan entre los 0,5mm y los 120mm para materiales duros, en ocasiones los usuarios de corte con agua y abrasivo llegan a cortar hasta 350 mm de materiales como el acero inoxidable. En el corte de espesores reducidos, esta tecnología permite la colocación de varias capas una encima de otra para cortarlas a la vez manteniendo las calidades de corte con cierta homogeneidad, aumentando así en gran medida la productividad del proceso.

A pesar de que esta tecnología puede cortar todo tipo de materiales, hay algunos que por sus características intrínsecas son especialmente agradecidos a este tipo de corte. Por ejemplo el aluminio, acero inoxidable, latón, cobre, piedra, cerámica, entre otros.

La principal característica de esta técnica es que estamos ante un corte frío que no deforma el material, en el que las zonas de corte no quedan térmicamente afectadas; esto permite obtener piezas terminadas, con muy buen nivel de acabado y facilita enormemente la realización de operaciones de mecanizado posteriores si fuera necesario. En el 90% de los casos las piezas cortadas por agua pueden tomarse como piezas terminadas. Cortando a menor velocidad es posible obtener una pieza totalmente terminada que no requiere mecanizado posterior.

Para corte de vidrio y materiales frágiles se dispone de un sistema denominado "*Asistencia de vacío en perforación*", que evita que el material se rompa cuando el agua impacta sobre el mismo, pues tiene tendencia a romperse. Con un proceso en el que se hace circular el abrasivo dentro de la cabeza de corte antes de que pase el agua, se consigue que el agua llegue con abrasivo, por lo tanto erosiona el material y no deteriora la perforación.

Así pues, la posibilidad de cortar materiales es espectacular. Casi todos los materiales de la naturaleza pueden ser cortados con esta tecnología, tanto con agua como con agua con abrasivo.

#### **3.1.2.2.6 Ventajas del proceso de corte por chorro de agua y abrasivos**

Sin embargo, este proceso tiene las siguientes ventajas:

- No se origina una zona afectada térmicamente
- Puede cortar cualquier material con amplio rango espesores
- No requiere operaciones secundarias
- Kerf reducido (0,5 – 1 mm)
- Fuerza de corte pequeña (1,4 – 2,3 Kg.)
- Proceso limpio, sin gases
- Puede realizar agujeros para iniciar corte
- Proceso seguro (baja compresibilidad del agua)
- Corta formas y geometrías de gran detalle

#### **3.1.2.2.7 Desventajas**

- Tal vez uno de los problemas con los procesos de corte por agua es que a medida que avanza el chorro, este se flexiona o electa hacía atrás y hace que la parte superior de la pieza se corte antes que la inferior. Si se hace un corte recto no hay problema, pero si es necesario cortar esquinas interiores tendríamos que avanzar el corte para poder cortar la parte inferior y superior, lo que al final nos puede dar un mal acabado y en algunas aplicaciones se tendría que rechazar el producto.

- Otro problema es el de la inclinación de los bordes, normalmente la zona superior que está enfrentada al chorro tiene una abertura mayor que en la parte inferior. El sistema de corte dinámico controla para reducir estos problemas, en este caso, reduciendo la velocidad antes de llegar a las esquinas se evitan estas entradas en la parte superior de la pieza y en el caso de los bordes inclinados se corrige la inclinación de la boquilla.
- En algunos casos de materiales de grandes espesores y de gran dureza, el tiempo requerido para ser cortado puede ser muy largo y elevar en gran medida sus costos. Además en grandes espesores la forma vertical “ideal” del corte tiende a distorsionarse, incrementado en ocasiones por una incorrecta velocidad de corte.
- Más lento que oxicorte o plasma
- Coste elevado de abrasivo (0,23 Kg. /min. a 1 Kg. /min.
- Ruido
- Inversión inicial elevada (mayor que oxicorte o plasma)

### **3.1.2.3 CORTE DE CHAPA POR PROCESOS MECANICOS**

#### **3.1.2.3.1 Corte por punzonado**

Es un proceso de tipo mecánico originado por cizalladura, en el cual intervienen dos herramientas, una que se coloca en la parte inferior de la chapa a punzonar o matriz, y otra que se coloca en la parte superior o punzón.

La compresión del material genera una deformación, a medida que avanza la penetración del punzón en el material se inician grietas en los bordes de contacto entre el punzón y la pieza y la matriz y la pieza, y a medida que avanzan esas grietas se produce una rotura o fractura que hace que se separe la chapa del material de recorte, coinciden las dos grietas y el punzón sigue penetrando hasta provocar la expulsión del material cortado.

##### **3.1.2.3.1.1 Análisis del proceso de punzonado**

En el proceso de punzonado se pueden considerar tres etapas: (Fig.16)

### 3.1.2.3.1.1.1 Deformación

Los esfuerzos del punzón sobre la chapa metálica, originan en ésta una deformación, inicialmente elástica y después plástica, alrededor de los bordes del punzón y matriz.

### 3.1.2.3.1.1.2 Penetración

Los filos de corte del punzón y matriz penetran dentro del material, produciéndose grietas en el material debido a la concentración de tensiones a lo largo de los filos de corte.

### 3.1.2.3.1.1.3 Fractura

Las grietas originadas a uno y otro lado de la chapa se encuentran, originando la separación del material. Asimismo, el punzón continúa su descenso para expulsar el recorte. El juego de corte, permite la penetración del punzón en la matriz y la expulsión del material cortado.

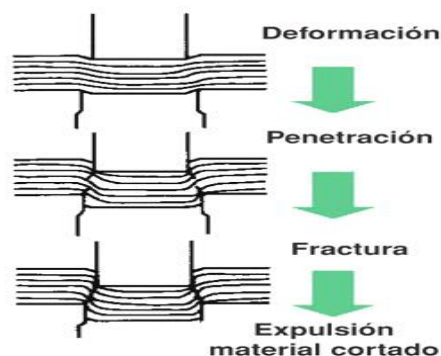


Fig. 16 Etapas del punzonado

El juego de corte tiene un efecto importante en el proceso y se define como la distancia lateral entre el filo del punzón y el filo de la matriz. En general, el valor del juego de corte suele expresarse de dos maneras, bien como porcentaje respecto al espesor de la chapa (juego de corte relativo) o dando el valor de la distancia entre los filos. En el caso de punzones de sección circular, el juego de corte será la mitad de la diferencia de diámetros de la matriz y el punzón, aunque es frecuente encontrar datos de fabricantes que se refieren a la diferencia de diámetros de la matriz y punzón.

El corte por punzonado produce varias características en los bordes de la chapa y del material cortado. Estas características son: (Fig.17)

- a. Deformación plástica caracterizada por un pequeño radio  $R$ .
- b. Zona bruñida de aspecto brillante caracterizada por el ancho  $D$ .
- c. Fractura angular, con aspecto mate, definida por la penetración  $P$ .
- d. Rebaba caracterizada por su altura  $H$ .

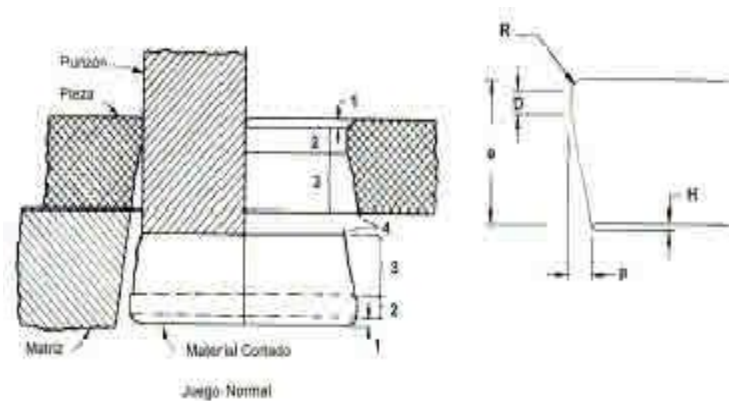


Fig. 17 Características del borde de corte con juego normal

### 3.1.2.3.1.2 Afilados del punzón

Otro factor a tener en cuenta, es el estado del punzón. Así por ejemplo, el progresivo embotamiento sufrido por éste, origina un aumento de la fuerza de corte, y al mismo tiempo una disminución de la fuerza de retroceso.

También la velocidad de corte tiene influencia sobre la fuerza de corte. Así, al aumentar dicha velocidad, disminuye la fuerza necesaria, debido fundamentalmente a la elevación de la temperatura del material que se origina con el aumento de la velocidad de deformación.

Cuando las fuerzas de corte son demasiado elevadas, estas pueden ser reducidas considerablemente mediante un punzonado por corte progresivo, esto es, inclinando el corte del punzón. Sin embargo, la variación de la fuerza no supone una variación de la potencia consumida en el proceso. Fig. 18



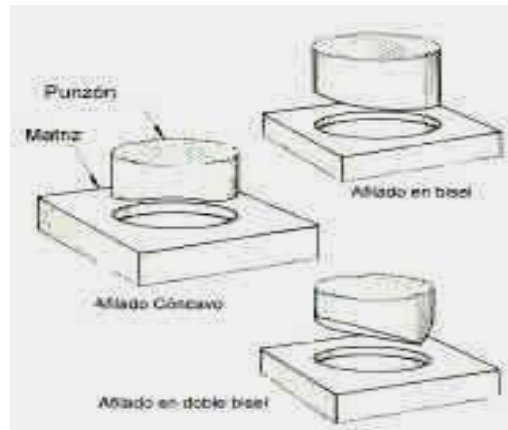


Fig. 18 Afilados especiales del punzón

### 3.1.2.3.1.3 Desgaste de la herramienta

La herramienta, durante su trabajo, está sujeta a una serie de acciones mecánicas, térmicas y químicas, que ejercen un efecto de desgaste, y por tanto, es de gran interés conocer los factores que afectan a éste. Entre estos factores, se puede citar, el material de trabajo, el número de punzonados, el material de la herramienta, el diámetro del punzón, el juego de corte y la lubricación.

El desgaste se produce en tres zonas: caras, flancos, bordes del punzón y matriz. Los flancos y bordes del punzón y matriz están expuestos a la acción de las superficies generadas en el proceso de corte, y el deslizamiento relativo provoca fenómenos de adhesión en los flancos y bordes. Fig. 19

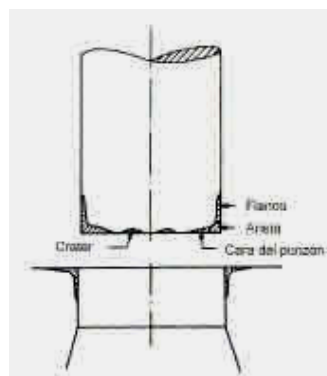


Fig. 19 Desgaste del punzón y matriz

La pieza punzonada sufre un endurecimiento al deformarse plásticamente, produciendo un crecimiento de las presiones locales y provocando la aparición de partículas más

abrasivas. También la alta velocidad de producción da como consecuencia un alto número de impactos, favoreciendo la adhesión de partículas y fatiga de los filos de corte. Simultáneamente, aumenta la temperatura de la matriz, del punzón y de la pieza, por lo que se incrementa la adhesión y se favorece la oxidación.

Los criterios de inutilidad de la herramienta comúnmente utilizados, son los siguientes:

- Consumo energético y fuerza máxima necesaria en el proceso.
- Altura máxima tolerable de la rebaba generada en el corte.
- Medición del desgaste de las caras, flancos y bordes en el punzón y matriz.
- Medida del aumento del juego de corte como consecuencia del desgaste.

#### **3.1.2.3.1.4 Ventajas del corte por punzonado**

Entre las ventajas de este proceso encontramos las siguientes:

- Permite cortar y además operaciones de conformado
- Más barato que el Láser para el corte de golpes sueltos (tiempos = décimas segundo)
- En la actualidad hay máquinas de mucha velocidad (1200 golpes/min. en punzonado y 2800 golpes/min.)

#### **3.1.2.3.1.5 Desventajas**

- Requiere operaciones secundarias de acabado (cuello de botella)
- Problemas para cortar espesores muy elevados (agujeros de gran diámetro)
- Coste de herramientas y reafilado

#### **3.1.2.3.2 Corte por cizallado**

En la industria metalúrgica y dentro del ámbito de la deformación metálica, se utilizan varios tipos de máquinas, entre ellas las cizalladoras, que por su funcionamiento

representan un riesgo para el operario encargado de su manejo. Entre estas cizalladoras podemos distinguir varios tipos:

- Cizallas de guillotina.
- Cizallas de palanca.
- Cizallas de rodillos.
- Cizallas circulares.

Observamos que las cizallas de guillotina, son las más frecuentes en los centros de trabajo.

#### **3.1.2.3.2.1 Características generales**

Las cizallas de guillotina para metal, son máquinas empleadas para cortar metales generalmente láminas. Su campo de aplicación se extiende a los sectores industriales.

Dentro de las cizallas guillotinas para metal, podemos distinguir los siguientes tipos:

- Cizallas mecánicas
- Cizallas hidráulicas

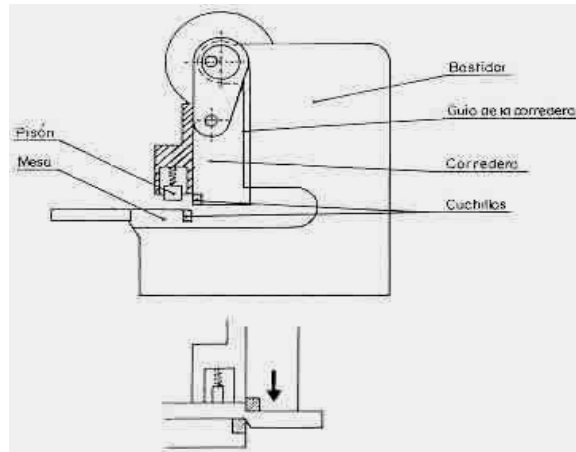
Las primeras pueden ser con o sin cuello de cisne y a su vez de embrague mecánico o de embrague a fricción.

#### **3.1.2.3.2.2 Composición de la cizalla de guillotina mecánica**

Una cizalla de guillotina mecánica se compone de las siguientes partes:

La bancada es una pieza de fundición sobre la que descansa la máquina; el bastidor es una pieza de hierro que se apoya sobre la bancada y soporta la cuchilla y el pisón; la mesa es también de hierro sobre la que se apoya el material a cortar y a la que pueden fijarse accesorios como guías y escuadras; el pisón es de fundición y sirve para sujetar el material sobre la mesa de trabajo antes de efectuarse el corte; la corredera o porta-cuchilla es la pieza que se desplaza verticalmente a la mesa y aloja a la cuchilla móvil; la cuchilla móvil es la pieza de acero unida a la corredera diseñada para cortar el material; la cuchilla fija es una pieza de acero y esta unida a la mesa es diseñada para

cortar. Además estas guillotinas suelen tener un grupo hidráulico o sistema mecánico que permiten el funcionamiento de los diferentes órganos de la máquina; con dispositivos de accionamiento de la máquina que puede ser manual o con el pie (pulsador, pedal o barra). Fig. 20



**Fig. 20 Composición de la cizalla**

En la fig. 21 se puede observar la vista frontal de una cizalla.



**Fig. 21 Vista frontal cizalla**

### **3.1.2.3.2.3 Método de trabajo**

Como ya se ha mencionado, las cizallas de guillotina para metales son máquinas utilizadas para operaciones de corte de metales (hierro, acero, aluminio, etc.) de espesores hasta 25 mm. y con una velocidad de corte de hasta 120 golpes por minuto.

El corte es efectuado por una estampa de corte formada por dos cuchillas, las cuales disponen normalmente de cuatro ángulos de corte.

La cuchilla inferior va sujeta a la mesa y la superior, bien a la corredera si se trata de cizallas de guillotina con cuello de cisne o al puente porta-cuchillas si son cizallas sin cuello de cisne.

La técnica del proceso consiste en:

- a)* Colocación de la chapa a cortar sobre la mesa de la cizalla.
- b)* Ubicación de la chapa en posición de corte; esta operación se realiza con la ayuda de reglas graduadas situadas en los soportes delanteros y la galga de tope trasero o bien con la lectura de indicadores automáticos.
- c)* Accionamiento de la corredera, con esta operación descienden automáticamente el pisón y la cuchilla, esta última con un retraso sobre el pisón y se efectúa el corte de la chapa.
- d)* La chapa una vez cortada cae por la parte posterior de la máquina al suelo o bien dentro de un sistema de recogida dispuesto para tal fin y la corredera queda inmovilizada en el punto superior.
- e)* Un nuevo ciclo puede ser iniciado.

#### **3.1.2.3.2.4 Sistemas de protección**

Los sistemas de protección, procurarán la inaccesibilidad al punto de operación durante el recorrido de corte; ésta inaccesibilidad se entiende tanto por la parte frontal; las laterales y posterior, y se montarán de forma que impidan las lesiones en las manos o cuerpo del operario.

La protección del punto de operación estará en función del tipo de cizalla, del número de operarios que trabajen en ella, del tipo de trabajo a ejecutar, de la modalidad de funcionamiento y de los mandos de accionamiento utilizados.

El sistema de protección considerado para impedir el acceso al punto de operación en este tipo de máquinas es el de "Protección por resguardos fijos".

Si por razones técnicas del proceso de fabricación no puede utilizarse este sistema de protección, se emplearán otros sistemas, siempre que su grado de protección cumpla con las condiciones de seguridad exigidas para eliminar el riesgo.

Las condiciones generales que deben cumplir los sistemas de protección en cuanto a diseño, construcción, aplicación y montaje serán las siguientes:

- Robustez, rigidez y resistencia adecuada a su función.
- Ser de difícil neutralización y burlado; sus partes esenciales no se podrán manipular ni retirar sino es con útiles especiales.
- No crearán nuevos riesgos.
- Permitirán una buena visibilidad del punto de operación.
- No introducirán incomodidades ni esfuerzos excesivos.

### **3.1.2.3.3 Aserrado de metales**

Una operación importante en cualquier taller mecánico, es el aserrado de materiales y piezas en forma de barras, para seguir las subsecuentes operaciones de mecanizado. No obstante que cualquier maquina herramienta puede efectuar operaciones de corte hasta ciertos limites.

#### **3.1.2.3.3.1 Aserrado manual**

El aserrado manual es aplicado en muchos trabajos simples, así como en los casos en que no es posible llevar las piezas a una sierra mecánica. Esta operación se efectúa mediante una sierra de mano que es una hoja de cuchillas, delgada y flexible generalmente de 20 a 30 cm. de longitud, soportada en un arco para sierra provista de un mango para accionarlo. Fig. 22



**Fig. 22**

El paso del diente puede variar de 0.8 a 1.8 mm, en el cual la distancia de la arista de un diente a la arista del diente adyacente se da en milímetros. Aun cuando las sierras de dientes bastos permiten mayor espacio entre rebabas, la separación variara de acuerdo con el espesor y la clase del material a cortar. Un paso promedio para las sierras es alrededor de 1.4 mm, pero para materiales muy delgados y para tubería, es conveniente un paso mas fino.

### 3.1.2.3.2 Maquina alternativa para serrar

Las sierras alternativas pueden variar en diseño, desde las de trabajos ligeros cuyas seguetas son accionadas mediante manivela, hasta las de trabajos pesados accionados hidráulicamente, han sido siempre las favoritas debido a la simplicidad de su diseño y bajo costo de operación. Las maquinas de este tipo varían en la forma en la cual avanza la sierra en el material y en el tipo de transmisión usada. También se diseña para que su operación sea manual, semiautomática o completamente automática.

#### 3.1.2.3.3.1 Hojas de sierra

Las sierras para maquinas con motor, son similares a las usadas en los arcos manuales. Las hojas de acero de alta velocidad varían de 30 a 90 cm. de longitud y se hacen en espesores desde 1.3 a 3.1 mm. El paso es mas basto que para las sierras manuales y varia de 1.8 a 10 mm. La construcción del diente de la mayoría de las hojas de sierra es de diseño de diente recto (A), de dientes recortados (B) y de dientes de garganta ancha (C). Fig. 23

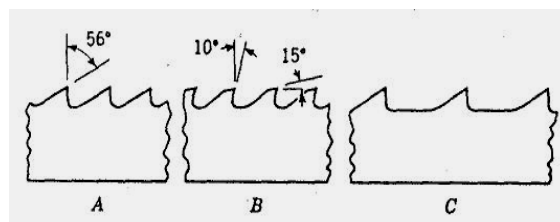


Fig. 23 Diseño de los dientes

Para el corte eficiente del acero ordinario y de hierro fundido, debe usarse un paso lo mas ancho posible para proporcionar amplio espacio a las virutas entre dientes. Sin embargo, dos o más dientes deberán estar siempre en contacto con la pieza que se

corta. Para proporcionar un espacio amplio a la hoja mientras esta cortando, los dientes se disponen para que corten una ranura ligeramente mas ancha que el grueso de la hoja. Esto se logra con el tipo de triscado que tenga la hoja de sierra. Fig. 24

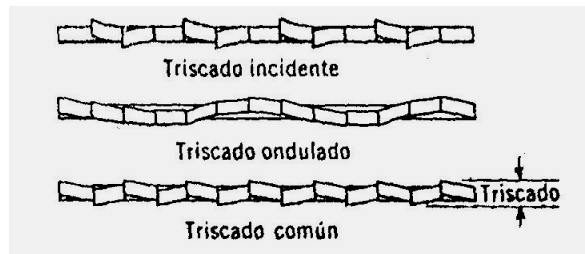


Fig. 24 Triscado de las hojas de sierra

### 3.1.2.3.3 Sierras circulares metálicas

Las sierras para maquinas con cortadores rotatorios son similares a las ranuradoras usadas en las fresadoras. No obstante las fresas ranuradoras se hacen solamente hasta 200 mm de diámetro, lo cual no es suficiente para trabajos de gran tamaño. Algunas hojas sólidas, con diámetros que no exceden de 400 mm, se usan en las maquinas serradoras circulares. Su empleo es limitado debido al costo y porque los dientes rotos o desgastados no se pueden reemplazar. En la figura 25 se muestra el tipo de dientes encontrados en la mayoría de sierras circulares para metal. Los dientes se afilan alternativamente, por lo cual la mitad de ellos son de 0.25 a 0.50 mm mas altos que el resto. Los dientes mayores son para corte basto, teniendo un bisel de  $45^{\circ}$  a cada lado; los otros se afilan a escuadra y vienen a ser los dientes de acabado, para definir las esquinas. Se recomienda un fluido lubricante para todos los trabajos de corte con sierra.

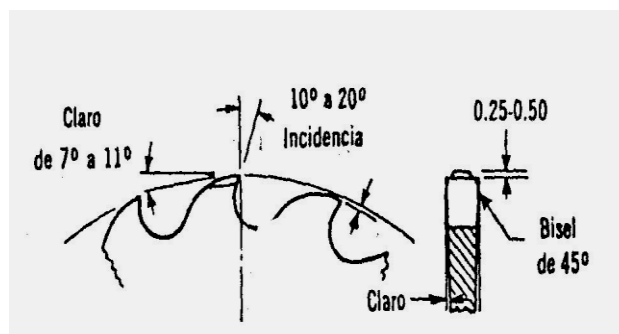


Fig. 25 Tipo de dientes sierras circulares



#### **3.1.2.3.3.4 Discos de fricción de acero**

Los discos de acero, trabajando a altas velocidades periféricas proporcionan un medio rápido para cortar miembros de acero estructural y otras secciones de acero. Cuando el disco gira con una velocidad en la periferia de 5500 a 7600 m/min., el calor de la fricción funde rápidamente una ranura a través de la parte que se va a cortar. Se requiere alrededor de medio minuto para hacer un corte a través de una viga I de 600 mm. En este trabajo se usan discos que varían en sus diámetros pequeños desde 0.6 a 1.5 m. Generalmente se suministran con dientes pequeños en la circunferencia, con una profundidad alrededor de 2.4 mm. Los discos se afilan de un modo ligero cóncavos para proporcionar un huelgo lateral al hacer cortes en un miembro grande. Se recomienda el enfriamiento con agua.

El corte por fricción no es limitado por la dureza del material. Los aceros inoxidable y los de alto carbono se pueden cortar con más facilidad que los aceros de bajo carbono. La facilidad de corte parece ser que depende más de la estructura del metal y de sus características de fusión, que de la dureza del material.

#### **3.1.2.3.3.5 Discos abrasivos**

En la figura 26 se muestra una máquina con rueda abrasiva, adaptada para cortes ya sea en húmedo o en seco. Estas máquinas pueden cortar sólidos ferrosos o no ferrosos hasta de 50 mm de diámetro o tubos de hasta 90 mm. Para corte en seco se usarán ruedas con aglomerante resinoso que trabajan con velocidades alrededor de 5000 m/min. Las ruedas de alta velocidad cortan más eficientemente que las de baja, porque el metal se calienta con rapidez a tal grado que se ablanda y se puede separar con facilidad. Para el esmerilado húmedo, se usan ruedas con hule aglomerante y trabajan con velocidad alrededor de 2500 m/min. La velocidad superficial debe mantenerse en estos límites con objeto de mantener suficiente refrigerante en la rueda para evitar su sobrecalentamiento. En este caso la acción de corte depende enteramente de los granos abrasivos de la rueda y no es influida por ningún ablandamiento del metal.

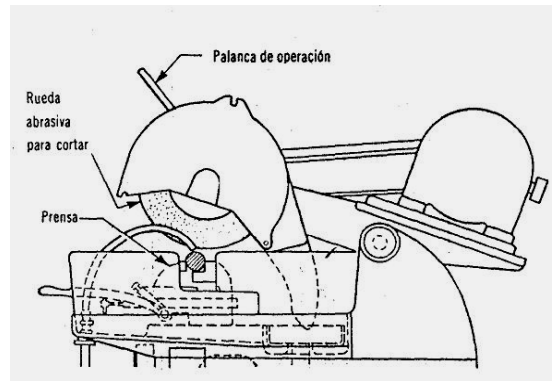


Fig. 26 Máquina cortadora con disco abrasivo

### 3.1.2.3.3.6 Maquinas sierra banda

Las máquinas de serrar descritas han sido diseñadas para efectuar cortes rectos y se usan principalmente para hacer separaciones; la sierra tipo banda también se usa para estos fines pero, además, pueden cortar curvas irregulares en metal. Esto amplía el campo de aplicación de las sierras banda, puesto que permite a la máquina efectuar una gran variedad de trabajos como el corte de contorno en matrices, dispositivos, plantillas y otras partes numerosas que originalmente se hacían por entero en otras máquinas herramientas, o a mano a un costo elevadísimo. En años recientes se han añadido a las sierras banda dispositivos convenientes y precisos para corte y pulido continuos, ambas operaciones muy necesarias en los acabados de contorno.

Las máquinas sierra banda para metales tienen mucha semejanza con las usadas para madera, pero difieren en las velocidades de corte de la sierra y en el tipo de las mismas.

#### 3.1.2.3.3.6.1 Hojas para sierra banda

Un paso importante en el serrado de precisión, es la selección de la sierra apropiada para cada trabajo. El ancho se determina por el avance a que se va usar y por la curvatura a que se va a cortar. La construcción de los dientes de la hoja de sierra banda, es aproximadamente la misma que la usada para las sierras alternativas.

**CAPÍTULO IV**

**INVESTIGACION DE**

**CAMPO**

## **4 INVESTIGACION DE CAMPO**

### **4.1 Aplicación de la entrevista y las encuestas**

La presente investigación se la realizó en la ciudad de Loja, para lo cual previamente se realizó una visita a la mayor cantidad de talleres; desde los pequeños talleres de cerrajería hasta los grandes talleres de construcciones metal mecánicas.

Además se hizo una entrevista al jefe del taller de mecánica industrial del SECAP, en la cual se abordaron temas sobre los procesos de corte de planchas de acero que se utilizan actualmente en nuestra ciudad, datos que nos dieron la pauta para poder construir la encuesta que posteriormente fue aplicada en los talleres metal mecánicos de la ciudad.

#### **4.1.1 Cuestionario**

Las preguntas que fueron abordadas durante la entrevista fueron las siguientes:

1. ¿Cuáles cree UD. que son los procesos de corte para planchas de acero mas utilizados en la ciudad de Loja?
2. ¿Cuáles son las ventajas y desventajas del proceso de oxicorte?
3. ¿Cuáles son los aspectos que le incomodan cuando utiliza el oxicorte u otro proceso?
4. ¿Cuáles son los gases mas utilizados en Loja para el proceso de oxicorte?
5. ¿De que depende la utilización de uno u otro proceso de corte para planchas de acero?
6. ¿Cuáles cree UD. que son los factores que limitan la implementación de nuevos procesos de corte para planchas de acero en la ciudad de Loja?
7. ¿Conoce nuevos procesos de corte para planchas de acero que se estén implementando en la ciudad de Loja?
8. ¿Conoce sobre el proceso de corte por plasma?
9. ¿Cuáles son las ventajas y desventajas que le proporciona el corte por plasma?
10. ¿Qué gases son los más utilizados para el proceso de corte por plasma?

#### 4.1.2 Formato de encuesta

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA**  
**AREA DE LA ENERGIA, INDUSTRIAS Y RECURSOS NATURALES NO**  
**RENOVABLES.**

**CARRERA DE INGENIERIA ELECTROMECHANICA.**

DIRIGIDO A: PROPIETARIOS DE TALLERES METALMECANICOS DE LA CIUDAD DE LOJA.

La presente encuesta tiene como finalidad obtener información respecto al tema: **“ANALISIS Y EVALUACION DE LOS PROCESOS DE CORTE PARA PLANCHAS DE ACERO EN LA CIUDAD DE LOJA, CASO PRACTICO PROCESOS DE CORTE POR PLASMA”** Su valiosa información es muy importante, ya que con ella podremos concretar nuestro objetivo de estudio.

1) Para cortar planchas de acero. Marque con una (x) el proceso y/o método de corte que más utiliza en su taller.

a. Oxicorte ( ) b. Cizalla ( ) c. Sierra ( ) d. Plasma ( ) e. Disco abrasivo ( )  
 f. Soldadora eléctrica ( ) g. Tijera de tool ( )

2) De los materiales descritos abajo marque con una (x) el material de las planchas que más utiliza en la construcción de sus proyectos.

a. Acero Negro ( ) b. Acero Inoxidable ( ) c. Aluminio ( ) d. Acero Galvanizado ( )

3) De los espesores de plancha descritos abajo, marque con una (x) los que Ud. más utiliza en el taller.

a. 1/32" ( ) b. 1/16" ( ) c. 1/8" ( ) d. 5/32" ( ) e. 3/16" ( ) f. 7/32" ( ) g. 1/4" ( )  
 h. 5/16" ( ) i. 3/8" ( ) j. 1/2" ( ) k. 3/4" ( ) l. 1" ( ) Otro (s).....

4) A más de los procesos, y/o métodos tradicionales de corte (sierra, cizalla, disco abrasivo, oxicorte, soldadura eléctrica) para planchas de acero. Qué otros conoce sin importar que los tenga o no en su taller.

.....  
 .....

5) Del proceso de oxicorte u otro, ¿Le molesta algún aspecto para realizar dicha operación?

SI ( )

NO ( )

Si la respuesta es afirmativa indique los aspectos que le incomodan.....  
 .....  
 .....

6) Marque con una (x) los factores que Ud. cree, influyen en la no implementación de nuevos procesos de corte de planchas de acero en la ciudad de Loja.

- a. Desconocimiento ( )    b. Factor económico ( )    c. Es innecesario ( )

Otro (s).....

7) ¿Le gustaría implementar un nuevo proceso de corte para planchas de acero en su taller, que le proporcione mejores acabados, rapidez de corte y, que además le permita cortar todo tipo de material?

- Si ( )                      No ( )

8) ¿Conoce sobre el proceso de corte por plasma?

- Si ( )                      No ( )

Si la respuesta a la pregunta es afirmativa, anote las ventajas y desventajas del proceso de corte con plasma.

Ventajas.....  
 .....  
 .....

Desventajas.....  
 .....  
 .....

9) Marque con una (x) los gases que se utiliza para el proceso de corte con plasma.

- a. Aire comprimido ( )    b. Argón ( )    c. Hidrógeno ( )    d. Nitrógeno ( )

**4.2 Análisis e interpretación de los datos de las encuestas**

**PRIMERA PREGUNTA**

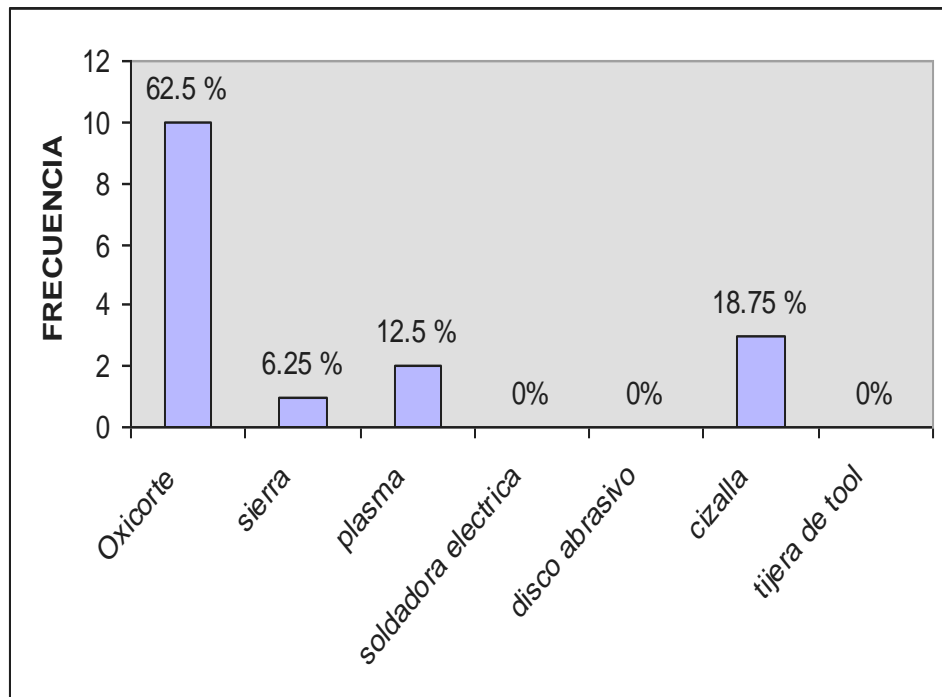
1) Para cortar planchas de acero. Marque con una (x) el proceso, y/o método de corte que más utiliza en su taller.

- a. Oxicorte ( )    b. Cizalla ( )    c. Sierra ( )    d. Plasma ( )    e. Disco abrasivo ( )  
 f. Soldadora eléctrica ( )    g. Tijera de tool ( )

**CUADRO # 1**

Variable	Frecuencia	Porcentaje
• Oxicorte	10	62.5%
• sierra	1	6.25%
• plasma	2	12.5%
• soldadora eléctrica	0	0%
• disco abrasivo	0	0%
• cizalla	3	18.75%
• tijera de tool	0	0%
<b>TOTAL</b>	<b>16</b>	<b>100%</b>

*Fuente: Dieciséis talleres*

**GRAFICO # 1**

### **Análisis**

El 62.5 % de las personas encuestadas responde que el proceso de corte para planchas de acero mas utilizada en su taller es el oxicorte; el 18.75 % contesta que utiliza la cizalla; el 12.5 % el proceso de corte por plasma; el 6.25 % la sierra manual ya que son talleres de cerrajería solamente; las otras opciones no son contestadas ya que no las ponen en practica.

## SEGUNDA PREGUNTA

2) De los materiales descritos abajo marque con una (x) el material de las planchas que más utiliza en la construcción de sus proyectos.

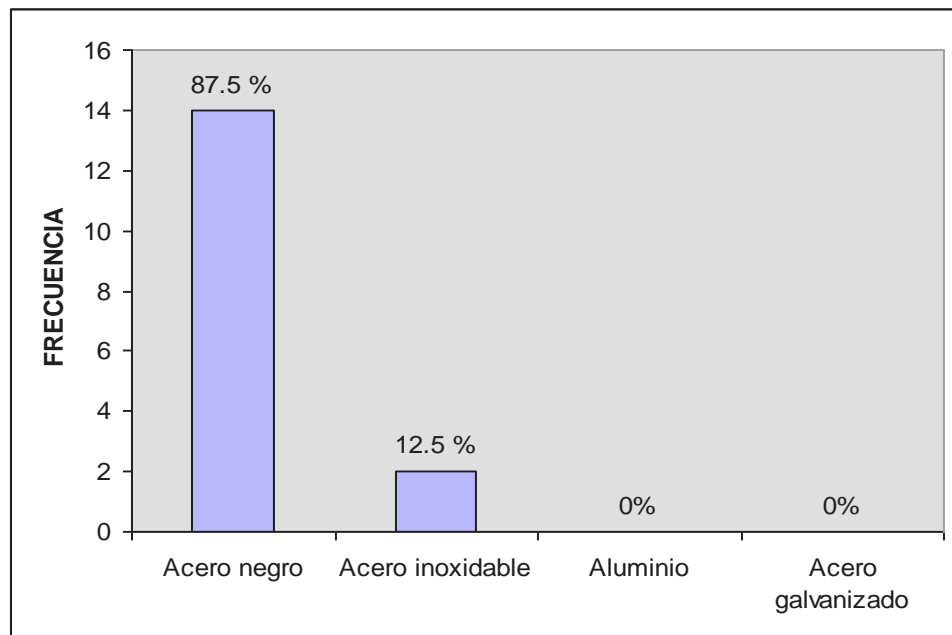
a. Acero Negro ( )    b.Acero Inoxidable ( )    c.Aluminio ( )    d.Acero Galvanizado ( )

**CUADRO # 2**

Variable	Frecuencia	Porcentaje
• Acero negro	14	87.5%
• Acero inoxidable	2	12.5%
• Aluminio	0	0%
• Acero galvanizado	0	0%
<b>TOTAL</b>	<b>16</b>	<b>100%</b>

*Fuente: Dieciséis talleres*

**GRAFICO # 2**



### Análisis

El 87.5 % de los encuestados responde que el material más utilizado para la ejecución de sus proyectos es el acero negro, y solo un 12.5 % utiliza el acero inoxidable, con respecto a los otros materiales se los utiliza pero en forma esporádica.



### TERCERA PREGUNTA

3) De los espesores de plancha descritos abajo, marque con una (x) los que Ud. más utiliza en el taller.

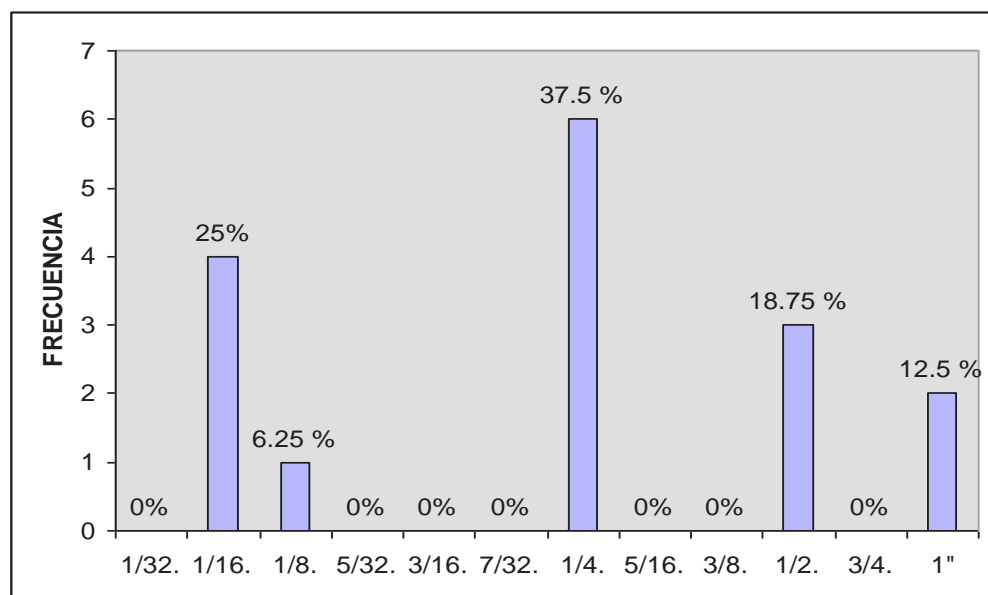
a.  $1/32''$  ( ) b.  $1/16''$  ( ) c.  $1/8''$  ( ) d.  $5/32''$  ( ) e.  $3/16''$  ( ) f.  $7/32''$  ( ) g.  $1/4''$  ( )  
 h.  $5/16''$  ( ) i.  $3/8''$  ( ) j.  $1/2''$  ( ) k.  $3/4''$  ( ) l.  $1''$  ( ) Otro (s).....

CUADRO # 3

Variable	Frecuencia	Porcentaje
• $1/32.$	0	0%
• $1/16.$	4	25%
• $1/8.$	1	6.25%
• $5/32.$	0	0%
• $3/16.$	0	0%
• $7/32.$	0	0%
• $1/4.$	6	37.5%
• $5/16.$	0	0%
• $3/8.$	0	0%
• $1/2.$	3	18.75%
• $3/4.$	0	0%
• $1''$	2	12.5%
<b>TOTAL</b>	<b>16</b>	<b>100%</b>

Fuente: Dieciséis talleres

GRAFICO # 3



## Análisis

El 37.5 % de los encuestados responde que el espesor de la plancha más utilizada es de 1/4", el 25 % dice que mas utiliza plancha de 1/16", el 18.75 % utiliza la plancha de 1/2", el 12.5 % utiliza plancha de 1" y solo el 6.25 % utiliza plancha de 1/8", los demás espesores son usados en casos especiales.

## CUARTA PREGUNTA

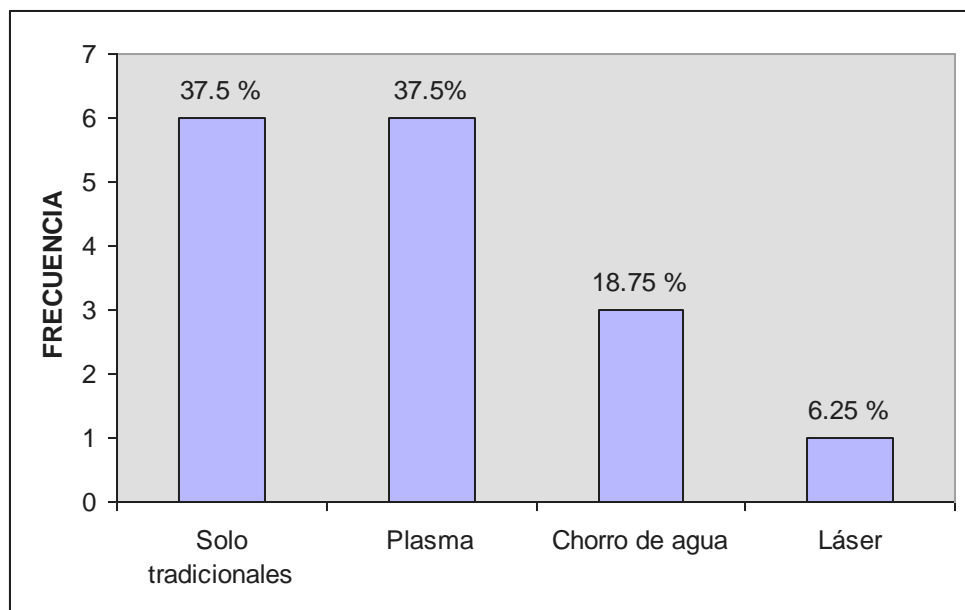
4) A más de los procesos, y/o métodos tradicionales de corte (**sierra, cizalla, disco abrasivo, oxicorte, soldadura eléctrica**) para planchas de acero. Qué otros procesos conoce sin importar que los tenga o no en su taller.

CUADRO # 4

Variable	Frecuencia	Porcentaje
Solo tradicionales	6	37.5%
Plasma	6	37.5%
Chorro de agua	3	18.75%
Láser	1	6.25%
<b>TOTAL</b>	<b>16</b>	<b>100%</b>

Fuente: Dieciséis talleres

GRAFICO # 4



## Análisis

El 37.5 % de los encuestados responde que solo conoce los procesos de corte tradicionales y no conoce ningún otro proceso nuevo para cortar planchas de acero, el 25 % responde que conoce el proceso de corte por plasma, el 18.75 % conoce los procesos de plasma y chorro de agua, el 6.25 % conoce solo el proceso de corte por láser, el 6.25 % conoce los procesos de chorro de agua y láser y de igual manera el 6.25 % conoce los procesos de plasma, chorro de agua y láser.

## QUINTA PREGUNTA

5) Del proceso de oxicorte u otro, ¿Le molesta algún aspecto para realizar dicha operación?

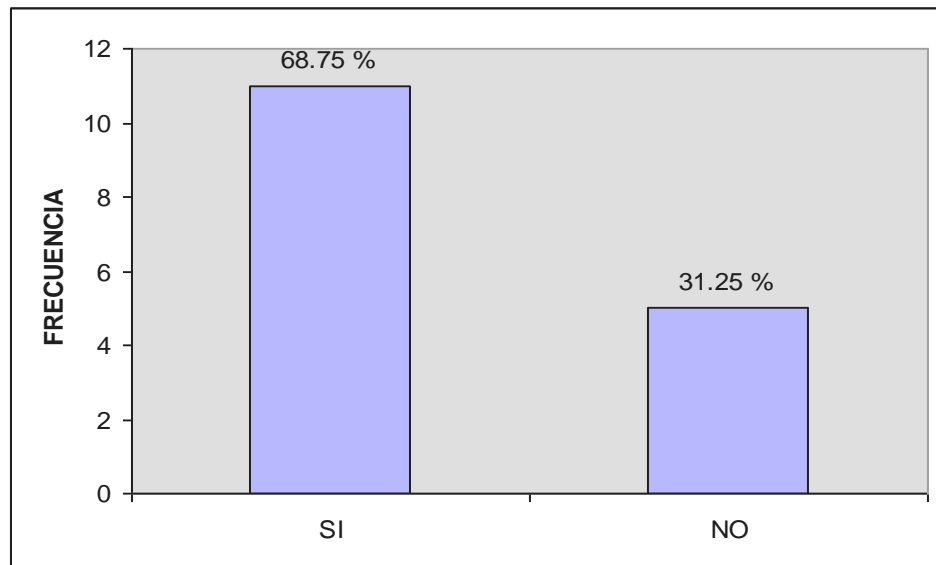
SI ( )                      NO ( )

Si la respuesta es afirmativa indique los aspectos que le incomodan.....

**CUADRO # 5**

Variable	Frecuencia	Porcentaje
• SI	11	68.75%
• NO	5	31.25%
<b>TOTAL</b>	<b>16</b>	<b>100%</b>
<b>COMPLEMENTO AL(SI) ASPECTOS QUE MOLESTAN</b>	Proceso lento, la regulación de la llama, demasiada escoria, tiempo en regular las válvulas, mala acabado de corte, el costo, deformación de la pieza por excesivo calentamiento, poca precisión, expulsa demasiada chispas, alta tolerancia de corte, solo corta acero ne-trabajo posterior para hacer las juntas de soldeo.	

*Fuente: Dieciséis talleres*

**GRAFICO # 5****Análisis**

El 68.75% de los encuestados responde que si hay aspectos que le incomodan específicamente en el proceso de oxicorte y anota los siguientes: proceso de corte lento, la regulación de la llama, demasiada escoria, el tiempo en regular las válvulas, mal acabado de corte, el costo, deformación de la pieza por excesivo calentamiento, poca precisión, expulsa demasiadas chispas, alta tolerancia de corte, solo corta acero negro, y el trabajo posterior para preparar las juntas para el soldeo; por otro lado el 31.25% de los encuestados esta conforme con el oxicorte ya que no le molesta ningún aspecto.

**SEXTA PREGUNTA**

6) Marque con una (x) los factores que Ud. cree, influyen en la no implementación de nuevos procesos de corte de planchas de acero en la ciudad de Loja.

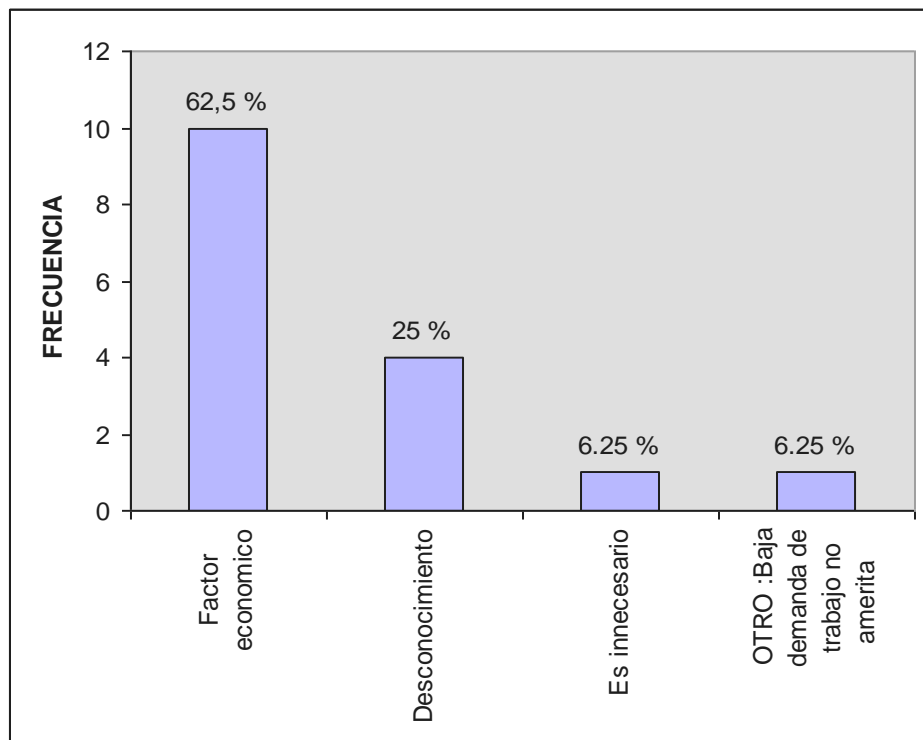
a. Desconocimiento ( )    b. Factor económico ( )    c. Es innecesario ( )

Otro (s).....

**CUADRO # 6**

Variable	Frecuencia	Porcentaje
Factor económico	10	62,5%
Desconocimiento	4	25,0%
Es innecesario	1	6.25%
<b>OTRO</b> :Baja demanda de trabajo no amerita la compra de equipo costoso	1	6,25%
<b>TOTAL</b>	<b>16</b>	<b>100%</b>

*Fuente: Dieciséis talleres*

**GRAFICO # 6**

### **Análisis**

El 62.5 % de los encuestados responde que la no implementación de nuevos procesos de corte se debe a un factor económico, el 25 % dice que se debe al desconocimiento de nuevos procesos de corte, el 6.25 % dice que es innecesario; mientras que otro 6.25 % dice que se debe a la falta de demanda de trabajo por lo tanto no amerita la compra de equipos costosos.

**SEPTIMA PREGUNTA**

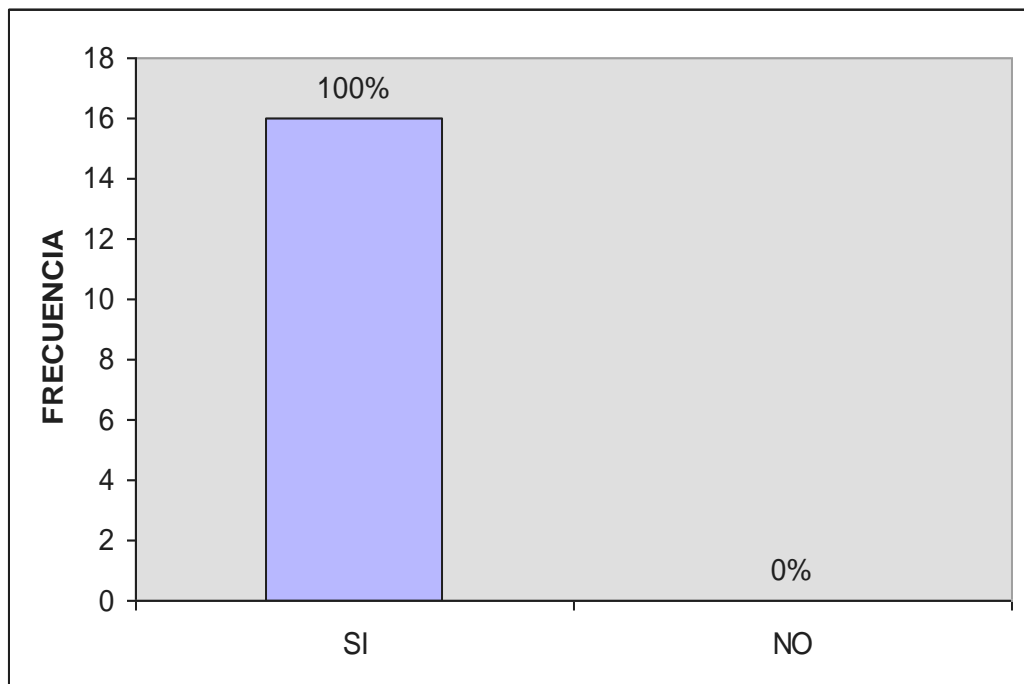
7) ¿Le gustaría implementar un nuevo proceso de corte para planchas de acero en su taller, que le proporcione mejores acabados, rapidez de corte y, que además le permita cortar todo tipo de material?

Si ( )                      No ( )

**CUADRO # 7**

Variable	Frecuencia	Porcentaje
• SI	16	100%
• NO	0	0%
<b>TOTAL</b>	<b>16</b>	<b>100%</b>

*Fuente: Dieciséis talleres*

**GRAFICO # 7****Análisis**

El 100% de los encuestados responde que si le gustaría implementar un nuevo proceso de corte para planchas de acero.

## OCTAVA PREGUNTA

8) ¿Conoce sobre el proceso de corte por plasma?

Si ( )                      No ( )

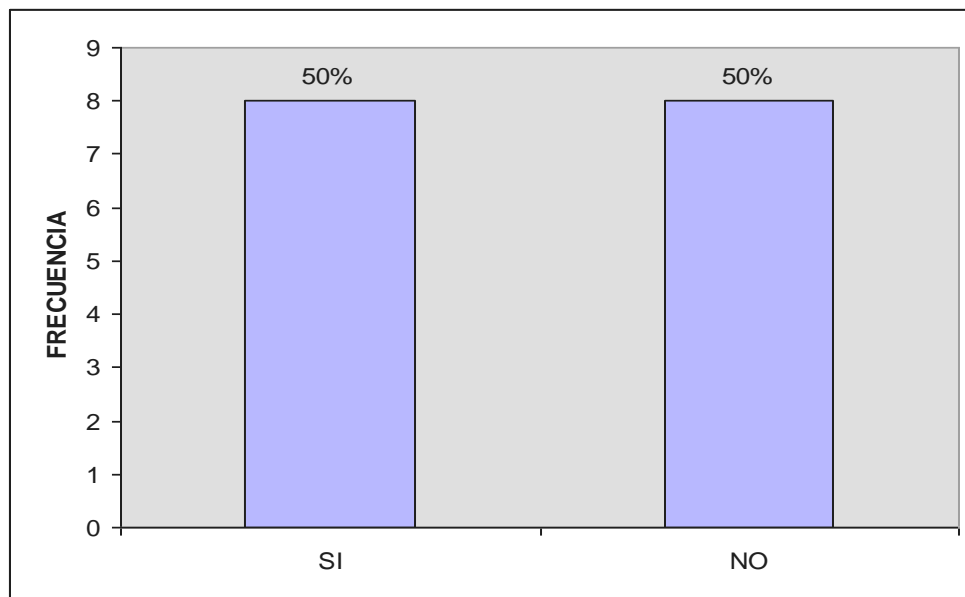
Si la respuesta a la pregunta es afirmativa, anote las ventajas y desventajas que le ve a este proceso.

**CUADRO # 8**

Variable	Frecuencia	Porcentaje
• SI	8	50%
• NO	8	50%
<b>TOTAL</b>	<b>16</b>	<b>100%</b>
<b>COMPLEMENTO AL SI</b> <b>Ventajas corte con plasma</b>  <b>Desventajas corte con plasma</b>	*Se puede cortar cualquier material, buen acabado de corte, corte rápido, versátil, corte limpio, poca tolerancia para realizar el corte, precisión. *Equipo costoso, electrodos caros, no funciona sin corriente, imposible realizar trabajos de campo.	

Fuente: Dieciséis Talleres.

**GRAFICO # 8**



## Análisis

El 50% de los encuestados responde que si conoce el proceso de corte por plasma, e incluso anota ventajas y desventajas de este proceso, el otro 50% de encuestados responde que no lo conoce.

## NOVENA PREGUNTA

9) Marque con una (x) los gases que Ud. cree más se utiliza para el proceso de corte con plasma.

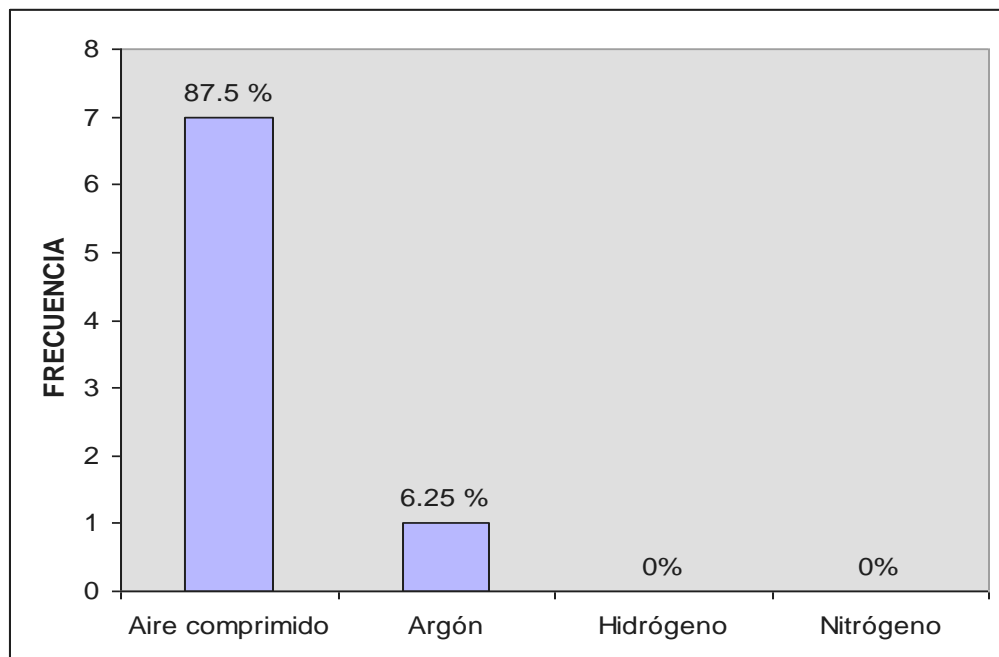
a. Aire comprimido ( ) b. Argón ( ) c. Hidrógeno ( ) d. Nitrógeno ( )

**CUADRO # 9**

Variable	Frecuencia	Porcentaje
• Aire comprimido	7	87.5%
• Argón	1	6.25%
• Hidrógeno	0	0%
• Nitrógeno	0	0%
<b>TOTAL</b>	<b>8</b>	<b>100%</b>

*Fuente: Ocho talleres que respondieron que si conocen el proceso de corte por plasma.*

**GRAFICO # 9**





## Análisis

El 87.5% de los encuestados responde que el gas utilizado para el proceso de corte por plasma es el aire comprimido, y el 6.25% responde que se utiliza el Argón.

### 4.3 Evaluación económica del corte por plasma respecto del oxicorte y corte manual

Una vez realizado el análisis de las encuestas y obtenido que el corte más utilizado en el sector industrial de la ciudad de Loja es el oxicorte en acero al carbono con un espesor de 6.4mm, procedimos a realizar la evaluación económica de este tipo de corte con respecto de nuestra propuesta, el corte por plasma.

#### 4.3.1 Corte por plasma respecto al corte manual

##### *Corte por plasma*

Material: Plancha de acero inoxidable de 6.4 mm de espesor

Potencia Cortadora: 3 Kw.

Potencia Compresor: 3 Kw.

Velocidad de corte: 47.8 cm. /min.

Costo KWH: \$ 0.50 (Este valor varia de acuerdo a la industria)

Costo h/hombre: \$ 2.48 (maestro)

Longitud de corte: 100 cm

Tiempo de corte: 2.10 min.

Costos consumibles (boquilla y electrodo): \$17

## Resultados

COSTOS \$						TOTAL \$
M. Obra	Usa Cort.	Usa Comp.	Ener.Cort.	Ener. Comp.	Consumi.	
0,08	0,08	0,08	0,06	0,06	0,58	0,94

***Corte manual (Arco de sierra)***

Material: Plancha de acero inoxidable de 6.4 mm de espesor

Longitud de corte: 100 cm.

Velocidad de corte: 2.5 cm/min.

Tiempo de corte: 40 min.

Costo h/hombre: \$ 1.37 (oficial)

Costo hoja de sierra: \$ 1.35 incluye IVA

**Resultados**

COSTOS \$		TOTAL \$
M. Obra	2 sierras	
0,92	2,7	3,62

**4.3.2 Corte por plasma respecto al oxicorte*****Oxicorte***

Material: Plancha de acero al carbono de 6.4mm de espesor

Longitud de corte: 100 cm.

Velocidad de corte: 28.33 cm/min.

Costo Acetileno (6m3): \$ 117.9 (\$ 0.02 litro)

Costo Oxígeno (6m3): \$ 22.25 (\$ 0.0037 litro)

Costo h/hombre: \$ 2.48 (maestro)

Consumo oxígeno: 2 litros por cm<sup>2</sup> de corte

Consumo de acetileno: Relación 1: 6 con respecto al oxígeno

Tiempo de corte: 3,5 min.

**Resultados**

COSTOS \$				TOTAL \$
M. Obra	Uso maq.	Oxígeno	Acetileno	
0,14	0,14	0,47	0,42	1,17

### *Corte por plasma*

Material: Plancha de acero al carbono de 6.4 mm de espesor

Potencia Cortadora: 3 Kw.

Potencia Compresor: 3 Kw.

Velocidad de corte: 61 cm. /min.

Costo KWH: \$ 0.50 (Este valor varia de acuerdo a la industria)

Costo h/hombre: \$ 2.48 (maestro)

Longitud de corte: 100 cm.

Tiempo de corte: 1.63 min.

Costos consumibles (boquilla y electrodo): \$17

### **Resultados**

<b>COSTOS \$</b>						<b>TOTAL \$</b>
<b>M. Obra</b>	<b>Usa Cort.</b>	<b>Usa Comp.</b>	<b>Ener.Cort.</b>	<b>Ener. Comp.</b>	<b>Consumi.</b>	
0,067	0,067	0,067	0,040	0,040	0,44	0,72

#### **4.3.3 Comparación de los costos de corte**

<b>COMPARACION COSTOS DE CORTE</b>						
<b>T. Corte</b>	<b>Material</b>	<b>Espesor (mm)</b>	<b>Longitud (cm)</b>	<b>Velo. Corte (cm/min)</b>	<b>T. Corte (min)</b>	<b>Costo (\$)</b>
Manual	Inoxidable	6,4	100	2,5	40	3,62
Plasma	Inoxidable	6,4	100	47,8	2,1	0,94
Plasma	Acero carb.	6,4	100	61	1,63	0,72
Oxicorte	Acero carb.	6,4	100	28,33	3,5	1,17

#### **4.4 Verificación de objetivos**

Con todo lo expuesto en el desarrollo de la investigación hemos podido determinar que tanto el objetivo general que a continuación lo transcribimos y es como sigue: **Analizar y evaluar los procesos de corte de planchas de acero que se utilizan en el sector industrial de la ciudad de Loja.** Los objetivos específicos que transcritos son:

**Recopilar información sobre los procesos de corte de planchas de acero y su utilización en el sector industrial de la ciudad de Loja, Evaluar los procesos de corte de planchas de acero en el sector industrial de la ciudad de Loja, Elaborar guías didácticas para el desarrollo de practicas de corte con plasma para taller mecánico del AEIRNNR, en la carrera de Ing. Electromecánica.** Se han cumplido desde todo punto de vista y particularmente en la implementación de una cortadora de plasma para prácticas de corte para la unidad de soldadura, como propuesta alternativa para el currículo de la carrera de Ingeniería Electromecánica.

#### **4.5 Contrastación de hipótesis**

De acuerdo a la encuesta realizada que nos sirvió de herramienta para comprobar nuestras hipótesis que las transcribimos a continuación: **Aplicando debidamente los procesos de corte de planchas de acero en el sector industrial de Loja se logrará mejorar la calidad y productividad con ahorro de tiempo y dinero.** Se determinó que, si bien es cierto, al aplicar nuevas tecnologías de corte se logra mejorar la calidad y productividad de los trabajos con ahorro de tiempo y dinero; el uso de estas tecnologías nuevas no es muy rentable en el sector industrial de Loja ya que los trabajos que aquí se realizan no son a gran escala, para lo cual solamente se debe elegir el proceso de corte adecuado al trabajo a realizarse.

**Con una adecuada recopilación de la información sobre nuevas tecnologías y procesos de corte se obtendrá un mejor aprovechamiento en su utilización en el sector industrial.** En relación con esta hipótesis se pudo determinar que la gran mayoría de las personas encuestadas no conoce nuevas tecnologías, y entonces sí es necesario brindarles información sobre estos procesos para que ellos a su debido tiempo puedan implementarlos en sus talleres cuando la demanda así lo requiera.

**Con la adquisición de nuevas tecnologías en procesos de corte de planchas de acero en el sector industrial de la ciudad de Loja favorece el desarrollo productivo del mismo.** Todas las personas encuestadas saben que con la adquisición de nuevas tecnologías pueden ser más productivos; pero no las implementan debido al desconocimiento y/o a la falta de capital.

**Con la utilización del sistema de corte de planchas de acero con plasma se obtiene mayor productividad y calidad que con los procesos tradicionales.** Los encuestados que ya manejan este proceso de corte; que son pocos, han comprobado que si se logra mejorar la calidad y productividad debido a que es un proceso que permite cortar todo tipo de materiales, además es un proceso rápido, que deja un corte limpio con mucha precisión y es muy versátil.

**La elaboración de las guías permitirá un mejor desarrollo de las prácticas del proceso de corte de planchas de acero con plasma.** Es conocido que en el currículo de la carrera no consta en la unidad de soldadura, las prácticas de corte con plasma; entonces estas guías si permiten desarrollar las mismas con gran eficacia ya que además en el taller mecánico queda implementada una cortadora de plasma.

**CAPÍTULO V**

**PROPUESTA**

**ALTERNATIVA**

## **5 PROPUESTA ALTERNATIVA.**

Durante nuestra investigación logramos cumplir con nuestros objetivos y verificar nuestras hipótesis planteadas, razón por la cual decidimos hacer una propuesta alternativa para enriquecer el Currículo de la carrera de Ingeniería Electromecánica, en lo que a prácticas de corte de planchas de acero se refiere, mediante el uso de la cortadora de plasma; la mencionada cortadora queda implementando en el taller mecánico del AEIRNNR; así mismo se dejan las respectivas guías para el desarrollo de prácticas tanto para el docente como para el estudiante.

### **5.1 Implementación de la cortadora de plasma**

#### **5.1.1 Cortadora de plasma**

Es una máquina que para cortar utiliza el proceso plasma en el cual hay un arco abierto, muy parecido al proceso TIG, puede contraerse pasando a través de una pequeña boquilla, u orificio, desde el electrodo hasta la pieza de trabajo. El gas utilizado, típicamente aire comprimido, se combina con una corriente eléctrica para crear un arco por plasma de alta temperatura. Cuando se pone en contacto con un material eléctricamente conductivo, el arco pasa a través del metal, derritiendo una pequeña área. La fuerza del arco empuja el metal derretido a través de la pieza cortando el material. Fig. 27



**Fig. 27 Corte con la máquina de plasma**

### **5.1.2 Utilidad de la cortadora de plasma**

En vista que el proceso de plasma es capaz de cortar metales entre rangos desde un bajo calibre hasta 1”1/2” en acero inoxidable y acero al carbono. Puede ser utilizada en muchas aplicaciones, incluyendo corte por varias piezas al mismo tiempo, biselado, ranuración, y perforación. Estos procesos son utilizados en las industrias de la metalmecánica, mantenimiento, reparación automotriz, y artesanías en metales y esculturas.

### **5.1.3 Plasma un corte superior al oxicorte**

Mientras el oxicorte ha sido el método más común de cortar aceros al carbono en el pasado, el corte por plasma proporciona numerosas ventajas sobre el oxicorte. Corta más rápido; no requiere de pre-calentamiento; produce un pequeño y más preciso ancho de corte; y tiene una menor zona afectada por calor, la cual previene que el área a sus alrededores se distorsione o dañe la pintura. Adicionalmente, el proceso de plasma corta cualquier tipo de metal eléctricamente conductivo (el proceso de oxicorte no puede cortar ni acero inoxidable ni aluminio). El corte por plasma es más limpio, menos caro y un método más conveniente de corte de metal porque se utiliza aire limpio para la mayoría de las aplicaciones de corte por plasma.

## **5.2 Guías para el desarrollo de prácticas**





## PRÁCTICA N° 1

### 1. Nombre de la práctica

Conocimientos básicos del proceso de corte por plasma y el equipo de corte.

### 2. Objetivos

- Obtener los conocimientos básicos del proceso de corte por plasma, como son la producción del plasma, materiales a cortar, gases empleados, ventajas.
- Obtener el conocimiento básico de operación del equipo de corte por plasma y de las partes que lo conforman.

### 3. Procedimiento

- Mediante la ayuda bibliográfica investigue sobre todo lo concerniente al proceso de corte por plasma.
- Mediante la utilización del manual del usuario del equipo de corte conozca el equipo de corte por plasma.

#### 3.1 Materiales a utilizarse

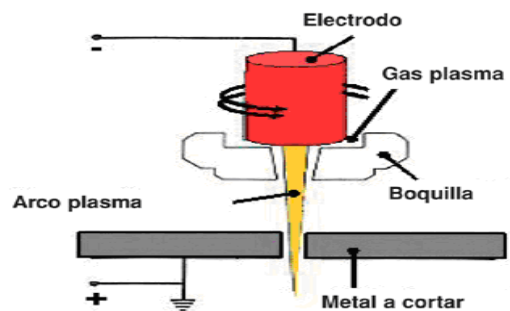
- Cortadora de plasma

### 4. Sistema categorial

- El plasma
- Tecnologías de corte con plasma
- Corte por plasma

- Clasificación de las tecnologías de corte por plasma
- Materiales a cortar
- Ventajas del corte por plasma
- La cortadora de plasma
- Descripción de equipo de corte por plasma
- Utilidad de la cortadora de plasma

## 5. Esquema



## 6. Preguntas de control

- ¿Cuál es el fundamento del corte por plasma?
- ¿Cuáles son los gases utilizados para el corte por plasma?
- ¿Que tipo de materiales se puede cortar con plasma?
- ¿Cuales son las ventajas del corte por plasma?
- ¿De que partes consta la maquina de corte con plasma?

## 7. Bibliografía

- [www.millerwels.com](http://www.millerwels.com)
- **BOOTHROYD, G.** "Fundamentos del corte de metales y de las Máquinas-Herramientas" Ed. McGraw-Hill.
- **GONZALEZ, J.** "El Control Numérico y la programación de las M.H.C.N".Ed. Urmo.
- **GROOVER, M.P./ZIMMERS, E.W.** CAD-CAM: "Computer Aided design and manufacturing".Ed. Prentice-Hall.
- **ROSSI, M.** "Máquinas-Herramientas modernas".Ed. Hoepli Científico-Médica.



## 1. Nombre de la práctica

## PRÁCTICA N° 2

Puesta a punto del equipo de corte por plasma para iniciar el proceso de corte.

## 2. Objetivos

- Conocer las especificaciones técnicas del equipo de corte.
- Conocer sobre el ciclo de trabajo de la cortadora.
- Aprender sobre como realizar la conexión de gas aire, de la grapa de tierra, la potencia de entrada.
- Obtener conocimientos sobre la secuencia de operación para realizar el corte.

## 3. Procedimiento

- Conectar la alimentación de aire al empalme de la parte posterior de la máquina.
- Conectar el cable de alimentación que se encuentra en la parte posterior hacia la línea de alimentación mediante el uso del enchufe industrial según sea el caso de 110 o 220 VCA.
- Encender la máquina mediante el interruptor que se encuentra en la parte posterior.
- Regular la presión de suministro de aire, en un rango que puede estar entre 90 y 110 PSI.
- Elegir la corriente de corte de acuerdo al espesor del material a cortar.
- Conectar la grapa de tierra en la pieza a cortar.
- Colocar la boquilla de corte sobre la pieza, levante la traba de gatillo, oprima el gatillo y la máquina se encuentra lista para empezar el corte.

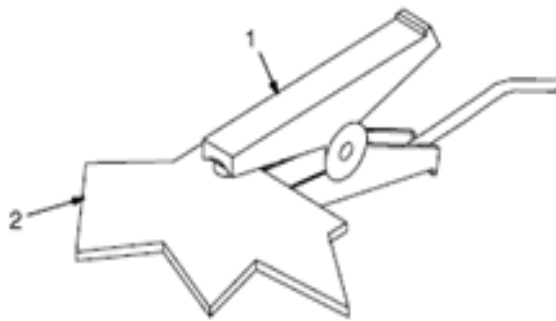
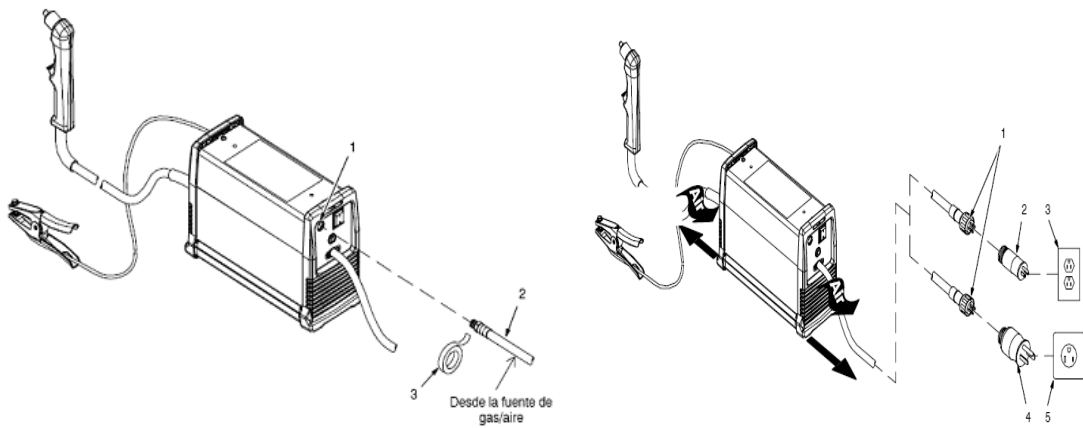
### 3.1 Materiales a utilizarse

- Máquina cortadora de plasma

#### 4. Sistema categorial

- Especificaciones técnicas
- Ciclo de trabajo y sobrecalentamiento
- Conectando la entrada de gas aire
- Conectando la grapa de tierra
- Conectando la potencia de entrada
- Controles de la cortadora
- Traba del gatillo
- Secuencia de operación
- Puesta en funcionamiento de la cortadora de plasma.

#### 5. Esquema



## **6. Preguntas de control**

- ¿Depende el tiempo de corte del espesor del material?
- ¿Cuáles son los pasos a seguir para poner a punto la cortadora de plasma?
- ¿Cuáles son los inconvenientes al usar aire comprimido que contenga humedad o presencia de aceite?
- ¿Indique cual es la secuencia de operación de corte?

## **7. Bibliografía**

- Manual de la cortadora de plasma
- [www.millerwelds.com](http://www.millerwelds.com)



## PRÁCTICA N° 3

### 1. Nombre de la práctica

Corte de planchas de distintos materiales con la cortadora de plasma.

### 2. Objetivos

- Aplicar los conocimientos adquiridos sobre la instalación y puesta en funcionamiento de la máquina cortadora de plasma.
- Poner a prueba durante el trabajo de corte las capacidades de la máquina cortadora en diferentes materiales.
- Aprender como se realiza la secuencia de corte y las técnicas utilizadas para obtener cortes de calidad.
- Obtener el entrenamiento necesario para realizar cortes de calidad, con la máxima productividad y bajos costos de operación en diferentes materiales

### 3. Procedimiento

- Siga las recomendaciones correspondientes durante la instalación y puesta en funcionamiento de la máquina cortadora.
- Vístase con ropa adecuada para evitar quemaduras y protección para los ojos.
- Limpie las superficies de los materiales a los cuales se les va a realizar el corte.
- Conecte la grapa de tierra a la pieza a cortar.
- Encienda la máquina cortadora.
- Verifique que las luces de señalización de problemas no se encuentren encendidas.
- Verifique que la presión de gas de suministro no sobrepase los 110 PSI.
- Ajuste el amperaje de corte necesario de acuerdo al espesor del material a cortar.

- Para obtener un corte recto y de calidad utilice una regla guía sujeta por dos prensas de mano.
- Ponga la boquilla sobre la pieza de trabajo para cortar arrastrando.
- Levante la traba del gatillo y oprima el gatillo para arrancar el arco piloto.
- Ajuste la velocidad de la antorcha de manera que las chispas pasen a través del metal.
- Al llegar al final del corte haga una pausa antes de soltar el gatillo, y el corte a llegado a su fin.

### **3.1 Materiales a utilizarse**

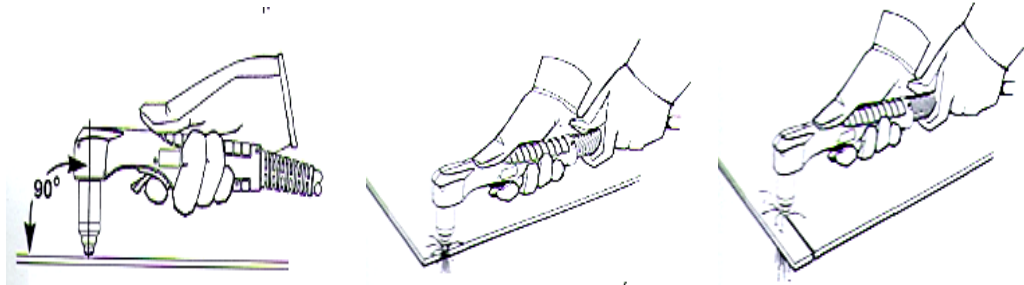
- Radial con la que se limpiara la zona donde se va a realizar el corte.
- Probetas de acero inoxidable, acero al carbono, aluminio de 100\*100mm. y de espesor 3mm.
- Barra guía con dos gatos para sujetar la pieza.
- Equipo de corte por plasma.
- El gas puede ser aire comprimido.
- Rayador.
- Regla metálica.
- Flexómetro.
- Equipo protector.
- Gafas oscuras.
- Lima de grano grueso.

### **4. Sistema categorial**

- Plasma por aire
- Plasma por oxígeno
- Plasma por nitrógeno
- Materiales a cortar
- Protección para los ojos
- Higiene y medio ambiente
- Instalación de los consumibles (boquilla y electrodo) en la antorcha
- Procedimiento de corte

- Técnica de corte con la antorcha de mano
- Consejos

## 6. Esquema



## 6. Preguntas de control

- ¿Cuáles son los factores determinantes para lograr cortes de calidad?
- ¿Cuál es el equipo de seguridad que el operador debe llevar para las operaciones de corte por plasma?
- Describa el procedimiento para realizar el corte por plasma
- ¿Qué materiales se pueden cortar con plasma?
- ¿Cómo se reconoce que es necesario el cambio de la boquilla y el electrodo?
- ¿Cuáles son los espesores máximos de corte.

## 7. Bibliografía

- Manual del usuario de la cortadora de plasma.
- [www.millerwelds.com](http://www.millerwelds.com)
- **BOOTHROYD, G.** Fundamentos del corte de metales y de las Máquinas-Herramientas. Ed. McGraw-Hill.
- Procesos y materiales de manufactura para ingenieros .Ed. Prentice-Hall.
- **JEFFERSON, T. B.** "Cutting Noise Pollution", Welding Engineer Magazine, Octubre de 1972.





## PRÁCTICA N° 4

### 1. Nombre de la práctica

Perforado y corte con la máquina de plasma en acero inoxidable.

### 2. Objetivos

- Aprender la técnica para hacer perforaciones en planchas y empezar el corte desde el interior.

### 3. Procedimiento

- Siga las recomendaciones correspondientes durante la instalación y puesta en funcionamiento de la máquina cortadora.
- Revise el manual del usuario de la máquina de plasma.

#### 3.1 Materiales a utilizarse

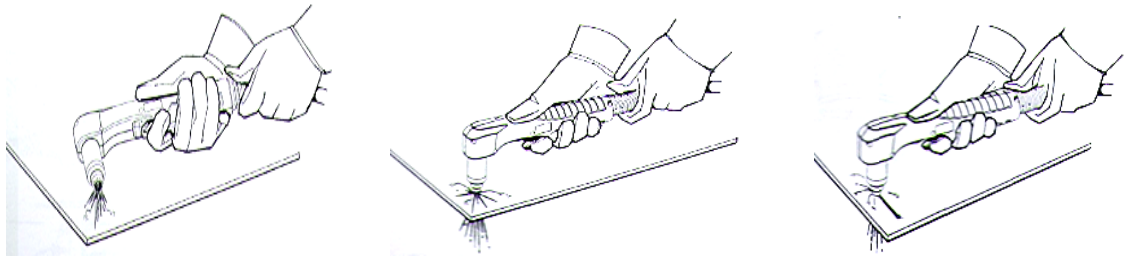
- Radial con la que se limpiara la zona donde se va a realizar el corte.
- Probeta de acero inoxidable de 100\*100mm. y 3mm de espesor.
- Barra guía con dos gatos para sujetar la pieza.
- Equipo de corte por plasma.
- El gas puede ser aire comprimido.
- Rayador.
- Regla metálica.
- Flexómetro.
- Equipo protector.
- Gafas oscuras.

- Lima de grano grueso.

#### 4. Sistema categorial

- Sujete la grapa de tierra
- Técnica de perforaciones
- Higiene y medio ambiente

#### 5. Esquema



#### 6. Preguntas de control

- ¿Cuáles son las normas de seguridad que se debe tener para instalar la cortadora de plasma?
- Describa el procedimiento a seguir para realizar perforaciones en planchas.
- ¿Dónde es aplicable la perforación con plasma?
- ¿Cuál es el parámetro a tener en cuenta para la selección del amperaje de trabajo adecuado para realizar el perforado y corte?

#### 7. Bibliografía

- Manual del usuario de la cortadora de plasma.
- [www.millerwelds.com](http://www.millerwelds.com)

- **BOOTHROYD, G.** Fundamentos del corte de metales y de las Máquinas-Herramientas. Ed. McGraw-Hill.
- Procesos y materiales de manufactura para ingenieros .Ed. Prentice-Hall.
- **JEFFERSON, T. B.** “Cutting Noise Pollution”, Welding Engineer Magazine, Octubre de 1972.



## PRÁCTICA N° 5

### 1. Nombre de la práctica

Aplicación de la técnica de ranurar en plancha de acero al carbono.

### 2. Objetivos

- Aprender la técnica para ranurar en plancha de acero al carbono.
- Aplicar los conocimientos adquiridos sobre la instalación y puesta en marcha de la cortadora de plasma.

### 3. Procedimiento

- Siga las recomendaciones correspondientes durante la instalación y puesta en funcionamiento de la máquina cortadora.
- Revise el manual del usuario de la máquina de plasma.

#### 3.1 Materiales a utilizarse

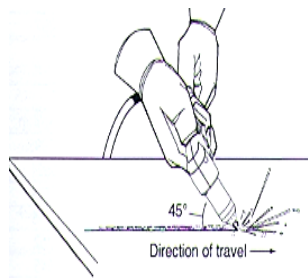
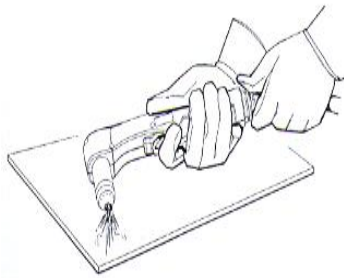
- Radial con la que se limpiara la zona donde se va a realizar el corte.
- Probetas de acero al carbono de 100\*100mm. y 6.4 mm de espesor.
- Barra guía con dos gatos para sujetar la pieza.
- Equipo de corte por plasma.
- El gas puede ser aire comprimido.
- Rayador.
- Regla metálica.

- Flexómetro.
- Equipo protector.
- Gafas oscuras.
- Lima de grano grueso.

#### 4. Sistema categorial

- Sujete la grapa de tierra
- Técnica de ranuración.
- Higiene y medio ambiente

#### 5. Esquema



#### 6. Preguntas de control

- Describa el procedimiento a seguir para realizar ranurados en planchas.
- ¿Dónde es aplicable la ranuración por plasma?
- ¿Cuál es el parámetro a tener en cuenta para la selección del amperaje de trabajo adecuado para aplicar la técnica de ranurado?

#### 7. Bibliografía

- Manual del usuario de la cortadora de plasma.
- [www.millerwelds.com](http://www.millerwelds.com)

- **BOOTHROYD, G.** Fundamentos del corte de metales y de las Máquinas-Herramientas. Ed. McGraw-Hill.
- Procesos y materiales de manufactura para ingenieros .Ed. Prentice-Hall.
- **JEFFERSON, T. B.** “Cutting Noise Pollution”, Welding Engineer Magazine, Octubre de 1972.

### 5.3 Currículo de la carrera

Es importante que durante la formación profesional en Ingeniería Electromecánica, el currículo de la carrera cuente con unidades y laboratorios en los que se puedan dictar clases teórico-prácticas en todas las áreas técnicas del saber; para que los estudiantes que de ahí egresan se puedan enfrentar al mundo laboral con los suficientes conocimientos prácticos.

Nuestra propuesta alternativa va encaminada a enriquecer el currículo de la carrera con la implementación de una cortadora de plasma; para que se dicte las clases teórico-prácticas sobre los procesos térmicos de corte de metales con énfasis en el corte por plasma. Este taller puede dictarse en un módulo de la carrera de Ingeniería Electromecánica en el que conste la Unidad de **Taller Mecánico I**; para esto se ha elaborado las correspondientes guías de practicas a realizarse durante el taller

#### 5.3.1 Duración de las prácticas

El tiempo de duración estimada con las clases teóricas y prácticas es de 3 días.

#### 5.3.2 Objetivos

Los objetivos que se pretenden alcanzar son los siguientes:

- Obtener los conocimientos básicos del proceso de corte por plasma, como son la producción del plasma, materiales a cortar, gases empleados, ventajas.
- Obtener el conocimiento básico de operación del equipo de corte por plasma y de las partes que lo conforman.
- Aplicar los conocimientos adquiridos sobre la instalación y puesta en marcha de la cortadora de plasma.
- Adquirir conocimientos básicos sobre seguridad industrial.
- Obtener conocimientos sobre la secuencia de operación para realizar el corte.
- Obtener el entrenamiento necesario para realizar cortes de calidad, con la máxima productividad y bajos costos de operación en diferentes materiales.
- Aprender la técnica para hacer perforaciones en planchas y empezar el corte desde el interior.

- Aprender la técnica para ranurar en planchas de distinto material.

### 5.3.3 Contenido

**EL CORTE TÉRMICO**, Tipos: Oxicorte, láser y corte con plasma, campos de aplicación, equipo de corte con plasma, preparación y regulación, gases empleados, normas de seguridad en el corte con plasma, corte en chapas de distintos espesores.

### 5.3.4 Actividades prácticas y de investigación

- **Práctica 1.** Conocimientos básicos del proceso de corte por plasma y el equipo de corte.
- **Práctica 2.** Puesta a punto del equipo de corte por plasma para iniciar el proceso de corte.
- **Práctica 3.** Corte de planchas de distintos materiales con la cortadora de plasma.
- **Práctica 4.** Perforado y corte con la máquina de plasma.
- **Práctica 5.** Aplicación de la técnica de ranurar en planchas de distinto material

### 5.3.5 Bibliografía

- **N. Maquienko.** Manual del Ajustador:
- **REINA GOMEZ, M.** “Soldadura de los aceros” Ed. El Autor (3ª edición).
- **SEFERIAN, D.** “Las Soldaduras” Ed. Urmo.
- **GERMAN HERNANDEZ RIESCO.** “Manual del Soldador” Ed. CESOL.
- **HERNÁNDEZ RIESCO, G.** Manual del soldador. Madrid: CESOL, 1997.
- **BOOTHROYD, G.** “Fundamentos del corte de metales y de las Máquinas-Herramientas” Ed. McGraw-Hill.
- **L.CARL LOVE.** “Soldadura procedimientos y aplicaciones”.
- Procesos y materiales de manufactura para ingenieros. Ed. Prentice-Hall.
- Manual del usuario de la cortadora de plasma.



- **JEFFERSON, T. B.** “Cutting Noise Pollution”, Welding Engineer Magazine, Octubre de 1972.

- [www.monografias.com](http://www.monografias.com)

- [www.millerwelds.com](http://www.millerwelds.com)

- [www.servilaserplus.com](http://www.servilaserplus.com)

#### **5.4 Validez, confiabilidad y seguridad del equipo**

- Con la aplicación de las prácticas a estudiantes del IV Módulo de la carrera de Ingeniería Electromecánica se ha demostrado que el equipo de corte implementado en el taller mecánico del AEIRNNR presta las facilidades para la ejecución de todas las prácticas de corte que se indican en las guías para el docente y estudiante respectivamente.
- La marca del equipo (MILLER Spectrum 375 X-TREME) implementado en el taller garantiza la tecnología de avanzada que permite obtener resultados confiables en la ejecución de cada una de las prácticas.
- Vale la pena indicar que para ejecutar cada una de las prácticas se debe tomar en cuenta todas las normas de seguridad industrial que para dichas operaciones de corte y de soldadura se requiere como son: adecuada ventilación, protección para los ojos, para el cuerpo etc.

#### **5.5 Evaluación medio ambiental**

Cada día se ha ido tomando más conciencia de los aspectos relativos a la higiene y el medio ambiente. Actualmente, por ley, es obligatoria la extracción y limpieza de los humos, estos son realmente tóxicos, pues contienen partículas de cromo y níquel que hay que extraer y limpiar.

Existe una normativa de higiene en cuanto a la extracción de los humos de plasma que regula su tratamiento, a estos se los debe filtrar; también existe una normativa de gestión de residuos que dicta lo que hay que hacer con las partículas que se recogen.

# **CONCLUSIONES**

## 6. CONCLUSIONES

- Dentro del sector industrial de la ciudad de Loja el proceso más utilizado es el oxicorte que representa el 62.5% de los encuestados comparado con el proceso de corte por plasma que es de 12.5%. Esta diferencia se debe a que el material más utilizado en los proyectos de construcción mecánica es el acero al carbono; el proceso es económico en cuanto a la adquisición del equipo, y los trabajos que se realizan no requieren mayores acabados.
- A pesar de que un 75% de los encuestados conoce el proceso de corte por plasma, solo un 12.5 % lo utiliza, el otro porcentaje afirma que este es muy costoso, y dentro de nuestro medio resulta innecesario debido a la baja demanda de trabajos realizados con materiales especiales tales como el acero inoxidable, cobre, aluminio, etc.
- Una vez realizada la evaluación económica del corte por plasma respecto del oxicorte y el corte manual logramos determinar que el costo del metro cortado por plasma es más económico que los anteriormente citados, pero eso si para implementar este proceso debemos tener en cuenta la inversión de cierto capital, que depende tanto de la marca, como potencia de la máquina.
- Después de realizadas las prácticas concluimos que el proceso de corte por plasma es un proceso de vanguardia tecnológica ya que tiene la ventaja de generar cortes de precisión, con excelente acabado en diferentes materiales y espesores, con altas velocidades de corte y lo mas importante a bajos costos. Por tal motivo se ha visto necesario implementar en el taller mecánico del AEIRNNR un equipo de éstas características.
- De la presente investigación, concluimos que; en el sector industrial de la ciudad de Loja, el proceso de corte de planchas de acero más adecuado, es aquel que cumple con los requerimientos de los trabajos que; en uno u otro taller se realizan, tales como: tipo de material, espesor, velocidad, acabado, precisión, **zona afectada térmicamente**, complejidad de la pieza y economía.

# **RECOMENDACIONES**

## **7. RECOMENDACIONES**

- En vista de los grandes adelantos tecnológicos en lo que a corte de planchas se refiere, se recomienda a las futuras generaciones de estudiantes del AEIRNNR que continúen con la investigación y la implementación de estas tecnologías en el taller mecánico de la UNL para que los alumnos que ahí se forman tengan no solo conocimientos teóricos sino también prácticos.
- Recomendamos que la UNL como institución educativa, se abandere en la formación y capacitación del sector metal-mecánico de la ciudad de Loja; así como también en la difusión de las modernas tecnologías, como el proceso de corte por plasma, que tiene muchas ventajas tales como: zona pequeña afectada térmicamente, virtualmente sin escoria, corta diferentes materiales, velocidades de corte rápidas en diferentes espesores, tiempo rápido de perforación, precisión y acabado excelente.
- Se recomienda que la cortadora de plasma sea utilizado exclusivamente para las clases prácticas de los estudiantes, y no como equipo de producción en el taller mecánico, ya que si bien es cierto tiene una capacidad de corte nominal de 3/8" de espesor es recomendable que como clases prácticas se utilicen espesores inferiores a 1/4" para así alargar la vida de los consumibles y lograr aumentar el número de practicas.
- El equipo de corte con plasma para su funcionamiento óptimo requiere de presión de aire constante y seco, para lo cual se recomienda el uso de un compresor que suministre 129 l/min. a una presión de 7 bar., y en lo posible un secador de aire para evitar el desgaste prematuro de los electrodos y boquillas.
- El área donde se ubique el equipo de corte debe ser ventilada y procurar la extracción forzada de los humos que pueden ser nocivos para la salud.
- El área donde se ubique el equipo de corte debe estar libre de sustancias combustibles peligrosas, ya que pueden ser causa de incendio debido a la expulsión de chispas al momento de corte.
- Siempre en el lugar de trabajo ubique un equipo extintor contra incendios y tenga en cuenta la caducidad del mismo.

# **BIBLIOGRAFIA**

## **8. BIBLIOGRAFIA**

- **HERNÁNDEZ RIESCO, G.** Manual del soldador. Madrid: CESOL, 1997.
- **REINA GOMEZ, M.** “Soldadura de los aceros” Ed. El Autor (3ª edición).
- **SEFERIAN, D.** “Las Soldaduras” Ed. Urmo.
- **GERMAN HERNANDEZ RIESCO.** “Manual del Soldador” Ed. CESOL.
- **BOOTHROYD, G.** “Fundamentos del corte de metales y de las Máquinas-Herramientas” Ed. McGraw-Hill.
- **GONZALEZ, J.** “El Control Numérico y la programación de las M.H.C.N”.Ed. Urmo.
- **GROOVER, M.P./ZIMMERS, E.W.**CAD-CAM: “Computer Aided design and manufacturing”.Ed. Prentice-Hall.
- **ROSSI, M.** “Máquinas-Herramientas modernas”.Ed. Hoepli Científico-Médica.
- **MOMBER A. AND KOVACEVIC R.** “Principles of Water jet Machining” Springer-Verlang, Berlin 1998.
- **L.CARL LOVE.** “Soldadura procedimientos y aplicaciones”.
- **ROSSI, B. E.,** “Welding Engineering”. New York. Ed. McGraw-Hill Book.
- **JEFFERSON, T. B.** “Cutting Noise Pollution”, Welding Engineer Magazine, Octubre de 1972.
- **GRANJON, H.** Bases Metalúrgicas de la Soldadura. Paris: Publications de la Soudure Autogéne, 1989.
- **REINA GOMEZ, M.** Soldadura de los Aceros. Madrid: Cesol, 1993.
- **SEFERIAN.** Soldadura por arco eléctrico
- **SEFERIAN.** Soldadura oxiacetilénica.

- [www.servilaserplus.com](http://www.servilaserplus.com)
- USA. [www.engr.smu.edu/rcam/research/waterjet](http://www.engr.smu.edu/rcam/research/waterjet)
- USA. [www.flow.com](http://www.flow.com). Flow International Corporation.
- Welding Handbook. Volumen five.
- Soldaduras, uniones y calderería. Mecánica de taller. Editorial José M. López.
- Manual de soldadura. Electromanufacturas S.A.
- Catálogos comerciales de soldaduras.
- PROCESOS Y MATERIALES DE MANUFACTURA PARA INGENIEROS. Ed. Prentice- Hall.
- [www.millerwelds.com](http://www.millerwelds.com)



# ANEXOS

## ANEXOS

### **CUESTIONARIO PARA ENTREVISTA**

1. ¿Cuáles cree UD. que son los procesos de corte para planchas de acero mas utilizados en la ciudad de Loja?
2. ¿Cuáles son las ventajas y desventajas del proceso de oxicorte?
3. ¿Cuáles son los aspectos que le incomodan cuando utiliza el oxicorte u otro proceso?
4. ¿Cuáles son los gases mas utilizados en Loja para el proceso de oxicorte?
5. ¿De que depende la utilización de uno u otro proceso de corte para planchas de acero?
6. ¿Cuáles cree UD. que son los factores que limitan la implementación de nuevos procesos de corte para planchas de acero en la ciudad de Loja?
7. ¿Conoce nuevos procesos de corte para planchas de acero que se estén implementando en la ciudad de Loja?
8. ¿Conoce sobre el proceso de corte por plasma?
9. ¿Cuáles son las ventajas y desventajas que le proporciona el corte por plasma?
10. ¿Qué gases son los más utilizados para el proceso de corte por plasma?

## FORMATO DE LA ENCUESTA

### UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

#### AREA DE LA ENERGIA, INDUSTRIAS Y RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES.

#### CARRERA DE INGENIERIA ELECTROMECHANICA.

DIRIGIDO A: PROPIETARIOS DE TALLERES METALMECANICOS DE LA CIUDAD DE LOJA.

La presente encuesta tiene como finalidad obtener información respecto al tema: **“ANALISIS Y EVALUACION DE LOS PROCESOS DE CORTE PARA PLANCHAS DE ACERO EN LA CIUDAD DE LOJA, CASO PRACTICO PROCESOS DE CORTE POR PLASMA”** Su valiosa información es muy importante, ya que con ella podremos concretar nuestro objeto de estudio.

1) Para cortar planchas de acero. Marque con una (x) el proceso de corte que más utiliza en su taller.

- a.** Oxicorte ( ) **b.** Cizalla ( ) **c.** Sierra ( ) **d.** Plasma ( ) **e.** Disco abrasivo ( )  
**f.** Soldadora eléctrica ( ) **g.** Tijera de tool ( )

2) De los materiales descritos abajo marque con una (x) el material de las planchas que más utiliza en la construcción de sus proyectos.

- a.** Acero Negro ( ) **b.** Acero Inoxidable ( ) **c.** Aluminio ( ) **d.** Acero Galvanizado ( )

3) De los espesores de plancha descritos abajo, marque con una (x) los que Ud. más utiliza en el taller.

- a.** 1/32” ( ) **b.** 1/16” ( ) **c.** 1/8” ( ) **d.** 5/32” ( ) **e.** 3/16” ( ) **f.** 7/32” ( ) **g.** 1/4” ( )  
**h.** 5/16” ( ) **i.** 3/8” ( ) **j.** 1/2” ( ) **k.** 3/4” ( ) **l.** 1” ( ) **Otro (s)**.....

4) A más de los procesos tradicionales de corte (**sierra, cizalla, disco abrasivo, oxicorte, soldadura eléctrica**) para planchas de acero. Qué otros procesos conoce sin importar que los tenga o no en su taller.

.....  
.....  
5) Del proceso de oxiacorte u otro, ¿Le molesta algún aspecto para realizar dicha operación?

SI ( ) NO ( )

Si la respuesta es afirmativa indique los aspectos que le incomodan.....  
.....

6) Marque con una (x) los factores que Ud. cree, influyen en la no implementación de nuevos procesos de corte de planchas de acero en la ciudad de Loja.

a. Desconocimiento ( ) b. Factor económico ( ) c. Es innecesario ( )

Otro (s).....

7) ¿Le gustaría implementar un nuevo proceso de corte para planchas de acero en su taller, que le proporcione mejores acabados, rapidez de corte y, que además le permita cortar todo tipo de material?

Si ( ) No ( )

8) ¿Conoce sobre el proceso de corte por plasma?

Si ( ) No ( )

Si la respuesta a la pregunta es afirmativa, anote las ventajas y desventajas del proceso de corte con plasma.

**Ventajas**.....  
.....  
.....

**Desventajas**.....  
.....  
.....

9) Marque con una (x) los gases que se utiliza para el proceso de corte con plasma.

a. Aire comprimido ( ) b. Argón ( ) c. Hidrógeno ( ) d. Nitrógeno ( )

## PRECAUCIONES DE SEGURIDAD PARA EL CORTE CON PLASMA

- Apaga la inversora, desconecta la potencia de entrada y descarga los capacitadores de entrada de acuerdo con las instrucciones en la sección de Mantenimiento antes de tocar cualquier parte.



### UNA DESCARGA ELÉCTRICA le puede matar.

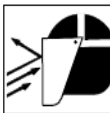
**UN VOLTAJE CD SIGNIFICANTE existe en las fuentes inversoras de poder DESPUÉS DE que se las haya separado de la potencia de entrada.**

- Apague la unidad, desconéctela de la potencia de entrada, verifique el voltaje en los condensadores de entrada, y asegúrese que estén cerca de cero (0) voltios antes de tocar cualquier parte. Chequee los condensadores de acuerdo a las instrucciones en la Sección de Mantenimiento del manual del operador o el manual técnico antes de tocar cualquier pieza interna.



### PIEZAS QUE ESTALLEN pueden lesionarle

En las fuentes inversoras de poder, las piezas que han fallado pueden estallar, o causar que otras piezas estallen cuando se las conecta a la potencia eléctrica. Siempre use una máscara o protección para la cara, y mangas largas cuando esté dando servicio a máquinas inversoras.



### CHISPAS QUE VUELAN pueden causar lesiones.

El arco de cortadura dispara chispas y metal caliente. El picar o esmerilar puede causar que el metal vuele.

- Use resguardo para la cara y anteojos de seguridad con resguardos laterales.
- Use la protección del cuerpo necesaria para proteger su piel.
- Use tapones para los oídos y orejas que sean resistentes a las llamas para evitar que chispas entren en sus oídos.



### LOS RAYOS DEL ARCO pueden quemar sus ojos y piel.

Los rayos del arco del proceso de cortadura producen rayos intensos visibles e invisibles (ultravioleta y ultrarojos) que pueden quemar los ojos y la piel.

- Use protección para la cara (yelmo o careta) con lentes filtros aprobada del color correcto para proteger sus ojos y su cara cuando esté cortando o mirando. El código ANSI Z49.1 (véase Estándares de Seguridad), recomiendan filtro No. 9 (con el No. 8 como mínimo) para las corrientes de cortadura de menos de 300 amperios. El código Z49.1 añade que pueden usarse filtros más livianos cuando el arco está escondido detrás de la pieza de trabajo. Como éste es normalmente el caso cuando se corta con corriente baja, los números de filtro sugeridos en la tabla 1 se dan para la conveniencia del operador.
- Use anteojos de seguridad con protección lateral debajo de su careta o yelmo.
- Use pantallas de protección o barreras para proteger a otros del destello del arco y reflejos de luz y chispas; siempre alerte a otros que no miren el arco.
- Use ropa protectora hecha de un material durable y resistente a la llama (cuero, algodón grueso, o lana) y protección a los pies.

**Tabla 1. Protección para los Ojos para el Arco de Plasma**

Nivel de la Corriente en Amperios	Número de Filtro Mínimo
Menos de 20	#4
20 – 40	#5
40 – 60	#6
60 – 80	#8



### EL RUIDO puede dañar su oído.

El ruido prolongado de algunas aplicaciones en cortadura puede dañar el oído si los niveles exceden los límites especificados por OSHA (véase los Estándares de Seguridad).

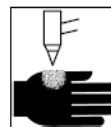
- Use protección para el oído o ensordecedores, si el nivel de ruido es muy alto.
- Advierta a otras personas acerca de el peligro del ruido.



### HUMO y GASES pueden ser peligrosos

El cortar produce humos y gases. Respirando estos humos y gases pueden ser peligrosos a su salud.

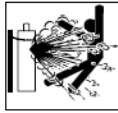
- Mantenga su cabeza fuera del humo. No respire el humo.
- Si estuviera adentro, ventile el área y/o use un ventilador de extracción cerca del arco para quitar los gases y humos del corte.
- Si la ventilación es mala, use un respirador de aire aprobado.
- Lea las Hojas de Datos de Seguridad de Materiales (MSDSs) y las instrucciones del fabricante acerca de los metales que pueden ser cortados, los recubrimientos, y los químicos de limpieza.
- Trabaje en un lugar estrecho y cerrado solamente si estuviere bien ventilado, o mientras esté usando un respirador de aire. Los humos y vapores pueden desplazar el oxígeno y alterar la calidad del aire lo cual puede causar lesiones o muerte. Asegúrese que el aire de respirar esté seguro.
- No corte en lugares cerca a operaciones de quitar grasa, limpieza, o de rocío. El calor y rayos del arco pueden reaccionar con estos humos y causar gases altamente tóxicos e irritantes.
- No corte en materiales con recubrimiento como acero galvanizado, plomo o acero plateado con cádmio a no ser que se haya quitado el recubrimiento del área de cortar, el área esté bien ventilada y mientras esté usando un respirador para aire. Los recubrimientos de cualquier metal que contiene estos elementos pueden emitir humos tóxicos cuando se los corta.
- No corte recipientes que tengan materiales tóxicos o reactivos adentro, o recipientes que hayan tenido materiales tóxicos o reactivos. Hay que vaciarlos y limpiarlos apropiadamente primero.



### El Arco de Plasma puede causar lesiones.

El calor del arco de plasma puede causar quemaduras graves. La fuerza del arco añade enormemente al riesgo de la quemadura. El arco, intensamente caliente y poderoso, puede rápidamente cortar a través de los guantes y tejido corporal.

- Mantenga sus manos lejos de la punta del antorcha.
- No agarre ningún objeto cerca del camino de cortar.
- El arco piloto puede causar quemaduras – manténgase lejos de la punta del antorcha cuando haya presionado el gatillo.
- Use ropa que resiste o retarda las llamas cubriendo cualquier parte expuesta del cuerpo.
- Apunte la antorcha lejos de su cuerpo y hacia la pieza del trabajo cuando presione el gatillo – el arco piloto se prende inmediatamente.
- Apague la fuente de poder y desconecte la potencia de entrada antes de desarmar o cambiar la antorcha o sus partes.
- Use solamente antorchas especificadas en el Manual del Operador.



### LOS CILINDROS pueden estallar si están dañados.

Los cilindros de gas contienen gas bajo alta presión. Si estuvieran dañados, un cilindro puede estallar. Como los cilindros de gas son una parte del proceso para trabajar con metales, trátelos con cuidado.

- Proteja cilindros de gas comprimido del calor excesivo, golpes mecánicos, daño físico, escoria, llamas, llamas, chispas y arcos.
- Instale y asegure los cilindros en una posición vertical encadenándolos a algún sostén estacionario o un sostén-cilindros para evitar que se caigan o se volteen.
- Tenga los cilindros lejos del área donde esté cortando o donde haya circuitos eléctricos.
- Nunca permita que haya contacto eléctrico entre la antorcha de plasma y el cilindro.

- Nunca permita que un electrodo de soldadura toque ningún cilindro.
- Nunca corte en un cilindro presionado – puede estallar.
- Use los cilindros de gas, reguladores, mangueras y acoples correctos, diseñados para una aplicación específica; mantenga estos cilindros y sus partes en buena condición.
- Siempre mantenga su cara lejos de la salida de una válvula cuando esté operando la válvula de cilindro.
- Mantenga la tapa protectora en su lugar sobre la válvula excepto cuando el cilindro está en uso o conectado para ser usado.
- Use el equipo correcto, procedimientos correctos, y suficiente número de personas para levantar y mover los cilindros.
- Lea y siga las instrucciones de los cilindros de gas comprimido, equipo asociado y la publicación de la Asociación de Gas Comprimido (CGA) P-1 que están enlistados en los Estándares de Seguridad.

## 1-3. Símbolos adicionales para instalación, operación y mantenimiento



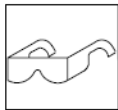
### PARTES CALIENTES pueden causar quemaduras severas.

- No toque a partes calientes sin guantes.
- Permita que haya un período de enfriamiento antes de trabajar en la antorcha.
- Para manejar partes calientes, use herramientas apropiadas y/o póngase guantes pesados, con aislamiento para solar y ropa para prevenir quemaduras.



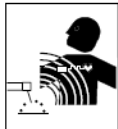
### PARTES QUE SE MUEVEN pueden causarle heridas.

- Manténgase lejos de todas partes que se mueve como ventiladores.
- Mantenga todas las puertas, paneles, cubiertas y guardas cerradas y en su lugar.
- Consiga que sólo personas calificadas quiten puertas, paneles, tapas, o resguardos para dar mantenimiento como fuera necesario.
- Reinstale puertas, tapas, o resguardos cuando se acabe de dar mantenimiento y antes de reconectar la potencia de entrada.



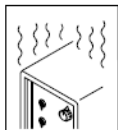
### PEDAZOS DE METAL puede dañar a los ojos.

- Use lentes de seguridad con protección lateral o protección total de la cara.



### CAMPOS MAGNETICOS puede afectar a marcadores de paso.

- Las personas que usan Marcadores de Paso deben mantenerse lejos.
- Las personas que usan marcadores de paso deben de consultar a su doctor antes de acercarse a operaciones de cortadura de plasma.



### SOBREUSO puede causar SOBRECALENTAMIENTO DEL EQUIPO

- Permite un período de enfriamiento; siga el ciclo de trabajo nominal.
- Reduzca el amperaje (el grosor) o reduzca el ciclo de trabajo antes de comenzar a cortar otra vez.



### Peligro de HIDROGENO QUE ESTALLA.

- Cuando se corte aluminio debajo del agua o con el agua tocando en la parte de abajo del aluminio, el gas hidrógeno puede acumularse debajo de la pieza de trabajo.
- Vea a su ingeniero de cortadura y las instrucciones sobre la mesa de agua para mayor ayuda.



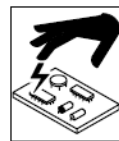
### EQUIPO CAYENDO puede causar heridas.

- Use solamente al ojo de levantar para levantar la unidad, NO al tren de rodaje, cilindros de gas, ni otros accesorios.
- Use equipo de capacidad adecuada para levantar la unidad.
- Si use un carro montecargas para mover la unidad, asegure que los dedos son bastante largas para extender más allá al lado opuesto de la unidad.



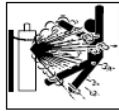
### Peligro de FUEGO O EXPLOSION

- No ponga la unidad encima de, sobre o cerca de superficies combustibles.
- No instale la unidad cerca a objetos flamables.
- No sobrecarga a los alambres de su edificio – asegure que su sistema de abastecimiento de potencia es adecuado en tamaño capacidad y protegido para cumplir con las necesidades de esta unidad.



### ELECTRICIDAD ESTATICA puede dañar a las tarjetas impresas de circuito.

- Ponga los tirantes aterrizados de muñeca ANTES de tocar los tableros o partes.
- Use bolsas y cajas adecuadas anti-estáticas para almacenar, mover o enviar tarjetas impresas de circuito.



### LOS CILINDROS pueden estallar si están dañados.

Los cilindros de gas contienen gas bajo alta presión. Si estuvieran dañados, un cilindro puede estallar. Como los cilindros de gas son una parte del proceso para trabajar con metales, trátelos con cuidado.

- Proteja cilindros de gas comprimido del calor excesivo, golpes mecánicos, daño físico, escoria, llamas, llamas, chispas y arcos.
- Instale y asegure los cilindros en una posición vertical encadenándolos a algún sostén estacionario o un sostén-cilindros para evitar que se caigan o se volteen.
- Tenga los cilindros lejos del área donde esté cortando o donde haya circuitos eléctricos.
- Nunca permita que haya contacto eléctrico entre la antorcha de plasma y el cilindro.

- Nunca permita que un electrodo de soldadura toque ningún cilindro.
- Nunca corte en un cilindro presionado – puede estallar.
- Use los cilindros de gas, reguladores, mangueras y acoples correctos, diseñados para una aplicación específica; mantenga estos cilindros y sus partes en buena condición.
- Siempre mantenga su cara lejos de la salida de una válvula cuando esté operando la válvula de cilindro.
- Mantenga la tapa protectora en su lugar sobre la válvula exoepto cuando el cilindro está en uso o conectado para ser usado.
- Use el equipo correcto, procedimientos correctos, y suficiente número de personas para levantar y mover los cilindros.
- Lea y siga las instrucciones de los cilindros de gas comprimido, equipo asociado y la publicación de la Asociación de Gas Comprimido (CGA) P<sub>1</sub> que están enlistados en los Estándares de Seguridad.

## 1-3. Símbolos adicionales para instalación, operación y mantenimiento



### PARTES CALIENTES pueden causar quemaduras severas.

- No toque a partes calientes sin guantes.
- Permita que haya un período de enfriamiento antes de trabajar en la antorcha.
- Para manejar partes calientes, use herramientas apropiadas y/o póngase guantes pesados, con aislamiento para solar y ropa para prevenir quemaduras.



### Peligro de HIDROGENO QUE ESTALLA.

- Cuando se corte aluminio debajo del agua o con el agua tocando en la parte de abajo del aluminio, el gas hidrógeno puede acumularse debajo de la pieza de trabajo.
- Vea a su ingeniero de cortadura y las instrucciones sobre la mesa de agua para mayor ayuda.



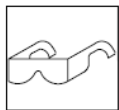
### PARTES QUE SE MUEVEN pueden causar heridas.

- Manténgase lejos de todas partes que se mueve como ventiladores.
- Mantenga todas las puertas, paneles, cubiertas y guardas cerradas y en su lugar.
- Consiga que sólo personas calificadas quiten puertas, paneles, tapas, o resguardos para dar mantenimiento como fuera necesario.
- Reinstale puertas, tapas, o resguardos cuando se acabe de dar mantenimiento y antes de reconectar la potencia de entrada.



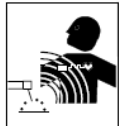
### EQUIPO CAYENDO puede causar heridas.

- Use solamente al ojo de levantar para levantar la unidad, NO al tren de rodaje, cilindros de gas, ni otros accesorios.
- Use equipo de capacidad adecuada para levantar la unidad.
- Si use un carro montecargas para mover la unidad, asegure que los dedos son bastante largas para extender más allá al lado opuesto de la unidad.



### PEDAZOS DE METAL puede dañar a los ojos.

- Use lentes de seguridad con protección lateral o protección total de la cara.



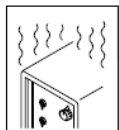
### CAMPOS MAGNETICOS puede afectar a marcadores de paso.

- Las personas que usan Marcadores de Paso deben mantenerse lejos.
- Las personas que usan marcadores de paso deben de consultar a su doctor antes de acercarse a operaciones de cortadura de plasma.



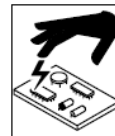
### Peligro de FUEGO O EXPLOSION

- No ponga la unidad encima de, sobre o cerca de superficies combustibles.
- No instale la unidad cerca a objetos inflamables.
- No sobrecarga a los alambres de su edificio – asegure que su sistema de abastecimiento de potencia es adecuado en tamaño capacidad y protegido para cumplir con las necesidades de esta unidad.



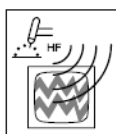
### SOBREUSO puede causar SOBRECALENTAMIENTO DEL EQUIPO

- Permite un periodo de enfriamiento; siga el ciclo de trabajo nominal.
- Reduzca el amperaje (el grosor) o reduzca el ciclo de trabajo antes de comenzar a cortar otra vez.



### ELECTRICIDAD ESTATICA puede dañar a las tarjetas impresas de circuito.

- Ponga los tirantes aterrizados de muñeca ANTES de tocar los tableros o partes.
- Use bolsas y cajas adecuadas anti-estáticas para almacenar, mover o enviar tarjetas impresas de circuito.



### RADIACION de ALTA FRECUENCIA puede causar interferencia.

- Radiación de alta frecuencia puede interferir con navegación de radio, servicios de seguridad, computadores, y equipos de comunicación.
- Asegure que solamente personas calificadas, familiarizadas con equipos electrónicos instala el equipo.
- El usuario es responsable por tener un electricista calificada corregir cualquiera interferencia causada resultando de la instalación.
- Si la FCC (Comisión Federal de Comunicación) le notifique que hay interferencia, deja de usar el equipo al inmediato.
- Asegure que la instalación recibe chequeo y mantenimiento regular.
- Mantenga las puertas y paneles de una fuente de alta frecuencia cerradas completamente, mantenga la distancia de la chispa en los platinos en su fijación correcta y use el aterrizaje o el blindar contra corriente para minimizar la posibilidad de interferencia.



### CORTADURA por medio de ARCO puede causar interferencia.

- La energía electromagnética puede interferir con equipo electrónico sensible como computadoras, o equipos impulsados por computadoras, como robots.
- Para reducir posible interferencia, mantenga los cables de soldadura lo más cortos posible, lo más juntos posible o en el suelo, si fuere posible.
- Ubique la operación de cortar por lo menos a 100 metros de distancia de cualquier equipo electrónico sensible.
- Asegúrese que esta fuente de poder de cortadura se ha instalado y aterrizado de acuerdo a este manual.
- Si todavía ocurre interferencia, el operador tiene que tomar medidas extras como el de mover la máquina de soldar, usar cables blindados, usar filtros de línea o blindar de una manera u otra la área de trabajo.

## 1-4. CALIFORNIA Proposición 65 Advertencia

- ▲ **Este producto cuando se usa para soldar o cortar, produce humo o gases que contienen químicos conocidos en el estado de California por causar defectos al feto y en algunos casos, cáncer.** (Sección de Seguridad del Código de Salud en California No. 25249.5 y lo que sigue)
- ▲ **Los postes de la batería, los terminales y los accesorios relacionados contienen plomo y compuestos de plomo que son químicos, conocidos por el estado de California, como capaces de causar cáncer, defectos de nacimiento y otros daños al sistema reproductor. Lávese las manos después de manipularlos.**

### Para un motor de gasóleo:

- ▲ **Los gases del escape de un motor de gasóleo contienen químicos, conocidos por el estado de California, como capaces de causar cáncer, defectos de nacimiento y otros daños al sistema reproductor.**

### Para un motor de diesel:

- ▲ **El humo que despiden un motor de gasoil y alguno de sus constituyentes se reconocen en el estado de California que pueden causar cáncer, defectos al feto, y otros daños al sistema reproductor.**

## 1-5. Estándares principales de seguridad

*Seguridad en Soldar, Cortar y Procesos Asociados*, estándar ANSI Z49-1, de los Documentos de Ingeniería Global (teléfono 1-877-413-5184, red mundial: [www.global.ihs.com](http://www.global.ihs.com)).

*Prácticas Recomendadas para Cortar por Plasma*, American Welding Society Standard AWS C5.2, de los Documentos de Ingeniería Global (teléfono: 1-877-413-5184, red mundial: [www.global.ihs.com](http://www.global.ihs.com)).

*Prácticas seguras recomendadas para la preparación de soldar y cortar en recipientes que contengan sustancias peligrosas*, American Welding Society Standard AWS F4.1, de los Documentos de Ingeniería Global (teléfono: 1-877-413-5184, red mundial: [www.global.ihs.com](http://www.global.ihs.com)).

*Código Nacional Eléctrico, NFPA estándar 70*, de la Asociación Nacional de Protección de Fuego, Batterymarch Park, Quincy, Ma 02269.

*El manejo seguro de gases comprimidos en cilindros*, pampheto CGA P-1, de la Compressed Gas Association, 1235 Jefferson Davis Highway, Suite 501, Arlington, VA 22202.

*Código para seguridad en cortar y soldar, estándar CSA W117.2*, de la

Canadian Standards Association, ventas estándares, 178 Rexdale Boulevard, Rexdale, Ontario, Canada M9W 1R3.

*Práctica segura para la protección de ojos y cara en ocupación y educación*, estándar ANSI Z87.1 del Instituto Americano Nacional de Estándar, 1430 Broadway, New York, NY 10018.

*Procesos de cortar y soldar*, estándar NFPA 51B de la Asociación de Protección del Fuego, Batterymarch Park, Quincy, MA 02269.

*El Estándar para Prevención de Fuegos durante la soldadura, corte, y otros trabajos calientes*, estándar NFPA 51B de la Asociación de Protección del Fuego, P.O. Box 9101, 1 Battery March Park, Quincy, MA 02269-9101 (teléfono: 617-770-3000, red mundial: [www.nfpa.org](http://www.nfpa.org)).

Estándares de seguridad y salud, Estándares para la industria en General de OSHA 29 CFR 1910, Subpart Q, y Part 1926, Subpart J, del U.S. Government Printing Office, Superintendent of Documents, P.O. Box 371954, Pittsburgh, PA 15250 (existe 10 oficinas regionales—Teléfono para región 5, Chicago, is 312-353-2220, website: [www.osha.gov](http://www.osha.gov)).

## 1-6. Información del EMF

Consideración acerca de Soldadura y los Efectos de Campos Eléctricos y Magnéticos de Baja Frecuencia

La corriente de soldadura o de cortadura cuando fluye por los cables de soldadura o de cortadura causará campos electromagnéticos. Ha habido una preocupación acerca de estos campos. Sin embargo, después de examinar más de 500 estudios sobre el transcurso de 17 años, un comité especial del National Research Council concluyó que:

“La evidencia, en el juicio del comité, no ha demostrado que la exposición a campos de frecuencia de potencia eléctrica y magnéticos es un peligro para la salud humana”. Sin embargo, todavía hay estudios que están haciéndose y la evidencia continua siendo examinada. Hasta que se lleguen a hacer las conclusiones finales de esta investigación, usted debería preferir minimizar su exposición a los campos electromagnéticos cuando esté soldando o cortando.

Para reducir los campos magnéticos en el área de trabajo, úsese los siguientes procedimientos:

1. Mantenga los cables lo más juntos posible, trenzándolos o pegándolos con cinta pegajosa.
2. Ponga los cables a un lado y apartado del operador.
3. No envuelva o cuelgue cables sobre su cuerpo.
4. Mantenga las fuentes de poder de soldadura y los cables lo más lejos que sea práctico.
5. Conecte la grampa de tierra en la pieza que esté trabajando lo más cerca posible de la suelda.

### Acerca de Marcadores de Paso:

Personas que usan marcadores de paso consulten a su doctor antes de soldar/cortar o de acercarse a operaciones de soldadura/cortadora. Si su doctor lo permite, entonces siga los procedimientos de arriba.



# ¿Por qué Plasma?

Plasma proporciona la mezcla óptima de calidad de corte, productividad y costo de operación

## COMPARACIÓN DE PLASMA, OXICORTE Y LÁSER

	<i>OXICORTE</i>	<i>PLASMA</i>	<i>LÁSER</i>
<b>Calidad de corte</b>	<p>Buena angularidad</p> <p>Una zona grande afectada por el calor</p> <p>Niveles de escoria que requieren acabado posterior</p> <p>No es efectivo en acero inoxidable o aluminio</p>	<p>Angularidad excelente</p> <p>Una zona pequeña afectada por el calor</p> <p>Virtualmente sin escoria</p> <p>Corte de rasgos finos de bueno a excelente.</p> <p>Corta acero al carbono, inoxidable o aluminio.</p>	<p>Angularidad excelente</p> <p>Una zona pequeña afectada por el calor</p> <p>Virtualmente sin escoria</p> <p>Corte de rasgos finos de bueno a excelente con la sangría más estrecha</p>
<b>Productividad</b>	<p>Velocidades lentas de corte</p> <p>El tiempo de precalentamiento incrementa el tiempo de perforación</p>	<p>Velocidades de corte muy rápidas en todos los espesores</p> <p>Tiempo de perforación muy rápido</p> <p>Las antorchas de conexión rápida maximizan la productividad</p>	<p>Muy rápida en materiales delgados (menos de 6 mm – 1/4"); y más lenta en material más grueso</p> <p>Mayor tiempo de perforación en material más grueso</p>

<b>Costo de operación</b>	La mala productividad y el acabado posterior requeridos empujan el costo por pieza a un nivel más alto que el costo del plasma.	Vida larga de los consumibles, buena productividad y calidad de corte excelente impulsan el costo por pieza a un nivel más bajo que el de otras tecnologías.	Costos altos por pieza debido a requisitos de potencia primaria, consumo de gas, costos altos de mantenimiento y velocidades de corte relativamente bajas en material grueso.
<b>Mantenimiento</b>	Requisitos de mantenimiento simples pueden a menudo ser hechos por el grupo de mantenimiento interno de la instalación.	Requisitos de mantenimiento moderados: Se puede dar servicio a muchos componentes por el grupo interno de mantenimiento de la instalación.	Tareas complejas de mantenimiento requieren técnicos especializados.



## ACEROS

**Aceros al Carbono.** – Son materiales que están formados por casi exclusivamente de hierro y carbono (Fe-C). Todos los aceros hasta 1.7 % de C reciben simplemente el nombre de aceros.

Un ejemplo del tipo de aceros al carbono es el siguiente:

	<u>%</u>
Carbono (C)	= 0.20
Manganeso (Mn)	= 1.2
Silicio (Si)	= 0.3
Fósforo (P)	= 0.05
Azufre (S)	= 0.05
	<hr style="width: 10%; margin: 0 auto;"/>
	1.8

La suma de todos sus componentes ha dado 1.8 %, luego el resto será de Fe, que será tanto como el 98.2 %, esto puede variar hasta un 98.6 %.

### **Propiedades mecánicas del acero**

- **Resistencia al desgaste.**- Es la resistencia que ofrece un material a dejarse erosionar cuando está en contacto de fricción con otro material.
- **Tenacidad.**- Es la capacidad que tiene un material de absorber energía sin producir fisuras (resistencia al impacto).
- **Maquinabilidad.**- Es la facilidad que posee un material de permitir el proceso de mecanizado por arranque de viruta.
- **Dureza.**- Es la resistencia que ofrece un acero para dejarse penetrar. Se mide en unidades BRINELL (HB) ó unidades ROCWEL C (HRC), mediante test del mismo nombre.

### **EL ALUMINIO**

Se encuentra en la naturaleza combinado en forma de óxido hidratado. La bauxita (óxido de aluminio hidratado) es el mineral más importante.

**Propiedades físicas.**- Densidad, 2.6 a 2.7

**Punto de fusión.-** 660° C

**Propiedades químicas.-** Es resistente a la corrosión, dúctil y maleable a 100 y 150° C; se estira en láminas.

Resistencia a la tracción de 9 a 11 Kg/mm<sup>2</sup>

Alargamiento, 30%

La alúmina es óxido de aluminio y tiene más alto punto de fusión que el propio aluminio (2.030° C).

## LOS ACEROS INOXIDABLES

Lo que destaca a los aceros inoxidable de los demás es su capacidad de resistencia contra los agentes corrosivos, como lo son el agua, el agua de mar, la atmósfera o el medio ambiente y las soluciones salinas, ácidas, etc.

La resistencia a la corrosión se consigue aleando al acero con distintos componentes, en especial el Cromo; otros componentes utilizados con el fin de evitar la corrosión son también níquel, molibdeno, manganeso, titanio, niobio y cobre.

### EL ACERO INOXIDABLE AISI 304

#### *Análisis Típico*

C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr
≤0.08 %	≤1.00 %	≤2.00%	≤0.045 %	≤0.030 %	8.00-12%	18- 20 %

Resistencia a la tracción (Rm) 84.000 psi

Límite de fluencia (Rp 0.2) 42.000 psi

Elongación en 2'' 55 %

### EL ACERO INOXIDABLE AISI 316 L

#### *Análisis Típico*

C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo
≤0.030 %	≤1.00 %	≤2.00%	≤0.045 %	≤0.030 %	10-14%	16- 18 %	2-3%

Resistencia a la tracción (Rm) 81.000 psi

Límite de fluencia (Rp 0.2) 42.000 psi

Elongación en 2'' 50 %