

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

**SEDE – QUITO**

**FACULTAD DE INGENIERÍAS**

**CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN EQUIPO PARA SOLDADURA POR  
PRESIÓN EN FRÍO PARA PROBETAS DE DIÁMETRO MÁXIMO 7mm A  
IMPLEMENTARSE EN EL LABORATORIO DE SOLDADURA DE LA  
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

**TESIS PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERO MECÁNICO**

**AUTORES**

**MANUEL EDUARDO ARMAS BUSTILLOS**

**JAVIER LORENZO TORRES RIVAS**

**DIRECTOR**

**ING. HOMERO YANCHAPAXI**

**QUITO, JULIO 2013**

## **DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD**

Nosotros, Manuel Eduardo Armas Bustillos y Javier Lorenzo Torres Rivas, declaramos bajo juramento que la presente investigación es de nuestra autoría, que no ha sido previamente presentada y que se han consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en el presente documento.

A través de esta declaración, cedemos el derecho de propiedad intelectual correspondiente a este trabajo, a la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Politécnica Salesiana, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y normatividad vigentes.

Manuel Eduardo Armas Bustillos

Javier Lorenzo Torres Rivas

Quito, 05 de julio del 2013

Certifico que el presente trabajo, previo a la obtención del título de Ingeniero Mecánico ha sido realizado en su totalidad por los señores: Manuel Eduardo Armas Bustillos y Javier Lorenzo Torres Rivas.

Los conceptos desarrollados, análisis y recomendaciones del presente trabajo son de exclusiva responsabilidad de los mismos.

Ing. Homero Yanchapaxi

DIRECTOR DE TESIS

## **DEDICATORIA**

A mis seres queridos caídos en esta batalla llamada vida, a mis padres Manuel Armas y Alba Bustillos, quienes me han apoyado constantemente durante mi vida, a mi novia Gabriela Manosalvas, por ser mi amiga y compañera. A todos ellos por haberme enseñado, comprendido, y formado en toda mi educación, tanto académica como en la vida.

**MANUEL EDUARDO**

Dedico este proyecto principalmente a mi familia y amigos que me han brindado su apoyo incondicional a lo largo de la vida y tiempo de estudios.

En especial a mis padres Edmundo Torres y Nury Rivas, mis hermanas Viviana Torres y Elizabeth Torres y mi cuñado Miguel Yépez porque han sido un eje fundamental y por el esfuerzo que realizan día a día por mí y por último y no menos importante a mí sobrinita Paula Yépez por alegrarnos los días.

**JAVIER LORENZO**

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a mis Padres por el esfuerzo, que han realizado para que logre cumplir una de mis metas, a mi novia por estar siempre a mi lado en los momentos malos y buenos de mi vida, a mis amigos por todos esos buenos momentos y su apoyo en la vida estudiantil.

Un agradecimiento especial a la Facultad de Ingeniería Mecánica, y a mi director de Tesis Ing. Homero Yanchapaxi por su paciencia y dedicación en la realización de este proyecto

**MANUEL EDUARDO**

Agradezco a la Universidad Politécnica Salesiana y profesores por haber encaminado de mejor manera la carrera de Ingeniería Mecánica y por sus conocimientos impartidos.

Al Ing. Homero por su ayuda, paciencia y perseverancia durante todo el proyecto de tesis.

A mi familia y amigos que han estado en todo momento junto a mí brindándome su apoyo, agradezco de manera especial a mi madre Nury y hermana Viviana por todo lo que han hecho.

**JAVIER LORENZO**

## **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Todos los procesos de soldadura tienen sus aplicaciones en la Ingeniería Mecánica, sin embargo la soldadura por presión en frío tiene muchas aplicaciones particulares por su bajo costo y por ser una soldadura limpia, por lo que se considera que requiere de una mayor investigación para su conocimiento.

Este tipo de soldadura incluye aplicaciones como: soldado de cables para almacenaje, piezas para conexiones eléctricas, soldadura de varillas, aplicaciones en la industria espacial por la ausencia de oxígeno, tubing en instrumentación y control y otros.

Al no poseer emisiones de gases ni residuos sólidos, este proceso de soldadura es muy amigable con el medio ambiente.

El laboratorio de soldadura del campus Kennedy de la Universidad Politécnica salesiana, no cuenta con un equipo necesario para el estudio y realización de prácticas de dicha soldadura que permita estudiar la unión a tope de probetas de materiales como el cobre y el aluminio mediante la presión.

Para ello se debe implementar y desarrollar un equipo para el laboratorio de soldadura de la Universidad Politécnica Salesiana.

## **OBJETIVOS**

### **GENERAL:**

Diseñar y construir un equipo para soldar por presión en frío para probetas de diámetro máximo 7 mm a implementarse en el laboratorio de soldadura de la UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA.

### **ESPECÍFICOS:**

- Comprobar que la resistencia a la soldadura en frío es 100% igual a las características del metal base de la probeta.
- Analizar la calidad de la soldadura con ensayos de tracción, doblado y dureza para verificar que la zona de la junta supera en 20% a la dureza del material base.
- Realizar un estudio para determinar que el proceso de soldadura por presión en frío es más económico, limpio y sencillo de realizar que la soldadura oxiacetilénica, porque no intervienen factores como el calor y material de aporte.

## **JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA**

El tema de investigación que se va a desarrollar, requiere de disponer de un equipo para realizar los ensayos de soldadura por presión en frío, por lo expuesto este equipo y sus respectivas guías de prácticas serán implementados en el laboratorio de la carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Politécnica Salesiana.

En la industria ecuatoriana es poco el desarrollo y las aplicaciones de la soldadura en frío por presión por lo que se ha visto la necesidad e importancia de abarcar este tema como proyecto de tesis para incrementar el estudio sobre este proceso de soldadura, que ayudará al sector industrial, petrolero y metalmecánicas del país.

## **ALCANCE:**

El presente proyecto contempla el diseño y construcción de una máquina de soldadura en frío a presión, a emplearse en el laboratorio de Ingeniería Mecánica de la UPS.

Se realizará una búsqueda y revisión bibliográfica a fin de ampliar el análisis de los resultados e incorporar los conocimientos obtenidos hasta el momento.

La investigación de este proceso de soldadura conlleva un estudio detallado del aluminio y cobre. El equipo podrá ser utilizado para un futuro estudio de posibles materiales y combinaciones de los mismos.

La máquina proporcionará la presión y fuerza necesaria para que las probetas de alambre circular de aluminio o cobre puedan ser soldadas, las mismas tendrán un diámetro aproximado de 6 a 7 mm según la norma ASTM y AWS para la soldadura.

El diseño y construcción constará de los respectivos planos del equipo, y diferentes elementos de sujeción, un sistema hidráulico manual, haciéndolo de fácil manejo.

Se procederá a realizar pruebas y ensayos para determinar la presión de trabajo.

Se implementará las respectivas hojas guías para realizar prácticas de laboratorio.

## **HIPÓTESIS:**

Para la investigación propuesta, se plantean las siguientes hipótesis.

1. La resistencia obtenida en la zona soldada en frío es 100% igual a las características del metal base de la probeta.
2. La dureza del material en la zona de la junta supera en 20% a la dureza del material base.
3. El proceso de soldadura por presión en frío es más económico, limpio y sencillo de realizar que la soldadura oxiacetilénica, porque no intervienen factores como el calor y material de aporte.

**TEMA:**

Diseño y construcción de un equipo para soldadura por presión en frío para probetas de diámetro máximo 7mm a implementarse en el laboratorio de soldadura de la Universidad Politécnica Salesiana

**PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA:**

Todos los procesos de soldadura tienen sus aplicaciones en la Ingeniería Mecánica, sin embargo la soldadura por presión en frío tiene muchas aplicaciones particulares por su bajo costo y por ser una soldadura limpia, por lo que se considera que requiere de una mayor investigación para su conocimiento.

El laboratorio de soldadura del campus Kennedy de la Universidad Politécnica salesiana, no cuenta con un equipo necesario para el estudio y realización de prácticas de dicha soldadura que permita estudiar la unión a tope de probetas de materiales como el cobre y el aluminio mediante la presión.

**JUSTIFICACIÓN:**

El tema de investigación que se va a desarrollar, requiere de disponer de un equipo para realizar los ensayos de soldadura por presión en frío, por lo expuesto este equipo y sus respectivas guías de prácticas, serán implementados en el laboratorio de la carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Politécnica Salesiana.

**ALCANCE:**

El presente proyecto contempla el diseño y construcción de una máquina de soldadura en frío a presión, a emplearse en el laboratorio de Ingeniería Mecánica de la UPS.

Se realizará una búsqueda y revisión bibliográfica a fin de ampliar el análisis de los resultados e incorporar los conocimientos obtenidos hasta el momento.

La investigación de este proceso de soldadura conlleva un estudio detallado del aluminio y cobre. El equipo podrá ser utilizado para un futuro estudio de posibles materiales y combinaciones de los mismos.

La máquina proporcionará la presión y fuerza necesaria para que las probetas de alambre circular de aluminio o cobre puedan ser soldadas, las mismas tendrán un diámetro aproximado de 6 a 7 mm según la norma ASTM y AWS para la soldadura.

El diseño y construcción constará de los respectivos planos del equipo, y diferentes elementos de sujeción, un sistema hidráulico manual, haciéndolo de fácil manejo.

Se procederá a realizar pruebas y ensayos para determinar la presión óptima de trabajo.

Se implementarán las respectivas hojas guías para realizar prácticas de laboratorio.

#### **OBJETIVO GENERAL:**

Diseño y construcción de un equipo para soldar por presión en frío para probetas de diámetro máximo 7 mm a implementarse en el laboratorio de soldadura de la UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA.

#### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS:**

- Comprobar que la resistencia a la soldadura en frío es 100% igual a las características del metal base de la probeta.
- Analizar la calidad de la soldadura con ensayos de tracción, dobles y dureza para verificar que la zona de la junta supera en 20% a la dureza del material base.
- Realizar un estudio para determinar que el proceso de soldadura por presión en frío es más económico, limpio y sencillo de realizar que la soldadura oxiacetilénica, porque no intervienen factores como el calor y material de aporte.

## **MARCO TEÓRICO:**

### **La soldadura**

La soldadura es el proceso de unir dos o más piezas, sea fundiendo el material (soldadura por fusión) y o por procesos en frío (soldadura en frío), por ejemplo por fricción, por presión, etc.

En dicho proyecto se analizara únicamente el proceso de soldadura por presión en frío.

### **La soldadura en frío**

La soldadura en frío es un proceso de soldadura de estado sólido que se la realiza sin la necesidad de ninguna fusión en la interfaz de los materiales a ser unidos.

A diferencia de la soldadura por fusión, los procesos de soldadura en frío se realizan, sin que ningún líquido (o fase líquida) esté presente en la articulación de las dos piezas que se sueldan.

### **La soldadura por presión en frío.**

Es el proceso de juntar piezas, aprovechando las fuerzas de atracción que sostienen los sólidos dentro de sus posiciones fijadas.

Según el concepto básico de soldadura por presión en frío, bastaría aplicar una fuerza en una de las probetas para poderlas hacer al punto de combinación atómica, para que pueda realizar la soldadura esta fuerza debe llegar a unir las probetas hasta reducir el espacio interatómico para que puedan actuar las fuerzas de atracción.

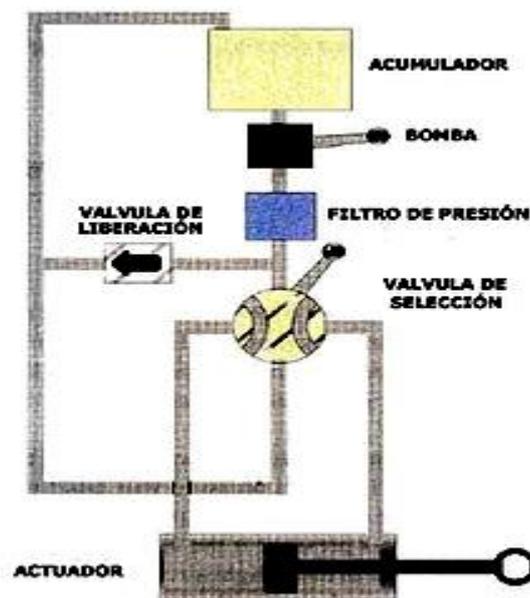
Para el diseño se tomaran en cuenta diferentes aspectos:

### **El sistema hidráulico**

El equipo constara con un sistema hidráulico para poder dar la fuerza necesaria para la soldadura.

El sistema hidráulico básico, está compuesto por seis elementos principales:

- Un acumulador
- Una bomba
- Una válvula de control
- Un actuador
- Un filtro
- Una válvula de liberación



### **El sistema de sujeción**

La sujeción se la realizara por medio de mordazas con la forma de la probeta, las mordazas estarán dentro de un alojamiento cónico para que, a medida que aumenta la fuerza para el soldado las mordazas se presionen más, y permitan una mejor sujeción de las probetas a ser soldadas.

### **Sistema de desplazamiento de las bases de las mordazas.**

Las bases de sujeción estarán colocadas en una base con guías para su desplazamiento y que permitan la facilidad de colocar, y retirar las probetas una vez soldadas.

### **Forma real de las superficies**

Para que se realice una soldadura por presión en frío, como sabemos necesitamos que la unión de los dos elementos sea menor a la interacción atómica, pero aun con el acabado más fino existente, solo se logra conseguir 200 veces esa longitud, por lo tanto se puede llegar a la conclusión que no existe una superficie completamente plana.

La definición de rugosidad superficial o también llamada estado de superficie más extendida es “el conjunto de irregularidades de la superficie real, definidas convencionalmente en una sección donde los errores de forma y las ondulaciones han sido eliminados”.

Una vez vista la definición formal vamos a conocer un poco lo que es el objeto que se analiza en la rugosidad, la superficie; una superficie es la frontera entre dos diferentes elementos que están en contacto, en nuestro caso suele ser el aire y la pieza manufacturada. Según como han sido procesadas a nivel industrial podemos distinguir dos clases de superficies por estructura, isótropas o periódicas y anisótropas o aperiódicas.

**Periódica:** Torneado, mecanizado, brochado y posteriores rectificadas sobre ellos.



**Aperiódica:** Chorreado, Granallado, Sinterizado, Fundición, procesos químicos



La soldadura se complica aún más, porque las superficies no se encuentran completamente limpias, siempre entre estas, se encuentran impurezas, oxido, y están cubiertas por películas de humedad.

## GLOSARIO DE TERMINOS

**Acritud:** Endurecimiento o fragilidad que experimentan algunos metales al ser trabajados en frío.

**Carga axial:** Es aquella que aparece como resultante de un sistema de cargas, misma que transcurre por el eje centroidal de la sección del elemento cargado, ya sea en tensión o compresión.

**Coalescencia:** Es la posibilidad de dos o más materiales de unirse en un único cuerpo, el término es comúnmente utilizado para explicar los fenómenos de soldadura, en particular de metales.

**Coaxialidad:** significa que dos o más formas comparten un eje en común; es el análogo lineal tridimensional de concéntrico.

**Corrosión:** Se denomina corrosión al proceso de destrucción de los metales y sus aleaciones, provocado por la acción química o electroquímica producido por el medio que los rodea.

**Deformación:** Es el cambio de forma y tamaño de los cuerpos debido a la variación de temperatura o la acción de fuerzas aplicadas

**Ductilidad:** Es una propiedad que presentan algunos materiales, como las aleaciones metálicas o materiales asfálticos, los cuales bajo la acción de una fuerza, pueden deformarse sosteniblemente sin romperse, permitiendo obtener alambres o hilos de dicho material.

**Elasticidad:** es la propiedad de los metales de recuperar su forma original al quitar la carga que ha producido la deformación.

**Esfuerzo:** Es el resultado de la división entre una fuerza y el área en la que se aplica. Se distinguen dos direcciones para las fuerzas, las que son normales al área en la que se aplican y las que son paralelas al área en que se aplican.

**Endurecimiento:** Es el fenómeno por el cual un metal dúctil se vuelve más resistente y duro mientras mayor sea la deformación plástica.

**Enlace metálico:** es un enlace químico que mantiene unidos los átomos (unión entre núcleos atómicos y los electrones de valencia, que se juntan alrededor de éstos como una nube) de los metales entre sí.

**Forja:** Es un proceso de conformado por deformación plástica que puede realizarse en caliente o en frío y en el que la deformación del material se produce por la aplicación de fuerzas de compresión.

**Fricción:** Es la fuerza entre dos superficies en contacto, a aquella que se opone al movimiento entre ambas superficies (fuerza de fricción dinámica) o a la fuerza que se opone al inicio del movimiento (fuerza de fricción estática).

**Indentador:** o penetrador usado es una bola de acero templado de diferentes diámetros. Para los materiales más duros se usan bolas de carburo de tungsteno.

**Límite elástico:** Es la tensión máxima que un material puede soportar sin sufrir deformaciones permanentes. Si se aplican tensiones superiores a este límite, el material experimenta un comportamiento plástico, deformaciones permanentes y no recupera espontáneamente su forma original al retirar las cargas.

**Número de mérito:** El número de mérito es una relación porcentual entre la medida inicial de la probeta y la medida final una vez realizada la deformación en frío.

**Plasticidad:** Es la propiedad de los metales de cambiar de manera permanente su forma y tamaño sin sufrir rotura bajo la acción de fuerzas externas.

**Proceso:** es un conjunto de actividades o eventos (coordinados u organizados) que se realizan o suceden (alternativa o simultáneamente) bajo ciertas circunstancias con un fin determinado. Este término tiene significados diferentes según la rama de la ciencia o la técnica en que se utilice.

**Punto de fusión:** Es la temperatura a la cual encontramos el equilibrio de fases sólido - líquido, es decir la materia pasa de estado sólido a estado líquido, se funde. Cabe destacar que el cambio de fase ocurre a temperatura constante.

**Recalcado:** Consiste en la concentración o acumulación de material en una zona determinada y limitada de una pieza (normalmente en forma de barra). Por tanto, una consecuencia directa de este proceso es que disminuye la longitud de la barra inicial y aumenta la sección transversal de ésta en la zona recalcada.

**Recocido:** Es un tratamiento térmico cuya finalidad es el ablandamiento, la recuperación de la estructura o la eliminación de tensiones internas generalmente en metales, obteniendo como resultado una alteración de las propiedades físicas del mismo. El recocido consiste en calentar el metal hasta una determinada temperatura para después dejar que se enfríe lentamente hasta la temperatura del ambiente.

**Resistencia a la tracción:** Resistencia que ofrece un material a la rotura cuando está sometido a un esfuerzo de tracción consiste en someter a una probeta normalizada a un esfuerzo axial de tracción creciente hasta que se produce la rotura de la probeta.

**Resistencia mecánica:** Es la propiedad de los metales de resistencia a la rotura bajo la acción de fuerzas externas.

**Revenido:** El tratamiento de revenido consiste en calentar al acero seguido del normalizado o templado, a una temperatura menor al punto crítico, seguido de un enfriamiento controlado que puede ser rápido cuando se deseen resultados elevados en tenacidad, o lento, para reducir al máximo las tensiones térmicas que puedan causar deformaciones.

**Rugosidad:** En mecánica la rugosidad es el conjunto de irregularidades que posee una superficie.

**Soldadura:** La soldadura es un proceso de fabricación, en el que se unen las superficies en contacto mediante la aplicación de calor, presión o masillas epóxicas.

Soldadura por presión en frío: Es un proceso en el que se emplea presión a temperatura ambiente para producir la coalescencia de los metales con una deformación considerable en el punto de soldadura.

**Templado:** Es un tratamiento térmico aplicado a metales, tales como acero, hierro fundido, cobre, aluminio, etc., para lograr una mayor resistencia al disminuir la dureza de la aleación. La reducción de la dureza está acompañada generalmente por un aumento de la ductilidad, lo que disminuye la fragilidad del metal.

**Tenacidad:** Se define como la capacidad que tiene un material para almacenar energía, en forma de deformación elástico, antes de romperse (resistencia al impacto).

**Tensión:** Es la fuerza por unidad de área en el entorno de un punto material sobre una superficie real o imaginaria de un medio continuo. La definición anterior aplica tanto a fuerzas localizadas como fuerzas distribuidas, uniformemente o no, que actúan sobre una superficie.

## RESUMEN

La presente tesis contempla el diseño y construcción de una máquina para soldar por presión en frío para el laboratorio de soldadura de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la UPS.

El concepto de soldadura es un proceso de fabricación, en el que se unen las superficies en contacto mediante la aplicación de calor, presión o masillas epóxicas, por lo que, la soldadura por presión en frío es un proceso de soldadura completo, económico y ambientalmente bueno. En el cual sin la aplicación de calor y solamente por la aplicación de presión los metales se sueldan a temperatura ambiente y sin materiales de aporte. Para ello este procedimiento consiste en limpiar completamente las superficies que hay que unir y, tras ponerlas en contacto, aplicar una presión sobre ellas hasta que se produzca la unión como se menciona anteriormente.

La máquina consta de un sistema hidráulico manual que proporciona la presión necesaria para que las probetas se suelden, las que se alojan en sus respectivas mordazas, para que una cuña transmita esta presión y se logre la unión de los metales; es una máquina horizontal consta de cuatro ejes guías y una placa móvil que constituyen el marco de la carga aplicada. Además se incluye un manómetro para poder medir la presión de soldadura.

Para el diseño de la máquina se parte de la fuerza de soldadura necesaria para unir dos probetas de aluminio o cobre, un sistema de sujeción para las probetas formado por los troqueles y la cuña, el alineamiento de los ejes que van a ser las guías y soporte del sistema de sujeción y placas, funcionalidad y la facilidad de manejo.

Se describen los siguientes ensayos: ensayo de soldadura por presión en frío, ensayo de tracción, ensayo de doblado, ensayo de dureza. Todos estos para comparar la calidad de soldadura de las probetas con el material base.

La incorporación del proyecto brinda mayor tecnología y ayuda a realizar un estudio más amplio sobre este tipo de soldadura, que pueden ser incorporados en la industria en un futuro, a un bajo costo y sobre todo protegiendo el medio ambiente.

Para la enseñanza de la soldadura por presión en frío en el laboratorio de soldadura de la UPS, se ha previsto de la guía de la práctica de este ensayo. El objeto es aprovechar al máximo la máquina soldadora para aprender los principios básicos de este tipo de soldadura. Donde se hace referencia a la información del soporte conceptual, cuenta con el tiempo establecido para la práctica, los procedimientos para realizar el ensayo de soldadura y finalmente el informe que deberá presentar el estudiante.

## INDICE DE CONTENIDOS

CAPITULO 1 .....	1
MARCO TEÓRICO .....	1
1.1. LA SOLDADURA .....	1
1.1.1. LA SOLDADURA COMO UNION METÁLICA .....	1
1.1.2. CLASIFICACION DE LOS PROCESOS DE SOLDADURA .....	1
1.1.2.1. SOLDADURA ELÉCTRICA.....	2
1.1.2.2. SOLDADURA OXIGAS.....	3
1.1.2.3. SOLDADURA FUERTE.....	4
1.1.2.4. SOLDADURA POR RESISTENCIA .....	5
1.1.2.5. SOLDADURA POR PRESIÓN .....	6
1.2. LA SOLDADURA POR PRESIÓN EN FRÍO. ....	7
1.2.1. CARACTERÍSTICAS DEL PROCESO.....	8
1.2.1.1. AUSENCIA DE TEMPERATURA .....	8
1.2.1.2. TIPO DE UNIONES.....	9
1.2.2. VARIABLES DEL PROCESO.....	10
1.2.2.1. DEFORMACIÓN $\delta$ .....	10
1.2.2.2. ENDURECIMIENTO POR DEFORMACIÓN EN FRÍO .....	13
1.2.2.3. PRESIÓN DE SOLDADURA.....	15
1.2.3. CALIDAD DE LA SOLDADURA POR PRESIÓN EN FRÍO.....	16
1.2.4. PROCEDIMIENTO DE LA SOLDADURA A TOPE.....	17
1.2.5. COMPARACIÓN ENTRE LA SOLDADURA POR PRESIÓN EN FRÍO Y OTROS PROCESOS .....	18
1.2.6. APLICACIONES .....	18
1.3. FORMAS REALES DE LAS SUPERFICIES .....	19
1.3.1. RUGOSIDAD .....	19
1.3.2. IMPUREZAS DE LAS SUPERFICIES.....	21
1.3.3. PREPARACIÓN DE LAS SUPERFICIES .....	22
1.4. MATERIALES SOLDABLES .....	23
1.4.1. SOLDADURA DE METALES DISÍMILES.....	24
1.4.2. ESTRUCTURA METALÚRGICA.....	25
1.4.3. ALUMINIO.....	26

1.4.3.1.	OBTENCIÓN DEL ALUMINIO .....	26
1.4.3.2.	PROPIEDADES MECÁNICAS .....	27
1.4.3.3.	PROPIEDADES QUÍMICAS DEL ALUMINIO.....	28
1.4.4.	COBRE.....	29
1.4.4.1.	OBTENCIÓN DEL COBRE .....	29
1.4.4.2.	PROPIEDADES MECÁNICAS DEL COBRE.....	30
1.4.4.3.	PROPIEDADES QUÍMICAS DEL COBRE .....	31
1.5.	VENTAJAS Y LIMITACIONES.....	31
1.5.1.	VENTAJAS.....	31
1.5.2.	LIMITACIONES .....	32
1.6.	SISTEMA HIDRÁULICO .....	32
1.6.1.	PRINCIPIOS DE LA HIDRÁULICA .....	32
1.6.2.	FLUIDO HIDRÁULICO .....	33
1.6.2.1.	EQUIPO.....	33
1.6.2.2.	AMBIENTE.....	33
1.6.2.3.	SEGURIDAD Y SALUD .....	33
1.6.3.	ELEMENTOS DEL SISTEMA HIDRÁULICO .....	34
1.6.3.1.	BOMBA HIDRÁULICA .....	34
1.6.3.2.	CILINDRO HIDRÁULICO .....	35
1.6.3.3.	MANÓMETRO .....	36
1.7.	MATERIALES PARA LA MÁQUINA (Ver anexo 2C).....	38
1.7.1.	ACERO PARA LAS MORDAZAS, Y CUÑA .....	38
1.7.2.	ACERO PARA TUERCAS DE SUJECIÓN, ELEMENTOS SOMETIDOS A MENORES ESFUERZOS .....	39
1.7.3.	ACERO PARA EJES GUÍAS.....	39
1.7.4.	BRONCE PARA BOCINES .....	39
1.8.	TRATAMIENTOS TÉRMICOS.....	40
1.8.1.	TEMPLE .....	40
1.8.2.	REVENIDO .....	40
1.8.3.	TRATAMIENTOS TERMICOS EN EL ACERO AISI 01 PARA LAS MORDAZAS Y CUÑA.....	41
1.9.	VARIABLES DE ENTRADA PARA EL DISEÑO DE LA MÁQUINA .....	42
1.9.1.	VARIABLES PARA LA MÁQUINA .....	42
1.9.2.	MATERIAL A SOLDAR .....	42

1.10.	SEGURIDAD INDUSTRIAL .....	43
	CAPITULO 2 .....	44
	ESTUDIO DE ALTERNATIVAS .....	44
2.1.	EVALUACIÓN DE LAS ALTERANTIVAS.....	44
2.1.1.	COSTO DE FABRICACIÓN .....	44
2.1.2.	FACTOR DE SEGURIDAD.....	44
2.1.3.	OPERACIÓN .....	44
2.2.	VALORACIÓN NUMÉRICA .....	45
2.3.	FACTOR DE PONDERACIÓN .....	45
2.4.	ALTERNATIVAS DEL SISTEMA DE PRESIÓN.....	46
2.4.1.	ALTERNATIVA 1: SISTEMA DE PRESIÓN MECÁNICO .....	46
2.4.2.	ALTERNATIVA 2: SISTEMA DE PRESIÓN HIDRÁULICO MANUAL	47
2.4.3.	ALTERNATIVA 3: SISTEMA DE PRESIÓN HIDRÁULICO ELÉCTRICO	48
2.4.4.	EVALUACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS .....	49
2.4.5.	SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA DEL SISTEMA DE PRESIÓN ...	49
2.5.	ALTERNATIVAS DEL SISTEMA DE SUJECIÓN DE LAS PROBETAS .....	50
2.5.1.	ALTERNATIVA 1: SISTEMA DE SUJECIÓN PARALELO A LA FUERZA.....	50
2.5.2.	ALTERNATIVA 2: SISTEMA DE SUJECIÓN PERPENDICULAR A LA FUERZA.....	51
2.5.3.	EVALUACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS .....	52
2.5.4.	SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA DEL SISTEMA DE SUJECIÓN DE LAS PROBETAS .....	53
2.6.	ALTERNATIVAS DE ORIENTACIÓN DE LA MÁQUINA .....	53
2.6.1.	ALTERNATIVA 1: MÁQUINA HORIZONTAL .....	53
2.6.2.	ALTERNATIVA 2: MÁQUINA VERTICAL .....	54
2.6.3.	EVALUACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS .....	56
2.6.4.	SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA DEL SISTEMA DE SUJECIÓN .	57
	CAPITULO 3 .....	58
	DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN.....	58
3.1.	DISEÑO .....	58
3.1.1.	PRESIÓN DE SOLDADURA .....	59
3.1.2.	FUERZA DE SOLDADURA DE LA PROBETA .....	60

3.1.3.	DISEÑO DE MORDAZAS .....	61
3.1.3.1.	FUERZA DE SUJECIÓN .....	62
3.1.3.2.	SUPERFICIE DE SUJECIÓN .....	62
3.1.3.3.	ÁNGULO DE CUÑA .....	64
3.1.3.4.	DIAGRAMA DE CUERPO LIBRE Y CÁLCULO DE REACCIONES. 66	
3.1.4.	CÁLCULO DE CUÑA .....	68
3.1.5.	RESORTE DE RETORNO .....	73
3.1.6.	FUERZA TOTAL .....	75
3.1.7.	SELECCIÓN DEL SISTEMA HIDRAULICO .....	75
3.1.7.1.	PISTÓN .....	75
3.1.7.2.	BOMBA MANUAL .....	76
3.1.8.	DISEÑO PLACAS DE SOPORTE .....	76
3.1.9.	CÁLCULO EJES DE GUÍA .....	79
3.1.9.1.	TORNILLO DE SUJECIÓN DEL EJE GUÍA .....	79
3.1.9.2.	DIÁMETRO DEL EJE GUÍA .....	80
3.1.10.	DIMENSIONAMIENTO DE LA MESA .....	81
3.1.10.1.	DIMENSIONAMIENTO DE PERFILES .....	81
3.1.10.1.1.	CALCULO DEL PERFIL SOPORTE DE LA MÁQUINA DE SOLDADURA. ....	82
3.1.10.1.2.	CALCULO DEL PERFIL SOPORTE DE LA BOMBA HIDRÁULICA. ....	84
3.1.10.1.3.	CALCULO DEL PARANTE DE LA MESA .....	85
	CÁPITULO 4 .....	87
	ENSAYOS Y RESULTADOS .....	87
4.1.	ENSAYO DE SOLDADURA POR PRESIÓN EN FRÍO .....	87
4.1.1.	PROCEDIMIENTO PARA EL ENSAYO DE SOLDADURA POR PRESIÓN EN FRÍO .....	88
4.1.2.	RESULTADOS DEL ENSAYO POR PRESIÓN EN FRÍO .....	88
4.2.	ENSAYO DE TRACCIÓN .....	89
4.2.1.	RESULTADOS ENSAYO DE TRACCIÓN .....	90
4.3.	ENSAYO DE DOBLADO .....	91
4.3.1.	PROCEDIMIENTO PARA EL ENSAYO DE DOBLADO .....	91
4.3.2.	RESULTADOS DE ENSAYO DE DOBLADO .....	92

4.4.	ENSAYO DE DUREZA .....	92
4.4.1.	DUREZA ROCKWELL .....	93
4.4.2.	RESULTADOS DEL ENSAYO DE DUREZA .....	94
	CÁPITULO 5 .....	95
	COSTOS.....	95
5.1.	INTRODUCCIÓN.....	95
5.2.	MATERIA PRIMA.....	95
5.3.	COSTOS DE MECANIZADO .....	97
5.3.1.	COSTO DE MANO DE OBRA DE MECANIZADO.....	100
5.3.2.	TRATAMIENTOS TÉRMICOS (Ver tabla 5.4) .....	103
5.4.	COSTOS INDIRECTOS .....	103
5.5.	VALOR TOTAL MÁQUINA POR PRESIÓN EN FRÍO .....	104
	CÁPITULO 6 .....	105
	PRÁCTICA DE LABORATORIO .....	105
	CONCLUSIONES.....	112
	RECOMENDACIONES .....	114

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1.- Soldadura eléctrica con electrodo revestido. ....	3
Figura 1.2.- Soldadura oxigas.....	4
Figura 1.3.- Soldadura fuerte.....	4
Figura 1.4.- Soldadura por resistencia.....	6
Figura 1.5.- Soldadura por presión en frío.....	7
Figura 1.6.- Unión por fuerzas interatómicas.....	8
Figura 1.7.- Unión a tope.....	9
Figura 1.8A.- Placas antes de soldar.....	10
Figura 1.9.- Deformación en la soldadura por presión en frío.....	11
Figura 1.10.- Diagrama presión-deformación en la soldadura por presión en frío a tope. .....	12
Figura 1.11.- Diagrama Límite elástico y resistencia a la tracción vs porcentaje deformación en frío. ....	14
Figura 1.12.- Diagrama porcentaje de ductilidad vs porcentaje de deformación en frío.....	14
Figura 1.13.- Principales fuerzas actuando en la soldadura por presión en frío.....	16
Figura 1.14.- Correcta sujeción soldadura a tope. ....	17
Figura 1.15.- Características de la rugosidad de una superficie. ....	20
Figura 1.16.- Impurezas de las superficies a soldar.....	21
Figura 1.17.- Red cúbica centrada en las caras.....	24
Figura 1.18.- Estructura de capas de una soldadura aluminio-cobre hecha en frío. <sup>18</sup> ....	25
Figura 1.19.- Líneas de flujo transversal en una unión a tope soldada en frío.....	26
Figura 1.20.- Bomba manual. ....	34
Figura 1.21.- Presión de servicio en relación con la fuerza de accionamiento.....	35
Figura 1.22.- Cilindro hidráulico.....	35
Figura 1.23.- Manómetro Burdon.....	37
Figura 1.24.- Curvas de temple y revenido en el acero AISI 01. ....	41
Figura 2.1.- Sistema de carga mecánico.....	46
Figura 2.2.- Sistema de carga hidráulico manual.....	47
Figura 2.3.- Sistema de carga hidráulico eléctrico.....	48
Figura 2.4.- Sistema de sujeción paralelo a la fuerza.-.....	50
Figura 2.5.- Sistema de sujeción perpendicular a la fuerza.....	51
Figura 2.6.- Máquina horizontal.....	54
Figura 2.7.- Máquina vertical.....	55
Figura 3.1.- Elementos de la máquina.....	59
Figura 3. 2.- Fuerza de soldadura en la probeta de cobre.....	61
Figura 3. 3.- Dimensiones de la superficie de sujeción.....	63
Figura 3. 4.- Ángulo de cuña y reacción.....	65
Figura 3. 5.- Diagrama de cuerpo libre del troquel. ....	66
Figura 3. 6.- Análisis de fuerzas – Cuerpo libre Cuña. ....	68

Figura 3. 7.- Análisis de fuerzas cortante y momentos flexionantes.....	69
Figura 3. 8.- Análisis de fuerzas cortante y momentos flexionantes.....	70
Figura 3. 9.- Diagrama de fuerzas cortantes.....	71
Figura 3. 10.- Diagrama de momentos flexionantes.....	71
Figura 3. 11.- Placa de soporte .....	77
Figura 3.12.- eje guía.....	79
Figura 3. 13.- Diagrama cuerpo libre de soporte de la máquina .....	82
Figura 3. 14.- Propiedades del perfil seleccionado.....	82
Figura 3. 15.- Gráfico de fuerza cortante del perfil –soporte de la máquina.....	83
Figura 3. 16.- Gráfico de momento flector del perfil –soporte de la máquina.....	83
Figura 3. 17.- Propiedades del perfil seleccionado.....	84
Figura 3. 18.- Gráfico de fuerza cortante del perfil –soporte de la bomba hidráulica....	84
Figura 3. 19.-Gráfico de momento flector del perfil –soporte de la bomba hidráulica. .	85
Figura 3.20.- Cuerpo libre parante .....	86
Figura 3. 21.- Parámetros de diseño de parante.....	86
Figura 4. 1.- Unión a tope.....	87
Figura 4. 2.- probeta cilíndrica normalizada para ensayos de tracción .....	89
Figura 4. 3.- probeta de soldadura por presión en frío para ensayos de tracción .....	90
Figura 4.4.- Esquema ensayo de dobles .....	91
Figura 4.5.- Ensayo de dureza rockwell .....	94
Figura 6. 1.- Unión por fuerzas interatómicas.....	107
Figura 6. 2.- Superficie de probetas.....	108
Figura 6.3.- Unión a tope.....	109

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1.1.- Número de mérito .....	13
Tabla 1.2.- Espesor de capa de óxido vs tiempo .....	22
Tabla 1.3.- Propiedades químicas del aluminio.....	28
Tabla 1.4.- Propiedades químicas del cobre.....	31
Tabla 1.5.- Propiedades mecánicas en condición de suministro del acero AISI 01.....	38
Tabla 1.6.- Propiedades mecánicas en condición de suministro Acero A284c.....	39
Tabla 1.7.- Propiedades mecánicas del cobre.....	42
Tabla 2.1.- Valoración numérica .....	45
Tabla 2.2.- Evaluación de alternativas del sistema de carga .....	49
Tabla 2.3.- Evaluación de alternativas.....	52
Tabla 2.4.- Evaluación de alternativas de máquinas .....	56
Tabla 3. 1.- Ángulo de ventaja mecánica de máquinas existentes. ....	64
Tabla 4. 1.- Resultados de ensayos de soldadura por presión en frío.....	88
Tabla 4. 2.- Resultados de ensayos de tracción .....	90
Tabla 4. 3.- Resultados de ensayo de doblado.....	92
Tabla 4. 4.- Resultados de ensayo de dureza.....	94
Tabla 5. 1.- Tabla costo de materia prima .....	96
Tabla 5.2.- Tabla costos de mecanizado.....	99
Tabla 5. 3.- Tabla costos de mano de obra de mecanizado .....	102
Tabla 5. 4.- Tabla de costos de tratamientos térmicos.....	103
Tabla 5. 5.- Tabla de costos indirectos de fabricación .....	103
Tabla 5. 6.- Valor total de la máquina .....	104

## SIMBOLOGÍA

Símbolo	Detalle
$d$	espesor de óxido
$\varepsilon$	Módulo de elasticidad
$\tau$	Módulo de torsión
$\mu$	Coefficiente de Poisson
$\beta_t$	Compresibilidad
Al	Aluminio
Cu	Cobre
$r$	Radio
$Y_p$	Límite de elasticidad
$P_w$	Presión de soldadora
$F$	Fuerza de soldadura en la probeta
$A$	Área de la probeta
$d$	Diámetro de la probeta
$U_1$	Coefficiente de rozamiento estático cobre acero
$N$	Fuerza de sujeción
$h$	Diámetro de sujeción
$l$	Longitud de sujeción
$x$	profundidad de las estrías
$\alpha$	Ángulo de la reacción en el troquel
$\beta$	Ángulo de cuña
$Fr$	Fuerza de rozamiento
$R$	Reacción de los troqueles
$U_2$	Coefficiente de rozamiento estático acero - acero
$F_1$	Fuerza del pistón
$MA$	Momento de la cuña
$S$	Módulo de sección
$b$	Base de la cuña
$h$	Altura de la cuña
$S_y$	Límite de tracción del material
$F_s$	Factor de seguridad
$\sigma_{adm}$	Esfuerzo admisible del material

$M_{max}$	Momento flector máximo
$P$	Paso del resorte
$l_0$	Longitud inicial
$N_a$	Número de espiras
$N_t$	Número total de espiras
$K$	Factor de resortes
$G$	Resistencia del alambre
$F_s$	Fuerza del resorte
$Y_s$	Diferencia entre longitud inicial y longitud sólida
$FT$	Fuerza total
$P$	Presión del cilindro hidráulico
$A_{efec}$	Área de contacto del cilindro
$S_m$	Esfuerzo máximo del material
$k$	Coefficiente de placas rectangulares
$e$	Espesor de la placa
$R1$	Longitud mayor de la placa
$r2$	Longitud menor de la placa

# **CAPITULO 1**

## **MARCO TEÓRICO**

### **1.1. LA SOLDADURA**

La soldadura es un proceso de fabricación, en el que se unen superficies en contacto mediante la aplicación de calor, presión o masillas epóxicas. La zona de las partes que se unen mediante soldadura se llama ensamble soldado.

#### **1.1.1. LA SOLDADURA COMO UNION METÁLICA**

La soldadura en la metalurgia es un procedimiento por el cual dos o más piezas de metal se unen mediante la aplicación de calor, presión, o una combinación de ambos, con o sin el aporte de otro metal.

#### **1.1.2. CLASIFICACION DE LOS PROCESOS DE SOLDADURA**

La American Welding Society (AWS) ha clasificado los procesos de soldadura en los siguientes grupos.

##### **Soldadura eléctrica**

- Por arco con electrodo de carbón (CAW)
- Por arco con alambre tubular (FCAW)
- Soldadura con electrodo revestido (SMAW)
- Por arco sumergido (SAW)
- Soldadura por plasma (PAW)
- Soldadura por arco con alambre fusible (GMAW)
- Soldadura TIG (GTAW)

### **Soldadura oxigas**

- Por presión con gas (PGW)
- Soldadura oxiacetilénico (OAW)

### **Soldadura Fuerte**

- Por infrarrojos (IRB)
- Con gas (TB)
- Por resistencia (RB)
- Por inmersión (DB)
- Por difusión (DFB)

### **Soldadura por resistencia**

- Por chispa (FW)
- Eléctrico por percusión (PEW)
- Por costura (RSEW)
- Por puntos (RSW)
- A tope por resistencia (UW)

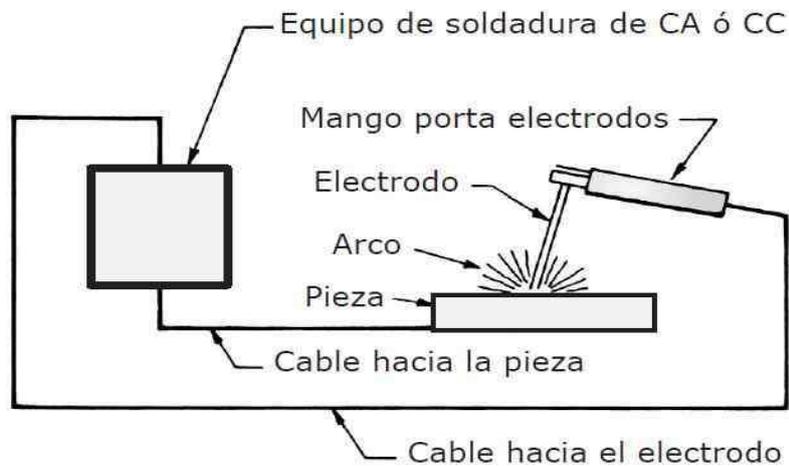
### **Soldadura por presión**

- Por difusión (DFW)
- En frío (CW)
- Por forja (FOW)

#### **1.1.2.1. SOLDADURA ELÉCTRICA**

La soldadura eléctrica o soldadura por arco es el procedimiento por el que se realiza la unión de piezas, aprovechando la fusión de los materiales a temperatura elevada por medio del arco eléctrico producido por un electrodo y el material a soldar. Los bordes fundidos de las piezas y el material de aporte se mezclan íntimamente, formando al enfriarse, una pieza única, resistente y homogénea. Por ejemplo la soldadura de

estructuras metálicas. En la figura 1.1 se muestra un esquema del equipo de la soldadura eléctrica.

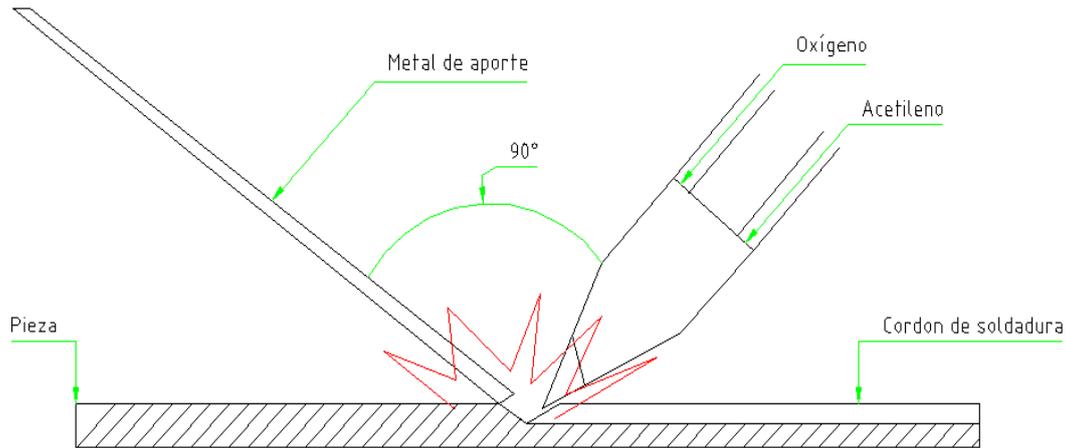


*Figura 1.1.- Soldadura eléctrica con electrodo revestido.*

### **1.1.2.2. SOLDADURA OXIGAS**

La soldadura a gas, es el proceso en el que la unión del oxígeno con un gas combustible, produce una llama de alto poder calorífico. La elevada temperatura permite que materiales a soldar alcancen el punto de fusión produciendo la unión, como se muestra en la figura 1.2.

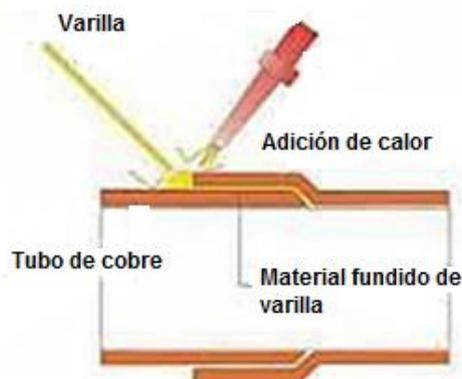
El calor aportado en este tipo de soldadura se debe a la reacción del acetileno ( $C_2H_2$ ), que resulta ser fuertemente exotérmica y alcanza temperaturas del orden de los  $3270^{\circ}C$ .



*Figura 1.2.- Soldadura oxigas*

### **1.1.2.3. SOLDADURA FUERTE**

También se llama dura o amarilla. En el proceso se alcanzan temperaturas hasta 800°C. Como metal de aportación se suelen usar aleaciones de plata, y estaño (conocida como soldadura de plata); o de cobre y cinc. El borax se utiliza como material fundente para desoxidar y cubrir las superficies de la que se ayuda con un soplete de gas que aporta el calor necesario para la unión. La soldadura se efectúa generalmente a tope, pero también se puede soldar a solape y en ángulo. Por lo general, una soldadura fuerte es más resistente que el mismo metal base, por ejemplo la soldadura de tubería de cobre.<sup>1</sup> El proceso se lo muestra en la figura 1.3.



*Figura 1.3.- Soldadura fuerte*

<sup>1</sup> CRISTOBAL DE MONROY, Procedimientos de unión: Soldadura, Dpto. de Tecnología, Pag.:3,4

#### 1.1.2.4. SOLDADURA POR RESISTENCIA

Es uno de los métodos para unir dos o más piezas aprovechando la energía eléctrica, para producir temperaturas elevadas permitiendo la unión de los materiales a soldar sin la necesidad de material de aporte, este tipo de soldadura se basa en el efecto Joule

$$(Q = 0,24 * I^2 * R * t).$$

Dónde:

Q= calor

R= resistencia

t= Tiempo de aplicación

I= intensidad de corriente

Las piezas (generalmente chapas hasta 4mm de espesor) quedan soldadas por pequeñas zonas circulares aisladas y regularmente espaciadas que, debido a su relativa pequeñez, se denominan puntos. Las chapas objeto de unión se sujetan por medio de los electrodos y, a través de ellos, se hace pasar la corriente eléctrica para que funda los puntos. Cuando se solidifican, la pieza queda unida por estos puntos, cuyo número dependerá de las aplicaciones y de las dimensiones de las chapas que se unen.

Este tipo de soldadura por puntos tiene gran importancia en la industria moderna, sobre todo en chapa fina. Se emplea en la fabricación de carrocerías de automóviles, electrodomésticos (por ejemplo, neveras), y en las industrias eléctrica y de juguetería <sup>2</sup>, dicho proceso se muestra en la figura 1.4.

---

2 CRISTOBAL DE MONROY, Procedimientos de unión: Soldadura, Dpto. de Tecnología, Pag.:10

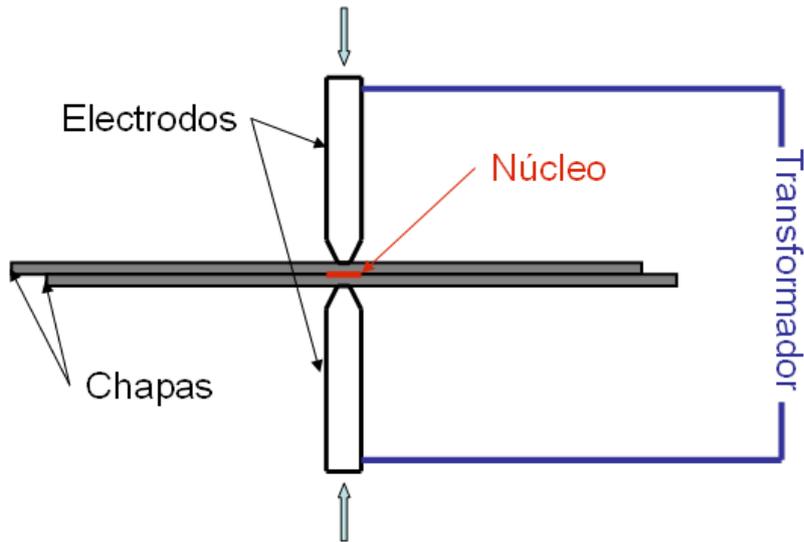


Figura 1.4.- Soldadura por resistencia

#### 1.1.2.5. SOLDADURA POR PRESIÓN

Es el procedimiento en el cual se produce la unión mediante la aplicación de presión a los metales a soldar sin la utilización de materiales de aporte. Normalmente se produce con la adición de calor pero también puede ser realizada sin ella. La soldadura se muestra en la figura 1.5.

- Por presión en frío o en caliente: Consiste en limpiar completamente las superficies que hay que unir y, tras ponerlas en contacto, aplicar una presión sobre ellas hasta que se produzca la unión.
- Por fricción: Se hace girar el extremo de una de las piezas y, después, se pone en contacto con la otra. El calor producido por la fricción une ambas piezas por deformación plástica.<sup>3</sup>

---

3 DEGRAMO P., TEMPLE BLACK J., KOHSER R., Materiales y procesos de fabricación, reverté, 1988, Pag.: 946

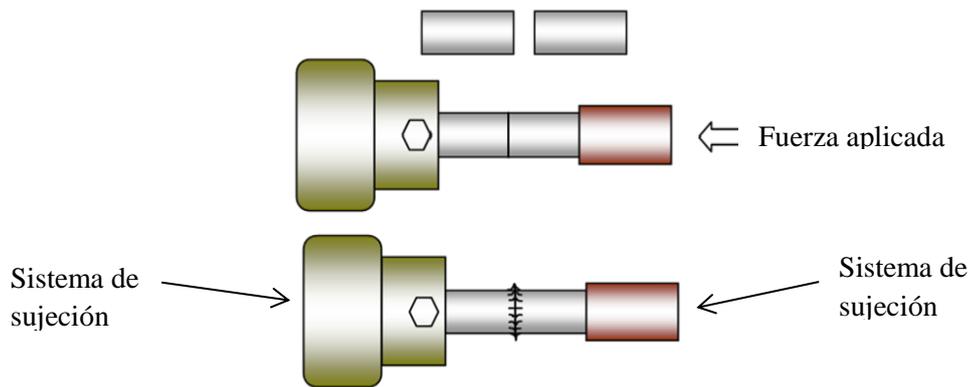


Figura 1.5.- Soldadura por presión en frío

## 1.2. LA SOLDADURA POR PRESIÓN EN FRÍO.

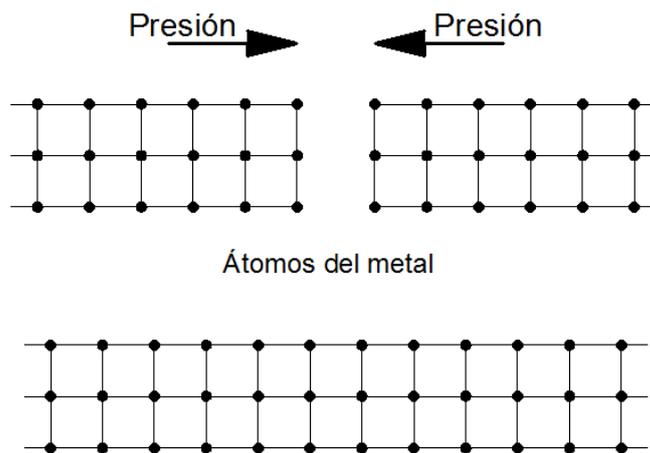
La soldadura por presión en frío es un proceso en el que se emplea presión a temperatura ambiente para producir la coalescencia de los metales con una deformación considerable en el punto de soldadura,<sup>4</sup> aprovechando solamente las fuerzas fundamentales de atracción que sostienen los átomos de un sólido (fuerzas interatómicas) como se muestra en la figura 1.6.

La unión de los materiales a utilizarse se produce por el enlace metálico, donde cada átomo de metal contribuye con sus electrones de valencia a formar una nube electrónica negativa. Estos electrones no están asociados con unión particular, sino que se mueven libremente entre los iones metálicos positivos en niveles de energía definidos. Los iones metálicos se mantienen juntos en función de su gran atracción mutua con la nube electrónica negativa.<sup>5</sup>

Se debe aplicar la presión suficiente para retirar la película de óxido, humedad y fallas de la superficie a soldar, de esta manera se permite el contacto íntimo de los materiales para que actúen las fuerzas interatómicas y se produzca la unión.

<sup>4</sup> Manual de soldadura, American Welding Society. Tomo III Prentice-hall Hispanoamérica S.A. México P900.

<sup>5</sup> ESPINOSA, R.; TEJADA, L.; YANDUN, L.; Guías de prácticas de laboratorio. Quito, 1984, P1



*Figura 1.6.- Unión por fuerzas interatómicas*

## **ANTECEDENTES**

La soldadura por presión en frío se descubrió por accidente en un laboratorio de Wembley (G.E.C) en 1939, realizando pruebas de impacto en el material. Sin embargo la unión era ineficiente una vez realizada los ensayos de materiales.

En 1949 William Dubilier y Anthony Sowter experimentaron por 4 años sobre la soldadura colocando presión hasta lograr mantener una unión satisfactoria sobre el aluminio. Posteriormente Sowter diseñó y construyó los troqueles para dar la mayor eficiencia a la soldadura realizando un estudio sobre la presión de soldadura y la importancia de dicho proceso en la ingeniería eléctrica.

### **1.2.1. CARACTERÍSTICAS DEL PROCESO**

#### **1.2.1.1. AUSENCIA DE TEMPERATURA**

El proceso de soldadura en frío se caracteriza por la ausencia de temperatura (menor a 65°C) en la zona soldada o en los materiales a soldar, manteniéndose los mismos a temperatura ambiente. El poco calor que se genera se debe al desplazamiento de los átomos cuando el material se deforma.

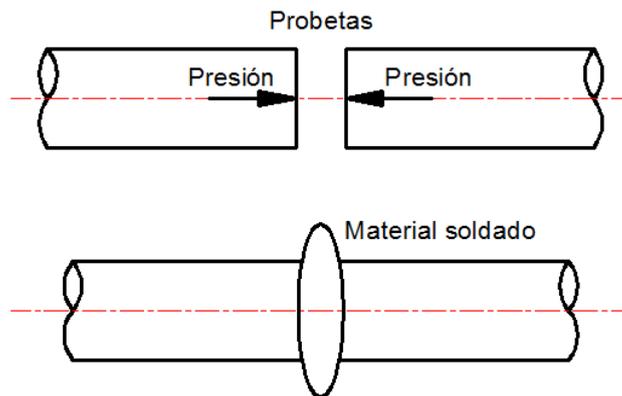
### 1.2.1.2. TIPO DE UNIONES

Este tipo de soldadura permite solamente juntas a tope y traslapada.

#### UNIÓN A TOPE

La unión a tope en la soldadura por presión se la realiza en varillas, cables, etc. de un diámetro máximo 12.5 mm, la característica de este tipo de unión está en que la soldadura de las dos piezas se encuentra en la sección frontal, no en la longitudinal de la probeta como se puede observar en la figura 1.7.

Se usa comúnmente para producir uniones en alambres, varillas, tubos y formas extruidas simples de metales similares y disimiles.



*Figura 1.7.- Unión a tope*

#### UNIÓN DE TRASLAPO

Este tipo de unión tiene como característica que la soldadura se la realiza en toda la superficie longitudinal del material, no en los extremos. Permitiendo principalmente la soldadura de planchas y perfiles como se muestra en la figura 1.8 A, este tipo de unión la podemos observar en la figura 1.8 B.

La soldadura de traslapo sirve para unir lámina o papel de aluminio consigo mismo y también con lámina o papel de cobre.

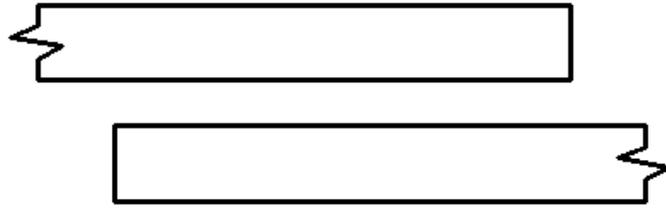


Figura 1.8A.- Placas antes de soldar

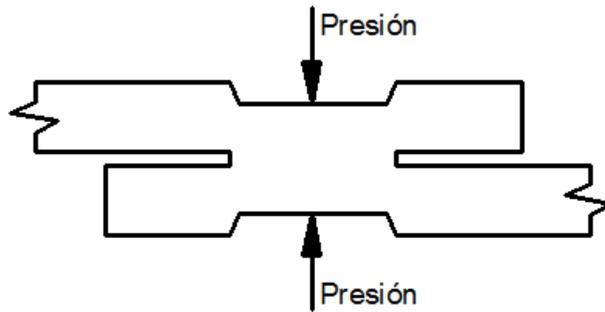


Figura 1.8B.- Soldadura de traslapeo

La presente tesis, se centrará únicamente en la unión a tope, ya que permite una mejor visualización del proceso y facilita su estudio tanto en la deformación plástica, la estructura de grano atravesado, el endurecimiento del material y por una mayor cantidad de aplicaciones en la industria que la soldadura de traslapeo.

## 1.2.2. VARIABLES DEL PROCESO

### 1.2.2.1. DEFORMACIÓN $\delta$

La deformación es el cambio de forma y tamaño de los cuerpos debido a la variación de temperatura o la acción de fuerzas aplicadas. Cuando se realiza la soldadura el único factor que se toma en cuenta es la presión sometida en la sección frontal de la probeta.

La deformación unitaria o axial ( $\varepsilon$ ) es la relación existente entre la deformación total y la longitud inicial de la probeta. Se puede observar en la figura 1.9.

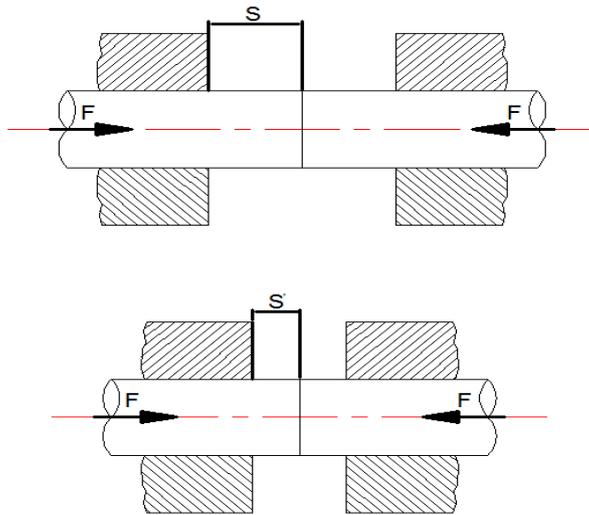
$$\varepsilon = \frac{\Delta s}{s} = \frac{s' - s}{s}$$

Dónde:

$\varepsilon$  = deformación unitaria (adimensional)

$s'$  = Longitud final.

s = Longitud inicial.



*Figura 1.9.- Deformación en la soldadura por presión en frío*

La soldadura por presión produce gran deformación en los materiales soldados. Por tal motivo el material que se va a unir debe ser dúctil.

La presión de soldadura depende de los valores de deformación necesaria  $\delta$ . En la figura 1.10 se presenta la correspondencia entre la deformación del material y la presión aplicada. Se ilustra el comportamiento del material durante el proceso de deformación, la sección AB de la curva muestra la zona donde se produce la soldadura en frío. Sin embargo para realizar una unión óptima se necesita una deformación unitaria mínima de 70% para el aluminio y 80% para el cobre.

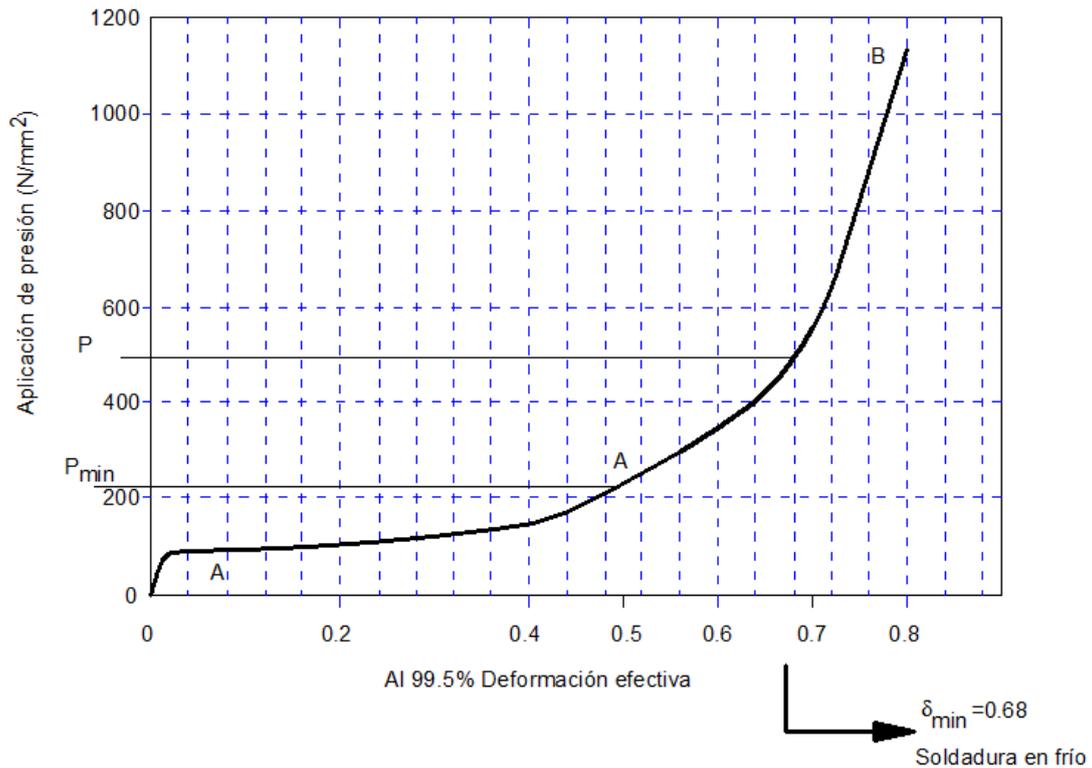


Figura 1.10.- Diagrama presión-deformación en la soldadura por presión en frío a tope.

### NÚMERO DE MÉRITO

El número de mérito es una relación porcentual entre la medida inicial de la probeta y la medida final una vez realizada la deformación en frío.

Se define como:

$$Figura\ de\ merito = \frac{r}{2t} \times 100$$

Dónde:

$r$  = Longitud de la soldadura (s` Longitud final de deformación)

$t$  = Longitud de las probetas (s longitud inicial sin deformación)

La tabla 1.1 se indican los valores de figura de mérito para diferentes metales obtenidas a partir de la deformación óptima de trabajo para cada material.

Número de mérito para la soldadura por presión en frío		
Material	Número de mérito	Deformación óptima
Aluminio puro comercial	33	34%
Aluminio con 2 % de magnesio	30	40%
Duraluminio	20	60%
Cadmio	16	68%
Plomo	16	68%
Cobre	14	72%
Hierro	8	84%
Plata	6	88%
Aluminio y cobre	16	68%
Aluminio y hierro	12	76%
Hierro y níquel	6	88%

*Tabla 1.1.- Número de mérito<sup>6</sup>*

### **1.2.2.2. ENDURECIMIENTO POR DEFORMACIÓN EN FRÍO**

El endurecimiento por deformación frío es el fenómeno por el que un metal dúctil se vuelve más resistente y duro mientras mayor sea la deformación plástica.

El endurecimiento de los metales a medida que se aplica mayor fuerza produce una dislocación o desplazamiento en la estructura cristalina, comprimiendo y aumentando considerablemente la cantidad en una sección menor, al encontrarse más unidos y siendo más difícil que se muevan se requiere de una fuerza mayor para el desplazamiento de las moléculas, por lo tanto se dice que el material se ha endurecido.

La figura 1.11 nos muestra el cambio en las propiedades límite elástico y resistencia a la tracción a medida que se produce mayor deformación en frío. Sin embargo a medida que aumenta la deformación va disminuyendo el porcentaje de ductilidad que se puede apreciar en la figura 1.12.

<sup>6</sup> F. C. KELLEY, *Welding journal*, 30, 728, (1951)

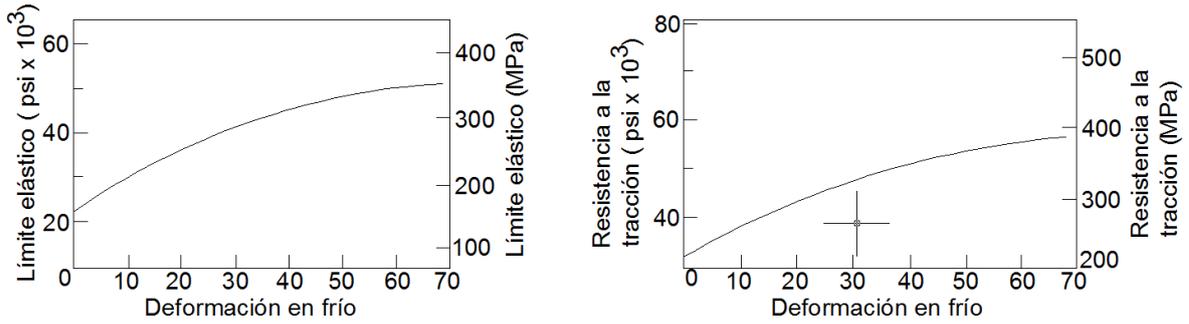


Figura 1.11.- Diagrama Límite elástico y resistencia a la tracción vs porcentaje de deformación en frío.<sup>7</sup>

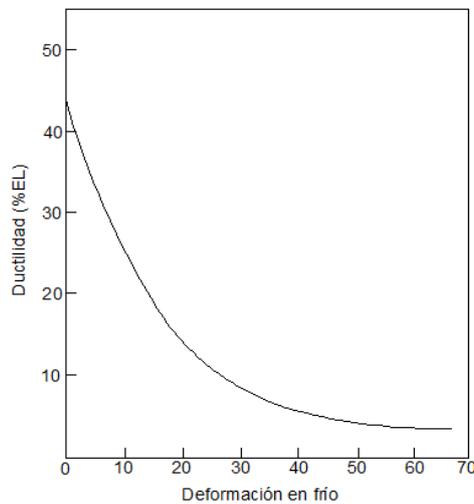


Figura 1.12.- Diagrama porcentaje de ductilidad vs porcentaje de deformación en frío.

El trabajo en frío no sólo causa un aumento de las dislocaciones en la estructura cristalina del metal, sino también causa la deformación de los granos. La combinación de los granos deformados con el aumento de dislocaciones causa esfuerzos residuales dentro del material. Los esfuerzos residuales no son más que zonas de tensión o compresión que existe dentro del material sin que sean generadas por fuerzas externas. Los esfuerzos residuales pueden causar el debilitamiento del material, haciendo que falle a esfuerzos aplicados menores a su resistencia nominal. El aumento de las dislocaciones y la deformación de los granos pueden causar cambios en las propiedades eléctricas, mayor dureza, la resistencia a la corrosión del material, etc.<sup>8</sup>

La resistencia a la tracción, el límite elástico y la dureza aumentan por deformación en

<sup>7</sup> <http://www.uca.edu.sv/facultad/clases/ing/m210031/Tema%2011.pdf>

<sup>8</sup> <http://www.uca.edu.sv/facultad/clases/ing/m210031/Tema%2011.pdf>

frío, mientras que el alargamiento a la rotura y la estricción a la rotura, disminuyen.

### 1.2.2.3. PRESIÓN DE SOLDADURA

La presión de soldadura debe ser mayor al límite de elasticidad del material a soldar (en el caso del cobre entre 20 a 30 Kgf/mm<sup>2</sup> y para el aluminio de 10 a 20 Kgf/mm<sup>2</sup>), permitiendo así la deformación óptima de trabajo, pudiendo ser obtenidas a partir de la siguiente relación:

$$P_w = Y_p \left( \frac{100}{2 \# \text{mérito}} \right)$$

Sin embargo para estudiar la soldadura por presión debe se debe saber la fuerza principal que actúa sobre la probeta:

$$F = P_w \times A$$

Dónde:

$F$  = Fuerza principal en la probeta.

$P_w$  = Presión de soldadura.

$A$  = Superficie de la unión.

Obteniendo las reacciones y las normales en las mordazas de sujeción a partir de la fuerza  $F$ :

$F_1$  = Fuerza de reacción.

$F_2$  = Fuerza normal.

En la figura 1.13 se observan las fuerzas principales en la soldadura a tope

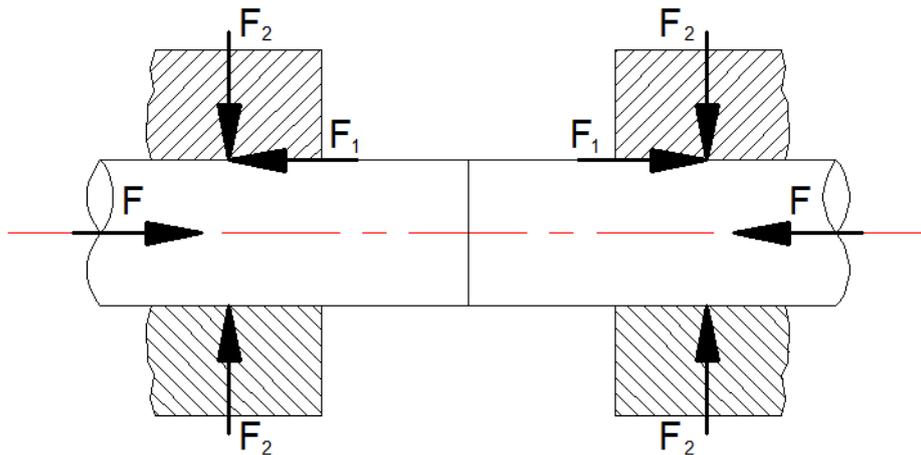


Figura 1.13.- Principales fuerzas actuando en la soldadura por presión en frío.

La presión de soldadura para la presente tesis se obtendrá a partir de la relación entre presión de soldadura con el límite de elasticidad, y ensayos realizados anteriormente que demuestran una presión similar para el proceso sin embargo el diseño será tomado los valores del cobre porque el límite de elasticidad y la resistencia a la compresión del aluminio es menor se concluye que se necesita una presión menor para soldar aluminio.<sup>9</sup>

### 1.2.3. CALIDAD DE LA SOLDADURA POR PRESIÓN EN FRÍO

La calidad es la comparación de propiedades de un objeto con respecto a otro de su misma especie. Por lo tanto en la soldadura por presión en frío se compara la calidad de la soldadura con respecto al material base.

La soldadura en alambre recocido de cualquiera de las aleaciones de aluminio soldables presentan resistencias a la tensión superiores al 95% del metal base. En alambre de aluminio tipo EC o 5005 trabajado en frío, y en alambre tipo 6201 tratado térmicamente, se logran calidades de soldadura del 92 al 100%. En pruebas de flexión, la unión soldada puede doblarse o torcerse la mitad de veces que un alambre no soldado de la misma aleación, antes que falle.<sup>10</sup>

En alambre de cobre, el endurecimiento por trabajo en la soldadura en frío aumenta la resistencia mecánica del metal hasta igualar la del alambre estirado.

<sup>9</sup> YANCHAPAXI, J. *Soldadura por presión en frío para el laboratorio de la EPN*, EPN, 1984, P9.

<sup>10</sup> *Manual de soldadura, American Welding Society*. Tomo III Prentice-hall Hispanoamérica S.A. México P906.

Para la presente tesis se realizará ensayos con materiales para garantizar la mayor calidad de soldadura posible, por lo tanto el aluminio utilizado será: en alambre tipo EC, 5005 trabajado en frío y el alambre 6201 tratado térmicamente, además se utilizará el aluminio en aleación 1xxx o aluminio común por su calidad de soldadura de 85 a 90%.

El cobre utilizado será en barras de copper wire (cobre electrolítico) que se constituye de un 99% de cobre, además se realizará ensayos con varilla de 7mm. Porque garantizan una calidad en la unión del 80 al 100%. El bronce no puede ser soldado en frío porque es frágil y tiende a romperse durante el proceso, mientras que el latón presenta una calidad de soldadura baja entre 50 a 60%.

#### 1.2.4. PROCEDIMIENTO DE LA SOLDADURA A TOPE

Las probetas deben colocarse dentro de las mordazas con una separación de dos a cuatro veces el espesor de las piezas, para evitar que se desvíen o deslicen uno sobre el otro cuando se aplica la fuerza. Como se aprecia en la figura 1.14.

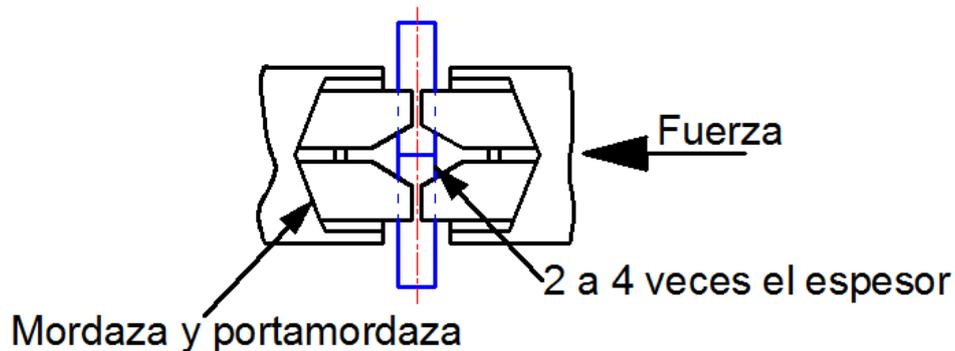


Figura 1.14.- Correcta sujeción soldadura a tope.

La sujeción debe ser firme evitando que las probetas se resbalen durante el proceso de unión, por lo tanto los dados deben cerrarse casi por completo sin producir una estría mayor al 3% del diámetro de la pieza en barras redondas, y un 10% en piezas rectangulares.

La aplicación de fuerza hace que el material que está entre los dados se desplace radialmente, produciendo en el material lo siguiente.<sup>11</sup>

- Disgrega la película de óxido presente en las superficies puestas a tope y hace que salga en su mayor parte de la zona de unión.
- Permite que el metal libre de óxido de un lado de la interfaz establezca un contacto íntimo con el metal libre de óxido del otro lado.
- Suministra la energía que permite a las superficies en contacto formar un enlace metálico entre ellas.

De esta manera, se satisfacen todos los requisitos para formar la soldadura. El material desplazado se forma por el flujo radial del metal que luego puede ser cercenado manualmente o por las mismas mordazas cuando estas se juntan.

Por lo regular, la velocidad de compresión no afecta la soldadura, la unión se forma si la cantidad de material desplazado es suficiente.

### **1.2.5. COMPARACIÓN ENTRE LA SOLDADURA POR PRESIÓN EN FRÍO Y OTROS PROCESOS**

La soldadura por presión en frío es un proceso económico ya que no necesita material de aporte y energía externa (electricidad, temperatura, etc.). Además tiene la característica de ser limpio, porque no genera gases y producción de escorias. El material desplazado es reciclado por lo tanto no genera desperdicios.

Este proceso está limitado a dos tipos de uniones y una calidad de unión menor a los otros procesos donde se aplica calor generando la fusión de los materiales.

### **1.2.6. APLICACIONES**

Las uniones a tope soldadas en frío se usan para la fabricación de alambre de aluminio, cobre, oro, plata y platino. La aplicación más común es la unión de carretes sucesivos de alambre y la unión de varillas para trefilar a diámetros menores mediante un proceso

---

<sup>11</sup> *Manual de soldadura, American Welding Society. Tomo III Prentice-hall Hispanoamérica S.A. México P903.*

continuo. También se emplean para reparar rupturas en el alambre que ocurren durante la operación de estirado.<sup>12</sup>

El proceso se aplica en la unión de tuberías y varillas en los módulos o centrales espaciales por la ausencia de oxígeno, además se aplica en tubing para la unión de tuberías cobre.

La unión de traslapo se aplica en la industria eléctrica, ya que resulta especialmente útil en la fabricación de dispositivos eléctricos en los que se requiere una transición entre devanados de aluminio y terminaciones de cobre. La gama de aplicaciones eléctricas abarca desde transformadores grandes hasta pequeños dispositivos electrónicos.

Una variación de la soldadura en frío traslapada es la formación de la costura de tubos de aluminio, cobre, o níquel comercialmente puros estrangulándolos, hasta formar el tubo, además sirve para unir láminas o papel de aluminio y cobre consigo mismo.

### **1.3. FORMAS REALES DE LAS SUPERFICIES**

Para realizar la soldadura en frío solamente es necesario colocar los metales juntos a una distancia igual a un radio atómico entre materiales, permitiendo que actúen las fuerzas de atracción entre los átomos y se produzca la unión. Sin embargo por la irregularidad de las superficies y por las impurezas existentes entre las dos secciones a soldar, por lo tanto es necesaria la aplicación de presión para acercar los átomos.

Una superficie nunca podrá ser totalmente lisa y plana, la rugosidad, la microgeometría y las impurezas de las superficies le dan diferentes texturas e imperfecciones que serán estudiadas a continuación.

#### **1.3.1. RUGOSIDAD**

La rugosidad superficial depende principalmente del acabado que se dé a las superficies, por lo tanto se define como: La forma, la microgeometría y el conjunto de irregularidades que posee una superficie, se la mide en micras tomando en cuenta las crestas y valles.

---

<sup>12</sup> *Manual de soldadura, American Welding Society. Tomo III Prentice-hall Hispanoamérica S.A. México P905-907.*

Si se observa con gran aumento la zona a soldar (por ejemplo con un microscopio metalográfico) se verá que por efecto del maquinado de la misma, en las superficies existen resaltes y cavidades, de hasta 200 diámetros atómicos para las superficies más lisas que se pueden conseguir y de hasta 10000 diámetros atómicos para las superficies pulidas.<sup>13</sup>

La forma real de la superficie o rugosidad posee cuatro características principales: ondulación, orientación, rugosidad, y fallas. Estas características la podemos observar en la figura 1.15.

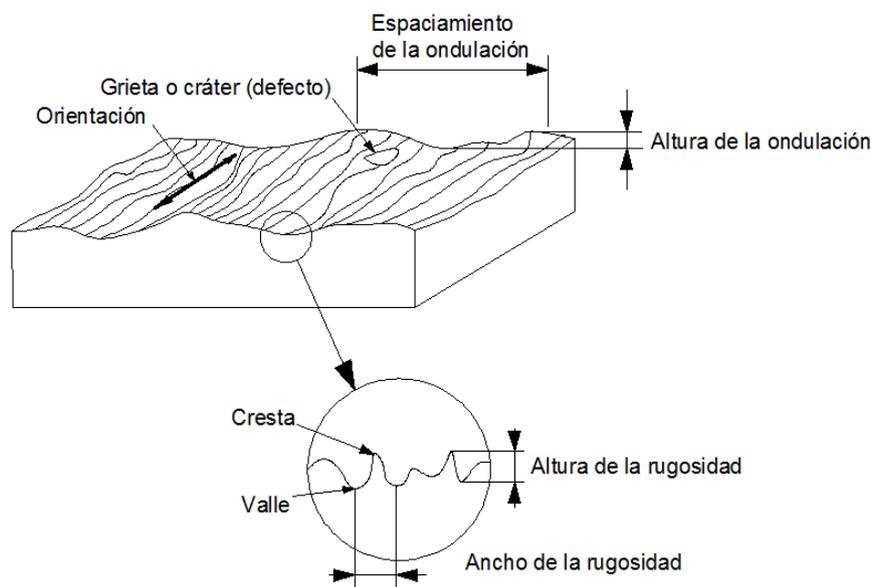


Figura 1.15.- Características de la rugosidad de una superficie.<sup>14</sup>

Para realizar la soldadura se requiere de un contacto íntimo entre caras. Por lo tanto la rugosidad no permite que los átomos se acerquen lo suficiente (1 radio atómico) para formar el enlace metálico.

El desplazamiento radial del metal soldado permite que la rugosidad no afecte mayormente a la formación de la soldadura, sin embargo para una unión óptima se

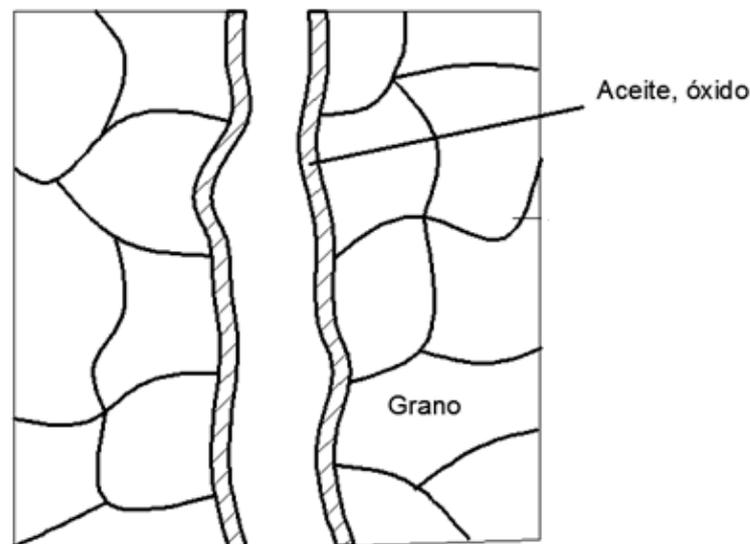
<sup>13</sup> ESPINOSA R. *Apuntes de soldadura*. EPN. Quito P5

<sup>14</sup> <http://www.monografias.com/trabajos70/acabados-superficiales-normas-simbologia/acabados-superficiales-normas-simbologia2.shtml>

necesita que la rugosidad sea menor a 500 micras, ya que contiene menor cantidad de impurezas y suciedad la superficie.

### 1.3.2. IMPUREZAS DE LAS SUPERFICIES

Otra dificultad para producir la soldadura por presión en frío, es la gran cantidad de impurezas que existen en las superficies que serán soldadas. La presencia de aceites, óxidos y humedad no permiten la unión por atracción atómica, estas impurezas se las puede observar en el gráfico 1.16.



*Figura 1.16.- Impurezas de las superficies a soldar.*

Para obtener una unión firme se debe preparar las superficies limpiando las impurezas con desengrasantes y retirar el óxido con cepillos de alambre o gratas. Sin embargo la soldadura se debe realizar inmediatamente después de la limpieza porque a medida que pasa el tiempo se forma una capa de óxido de mayor espesor. La tabla 1.2 presenta la relación entre el tiempo y el espesor de la capa de óxido que se forma.

*Espesor, d, del óxido en un ( t=)*

Metal	1 minuto	1 hora	1 día
Hierro	20	24	33
Cobre	33	50	150
Aluminio	20	80	100
18-8 Inoxidable	10	10	10

*Relación funcional (t en horas)*

$$d - 30 = 30 e^{0,00130\sqrt{t}}$$

*d en cm X 10<sup>-8</sup> o angstrom; θ en °C*

*Tabla 1.2.- Espesor de capa de óxido vs tiempo<sup>15</sup>*

La principal dificultad para realizar la soldadura es la formación de óxido en las superficies ya que el desplazamiento lateral no remueve las impurezas del centro de la probeta, a medida que pasa el tiempo se tiene una capa de mayor espesor de óxido que no permite la unión por lo tanto el proceso se debe realizar inmediatamente después de la limpieza.

### **1.3.3. PREPARACIÓN DE LAS SUPERFICIES**

Para la soldadura en frío se requiere que caras metálicas limpias que entren en contacto íntimo formando una unión interatómica. Es indispensable una preparación adecuada de las superficies para asegurar la obtención de uniones con óptima resistencia mecánica. La suciedad, gases absorbidos, aceites o películas de óxido en las superficies interfieren el contacto metal-metal y deben eliminarse para obtener soldaduras fuertes.

El mejor método de preparación de las superficies es el cepillado con alambre a una velocidad superficial de 15m/s (3000 pies/min). Por lo regular se emplea un cepillo rotatorio impulsado por motor, de alambre de acero inoxidable de 0.1mm (0.004 pulg) de diámetro. Los cepillos de alambre más suaves pueden bruñir las superficies; los tipos más gruesos pueden eliminar demasiado metal y hacer áspera la superficie. Las superficies deben desengrasarse antes del cepillado para evitar la contaminación de los cepillos. Es importante no tocar con las manos la superficie limpia porque los aceites o grasa en las superficies de empalme impiden la formación de una unión. La soldadura debe efectuarse tan pronto después de la limpieza como resulta práctico, a fin de evitar

<sup>15</sup> UDIN, H., FUNK, E., WULFF, J, *Welding for engineers*. John Wiley y Sons, Inc. 1954. P15

que la oxidación interfiera la adhesión. En el caso del aluminio, por ejemplo, la soldadura debe efectuarse antes de que pasen 30 segundos.

Los métodos de limpieza química y con abrasivos no han resultado satisfactorios para limpiar superficies que van unirse por soldadura en frío. Los residuos de agentes químicos o las partículas de abrasivo incrustadas en la superficie pueden evitar la formación de una soldadura firme.<sup>16</sup>

#### **1.4. MATERIALES SOLDABLES**

Los metales con estructura de red cúbica centrada en las caras (FCC, figura 1.17) son los más apropiados para la soldadura en frío, porque tiene una mayor separación entre los átomos ( $a = \frac{4r}{\sqrt{2}}$  donde: r es el radio atómico del material), permitiendo una mayor ductilidad y facilidad de deformación que las otras redes cúbicas, siempre que no se endurezcan rápidamente al trabajarse. El aluminio y el cobre son los más fáciles de soldar en frío. Otros metales FCC que se pueden soldar en frío son el oro, la plata, el paladio y el platino.

La unión de cobre con aluminio mediante soldadura en frío es una buena aplicación del proceso, sobre todo cuando se unen tubos de aluminio o aluminio con calidad para conductor eléctrico con secciones cortas de cobre para formar uniones de transición entre los dos metales. Estas soldaduras en frío se caracterizan por una deformación bastante mayor del aluminio que del cobre debido ya que el cobre es más resistente a la deformación y a la diferente forma que se endurecen al trabajarse en frío estos metales.<sup>17</sup>

---

<sup>16</sup> *Manual de soldadura, American Welding Society*. Tomo III Prentice-hall Hispanoamérica S.A. México P900.

<sup>17</sup> *Manual de soldadura, American Welding Society*. Tomo III Prentice-hall Hispanoamérica S.A. México P900.

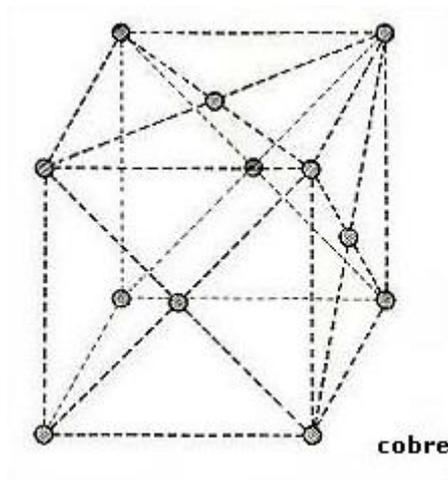


Figura 1.17.- Red cúbica centrada en las caras.

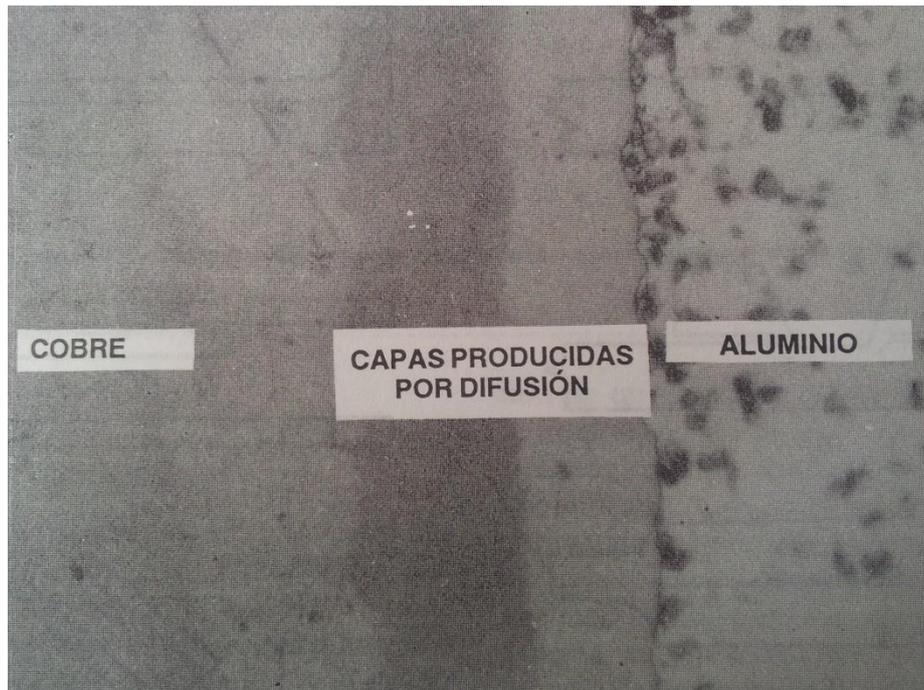
#### 1.4.1. SOLDADURA DE METALES DISÍMILES

Es posible unir mediante soldadura en frío varios metales disímiles. En algunos casos, los dos metales pueden combinarse para formar compuestos intermetálicos. Puesto que la soldadura en frío se lleva a cabo a temperatura ambiente, no tiene lugar una difusión apreciable entre metales disímiles durante la soldadura, como se aprecia en la figura 1.18.

La capa intermetálica formada puede ser quebradiza y reducir notablemente la ductilidad en la unión. Estas soldaduras son muy sensibles a las cargas de flexión o impacto después de formarse una capa intermetálica.

Pruebas mecánicas han demostrado que la fortaleza y la ductilidad de la unión decrecen cuando el espesor de la capa interfacial es mayor que 0,05 mm (0,002 pulg). En consecuencia las soldaduras en frío aluminio-cobre solo deben usarse en aplicaciones en las que las temperaturas de servicio sean bajas y las temperaturas máximas casi nunca, o nunca, excedan los 65°C (150°F).<sup>18</sup>

<sup>18</sup> *Manual de soldadura, American Welding Society*. Tomo III Prentice-hall Hispanoamérica S.A. México P900.



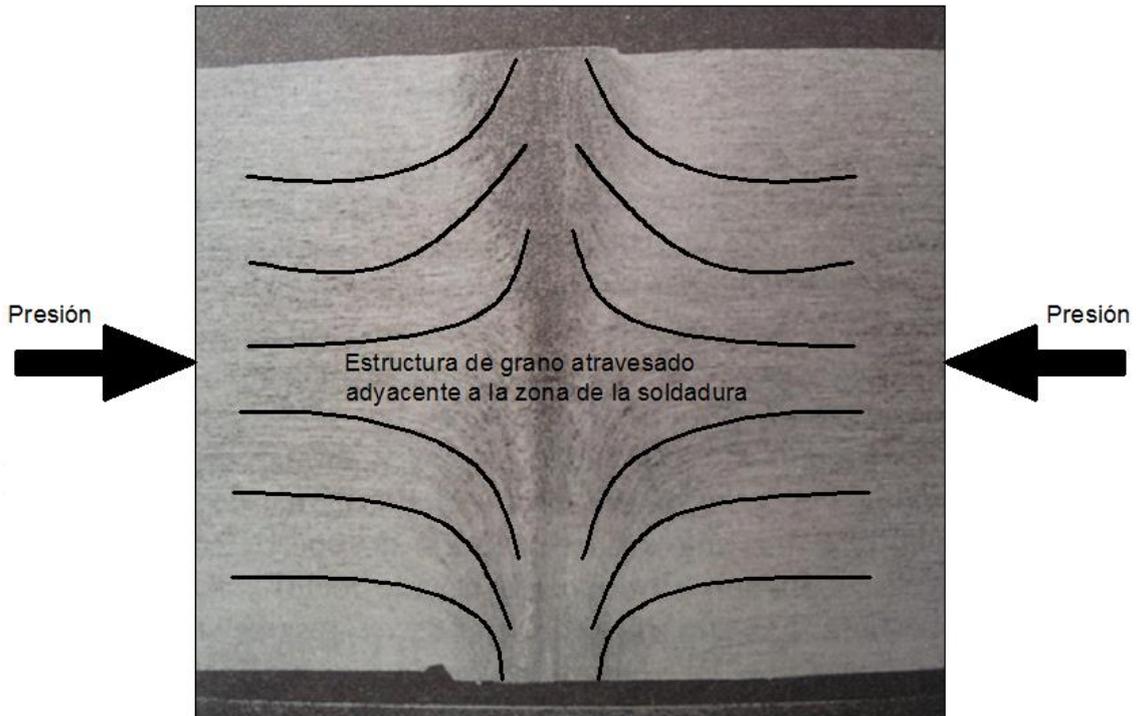
*Figura 1.18.- Estructura de capas de una soldadura aluminio-cobre hecha en frío.<sup>18</sup>*

#### **1.4.2. ESTRUCTURA METALÚRGICA**

En las uniones a tope, el flujo radial de metal entre las mordazas durante la unión produce una estructura de grano atravesado adyacente a la zona de la soldadura, como se muestra en la figura 1.19. Este material de grano atravesado es en esencia una sección transversal angosta de la unión soldada. La presencia de esta sección no es importante en materiales como el aluminio, el cobre y algunas de sus aleaciones, la resistencia a la corrosión o a la fatiga puede ser apreciablemente menor en la unión soldada.<sup>19</sup>

---

<sup>19</sup> *Manual de soldadura, American Welding Society. Tomo III Prentice-hall Hispanoamérica S.A. México P900.*



*Figura 1.19.- Líneas de flujo transversal en una unión a tope soldada en frío.*

A continuación se estudia los metales que se utilizan en la presente tesis

### **1.4.3. ALUMINIO**

El aluminio es un elemento químico de símbolo Al. Es un metal no ferromagnético, se presenta en forma cristalina de cubos centrados en las caras, con un parámetro de red de  $4.0413 \times 10^{-8}$  centímetros y un radio atómico de  $1.4286 \times 10^{-8}$  cm, siendo uno de los principales componentes de la corteza terrestre, formando un 8.13%.

#### **1.4.3.1. OBTENCIÓN DEL ALUMINIO**

El aluminio se extrae principalmente de la bauxita por su gran cantidad del mineral entre 20% y 30%, frente al 10% o 20% de los silicatos aluminicos existentes en arcillas y carbones. La obtención del aluminio se realiza en dos fases:

1. Separación de la alúmina de las bauxitas, comienza con el triturado de la bauxita y un lavado con una solución caliente de hidróxido de sodio a elevada temperatura y alta presión, siendo separados los materiales no alumínicos por decantación.
2. Reducción de la alúmina mediante la electrólisis, se la realiza con unos electrodos de carbón sumergidos en una cuba, tanto el ánodo como el cátodo deben estar horizontalmente, separando el metal del resto de las impurezas obteniendo un aluminio del 99.9% de pureza.

Después se vierte al metal en moldes para formar chapas o lingotes.

#### **1.4.3.2. PROPIEDADES MECÁNICAS**

- Muy maleable, permite la producción de láminas muy delgadas.
- Bastante dúctil, permite la fabricación de cables eléctricos.
- Material blando (Escala de Mohs: 2-3).
- Límite de resistencia en tracción: 160-200 N/mm<sup>2</sup> [160-200 MPa], aleado el rango es de 1400-6000 N/mm<sup>2</sup>. El duraluminio es una aleación particularmente resistente.
- Permite la fabricación de piezas por fundición, forja y extrusión.
- Material soldable.
- Módulo de elasticidad  $\epsilon=65700$  MPa
- Módulo de torsión  $\tau=26487$  MPa
- Coeficiente de Poisson  $\mu=0.34$
- Compresibilidad  $\beta_t=1.4 \times 10^{-8}$  MPa

### 1.4.3.3. PROPIEDADES QUÍMICAS DEL ALUMINIO

En la tabla 1.3 se muestran las propiedades químicas del aluminio

Nombre	Aluminio
Símbolo	Al
Número atómico	13
Valencia	3
Estado de oxidación	+3
Electronegatividad	1,5
Radio covalente (Å)	1,18
Radio iónico (Å)	0,50
Radio atómico (Å)	1,43
Configuración electrónica	[Ne]3s <sup>2</sup> 3p <sup>1</sup>
Primer potencial de ionización (eV)	6,00
Masa atómica (g/mol)	26,9815
Densidad (g/ml)	2,70
Punto de ebullición (°C)	2450
Punto de fusión (°C)	660

*Tabla 1.3.- Propiedades químicas del aluminio*

Las propiedades presentadas anteriormente son del aluminio escogido, en la página 17 se realizó un análisis para elegir el aluminio para las pruebas de la presente tesis.

#### 1.4.4. COBRE

El cobre es un elemento metálico, de color rojizo, muy dúctil. El metal cobre se designa como elemento químico de símbolo Cu, se presenta en forma cristalina de cubos centrados en las caras, con un parámetro de red de  $3.6078 \times 10^{-8}$  centímetros, a 20°C.<sup>20</sup>

##### 1.4.4.1. OBTENCIÓN DEL COBRE

El cobre está presente en la corteza terrestre principalmente en forma de minerales sulfurados como la calcopirita ( $\text{CuFeS}_2$ ), bornita ( $\text{Cu}_5\text{FeS}_4$ ) y calcosina ( $\text{Cu}_2\text{S}$ ). El contenido en cobre de estos minerales es bajo, alrededor de un 0.5% en minas a cielo abierto y hasta un 2% en minas subterráneas.

El cobre también se presenta en forma de minerales con oxígeno como carbonatos, óxidos, silicatos y sulfatos, pero en menor concentración.

Según sea la mena, el proceso de extracción del cobre será diferente, así tenemos:

- Extracción de cobre a partir de menas sulfuradas (pirometalurgia)

Alrededor del 90% del cobre que se produce en el mundo proviene de los minerales de sulfuro. La extracción tiene cuatro etapas:

Concentración por flotación

Tostación

Fusión de mata

Afino

- Extracción de cobre a partir de menas de óxido (hidrometalurgia)

Aunque el cobre se presenta más frecuentemente en la forma de sulfuros, también se presenta en forma oxidada como carbonatos, óxidos, silicatos y sulfatos. Estos minerales oxidados, cuando

---

<sup>20</sup> LASHERAS, E.; *Materiales industriales*. Zaragoza. 1981. P639.

están presentes en cantidad suficiente en la mena, puede ser reducidos directamente a cobre impuro en el alto horno, como se hacía en el pasado. Pero en la actualidad las menas que se explotan tienen una concentración muy baja de cobre, por lo que es necesario recurrir a otras técnicas como la lixiviación mediante ácido sulfúrico seguida por la precipitación o por la electrólisis del cobre de la solución.<sup>21</sup>

#### **1.4.4.2. PROPIEDADES MECÁNICAS DEL COBRE**

- Tanto el cobre como sus aleaciones tienen una buena maquinabilidad.
- El cobre posee muy buena ductilidad y maleabilidad lo que permite producir láminas e hilos muy delgados y finos.
- Es un metal blando, con un índice de dureza 3 en la escala de Mohs (50 en la escala de Vickers)
- su resistencia a la tracción es de 210 MPa.
- límite elástico de 9 Kgf/mm<sup>2</sup>.
- Admite procesos de fabricación de deformación como laminación o forja, y procesos de soldadura.
- Aleaciones adquieren propiedades diferentes con tratamientos térmicos como temple y recocido. En general, sus propiedades mejoran con bajas temperaturas lo que permite utilizarlo en aplicaciones criogénicas.
- Alargamiento 45 %
- sus propiedades mejoran con bajas temperaturas lo que permite utilizarlo en aplicaciones criogénicas

---

<sup>21</sup> "Metalurgia extractiva: procesos de obtención". José Sancho, Luis Felipe Verdeja y Antonio Ballester. Editorial Síntesis, 2000.

### 1.4.4.3. PROPIEDADES QUÍMICAS DEL COBRE

En la tabla 1.4 se muestran las propiedades químicas del cobre

Nombre	Cobre
Símbolo	Cu
Número atómico	29
Valencia	1,2
Estado de oxidación	+2
Electronegatividad	1,9
Radio covalente (Å)	1,38
Radio iónico (Å)	0,69
Radio atómico (Å)	1,28
Configuración electrónica	[Ar]3d104s1
Primer potencial de ionización (eV)	7,77
Masa atómica (g/mol)	63,54
Densidad (g/ml)	8,96
Punto de ebullición (°C)	2595
Punto de fusión (°C)	1083

*Tabla 1.4.- Propiedades químicas del cobre.*

Las propiedades presentadas anteriormente son del cobre escogido, en la página 17 se realizó un análisis para elegir el cobre para las pruebas de la presente tesis.

## 1.5. VENTAJAS Y LIMITACIONES

La soldadura por presión en frío, como cualquier proceso de soldadura, posee sus ventajas y limitaciones específicas.

### 1.5.1. VENTAJAS

- Estas son algunas de las ventajas de la soldadura por presión en frío:
- No se requiere de un metal de aporte

- No hace falta fundente ni gas protector para la soldadura.
- Se realiza un proceso limpio de soldadura cuidando el medio ambiente, no produce chispas, humos y vapores tóxicos.
- La limpieza superficial no es tan crítica, en comparación de otros procesos de soldadura, ya que la soldadura por presión en frío tiende a desplazar la capa de suciedad y óxido de las superficies a soldarse.
- La resistencia mecánica de la soldadura es equivalente o superior a la más débil de los materiales que se unen.
- No es necesario que los operarios tengan habilidades de soldadura manual.
- La soldadura se realiza con rapidez en comparación con el resto de procesos de soldaduras.
- No hay límite en la longitud del material.

### **1.5.2. LIMITACIONES**

Estas son algunas de las limitaciones de la soldadura por presión en frío:

- Es necesario tener una alineación de las probetas a soldarse, puede ser crucial para la unión y que se pueda producir unión interatómica.
- Los costos de capital por equipo y herramienta son elevados.
- No es posible soldar materiales que no sean dúctiles.
- La máquina de soldadura depende del diámetro o el área a soldarse, entre más grandes estos parámetros se necesita una máquina más potente y esto implica mayores costos.

## **1.6. SISTEMA HIDRÁULICO**

El sistema hidráulico es un conjunto de dispositivos (válvulas, bombas, pistones) que por medio de un líquido permiten generar movimiento pudiendo ser aprovechado en forma de energía.

### **1.6.1. PRINCIPIOS DE LA HIDRÁULICA**

- Los líquidos transmiten en todas las direcciones la presión que se les aplica (principio de Pascal).
- Los líquidos son prácticamente incompresibles.

- Los líquidos permiten multiplicar la fuerza aplicada.

## **1.6.2. FLUIDO HIDRÁULICO<sup>22</sup>**

Los factores principales que determinan escoger un fluido hidráulico son:

- La naturaleza del equipo.
- El ambiente en el cual se va a usar.
- Los requisitos de seguridad y salud.

### **1.6.2.1. EQUIPO**

Los fabricantes recomiendan para el uso del equipo, aceites de viscosidad específica determinada de acuerdo al sistema de bombas y válvulas construidas para tolerancias muy finas, un aceite muy ligero puede causar escapes y lubricación inadecuada, mientras el que es muy espeso puede causar fricción excesiva y dañar la bomba. Los otros componentes del sistema hidráulico no afectan tanto para escoger la viscosidad del aceite.

La mayoría de los aceites hidráulicos industriales que operan a temperaturas normales tienen bombas que requieren aceites con un grado de viscosidad entre 5 y 100 ISO, aunque los grados más comúnmente usados están entre 32 y 46.

### **1.6.2.2. AMBIENTE**

El aceite debe soportar diferentes rangos de temperatura (entre 5 a 65° centígrados). Manteniendo su viscosidad dinámica.

### **1.6.2.3. SEGURIDAD Y SALUD**

El derramamiento del fluido no debe causar daños a plantas o animales que entren en contacto con el aceite. El riesgo de un daño ecológico es mayor si el fluido no es rápidamente biodegradable, esto es, si no es degradado fácil y rápidamente por los organismos vivos en el medio natural. Aquellos materiales no biodegradables persisten en el suelo y el agua por largos períodos y pueden causar daños a largo plazo.

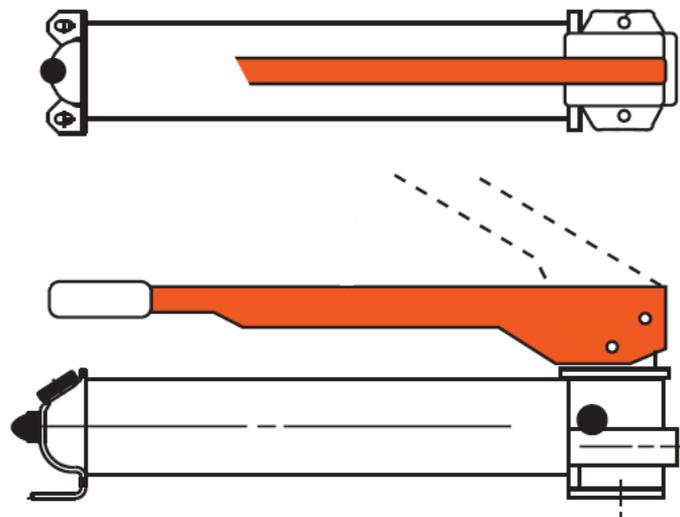
---

<sup>22</sup> SHELL. *Aceites hidráulicos Shell*. Pag. 42

### 1.6.3. ELEMENTOS DEL SISTEMA HIDRÁULICO

#### 1.6.3.1. BOMBA HIDRÁULICA

La bomba hidráulica transforma la energía eléctrica o mecánica, en energía hidráulica produciendo el movimiento del fluido incompresible. El fluido produce aumento de presión, velocidad y altura al incrementar la energía del mismo. En la figura 1.20 se muestra una bomba manual clásica.



*Figura 1.20.- Bomba manual.*<sup>23</sup>

Una vez obtenida la presión de trabajo y la fuerza necesaria para producir la soldadura, en la figura 1.21 se puede obtener la fuerza de accionamiento para la presión de servicio de la bomba.

<sup>23</sup> MANUAL POWERTEAM, pag47.

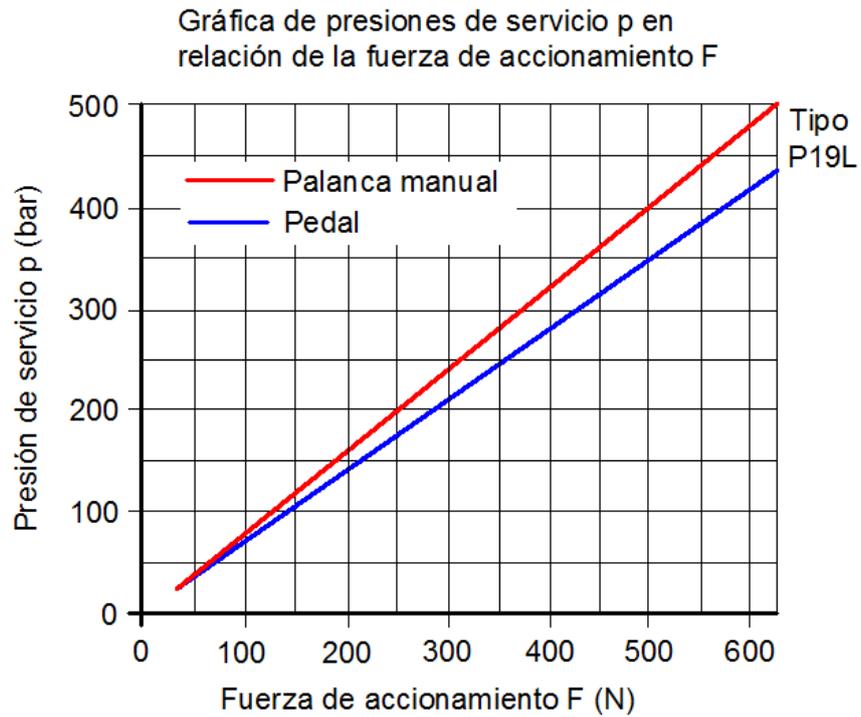


Figura 1.21.-Presión de servicio en relación con la fuerza de accionamiento.<sup>24</sup>

### 1.6.3.2. CILINDRO HIDRÁULICO

También conocido como pistones, son actuadores mecánicos, que transforman la energía del fluido presurizado para dar fuerza a través de un recorrido lineal. Sus principales componentes se muestran en la figura 1.22.

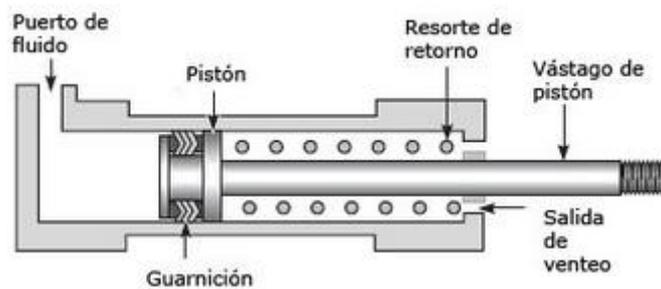


Figura 1.22.- Cilindro hidráulico.

<sup>24</sup> MANUAL POWERTEAM, pág. 47.

En el diseño de la máquina se tiene los valores de presión y fuerza necesarios por lo tanto se necesita únicamente el radio del pistón requerido que se puede encontrar con esta relación.

$$A = \frac{F}{P}$$

Remplazando el área:

$$r^2 \cdot \pi = \frac{F}{P_p}$$

Despejando el radio tenemos:

$$r = \sqrt{\frac{F}{P_p \cdot \pi}}$$

Dónde:

$r$  = Radio del pistón

$F$  = Fuerza de soldadura (3950.34 kgf)

$P_p$  = Presión de trabajo del pistón.

Una vez obtenido el radio se puede determinar el cilindro hidráulico exacto para el proceso. La carrera del pistón es de 30 a 100 mm, con retorno muelle

### **1.6.3.3. MANÓMETRO**

El manómetro es un instrumento utilizado para la medición de la presión en los fluidos, generalmente determinando la diferencia de la presión entre el fluido y la presión atmosférica.

Se utilizará para el control de una presión adecuada para la soldadura un manómetro Burdon, que emplea como elemento sensible un tubo metálico curvado o torcido, de

sección transversal aplanada. Un extremo del tubo está cerrado, y la presión que se va a medir se aplica por el otro extremo. A medida que la presión aumenta, el tubo tiende a adquirir una sección circular y enderezarse. El movimiento del extremo libre (cerrado) mide la presión interior y provoca el movimiento de la aguja como se muestra en la figura 1.23.

Los manómetros Burdon se utilizan tanto para presiones manométricas que oscilan entre 0-1 Kg/cm<sup>2</sup> como entre 0-15000 Kg/cm<sup>2</sup> y también para vacío.

Las aproximaciones pueden ser del 0.1 al 2% de la totalidad de la escala, según el material, el diseño y la precisión de las piezas.

El manómetro Burdon es el instrumento industrial de medición de presiones más generalizado, debido a su bajo costo, su suficiente aproximación y su duración.

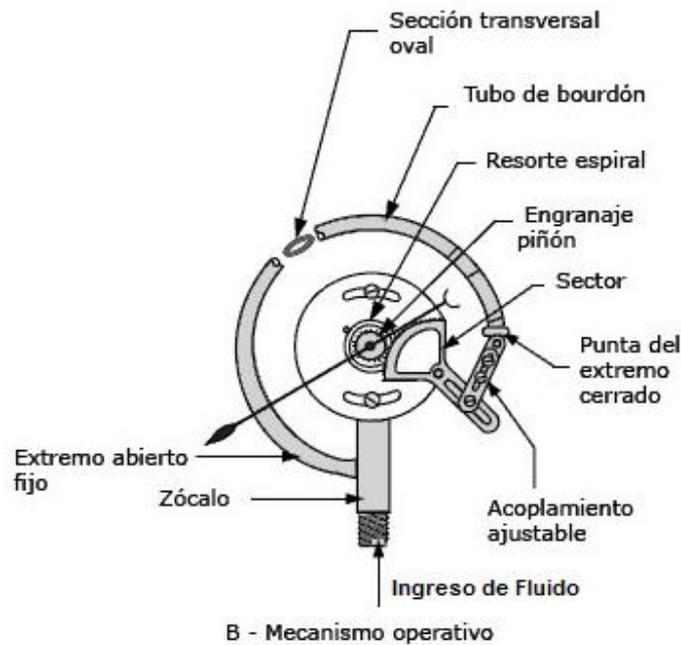


Figura 1.23.- Manómetro Burdon

## 1.7. MATERIALES PARA LA MÁQUINA (Ver anexo 2C)

Para realizar la soldadura por presión en frío se necesita de elevada presión hasta 11 veces el límite de elasticidad del metal soldado, durante el proceso, cada uno de los elementos son sometidos a esfuerzos, por lo tanto el empleo y buen uso de los diferentes materiales de la máquina garantizan su correcto funcionamiento y aplicación.

### 1.7.1. ACERO PARA LAS MORDAZAS, Y CUÑA<sup>25</sup>

Para los sistemas de sujeción se necesita materiales con alta resistencia mecánica con buena tenacidad, al aplicarse la presión de soldadura no se deforme manteniendo su forma original, que permita el temple.

El material a emplearse es el **AISI 01, K460**.

Es un acero al manganeso-cromo-tungsteno, se tiempla en aceite para uso general. Se utiliza para aplicaciones de trabajo en frío, posee una buena maquinabilidad.

Al realizar el temple y revenido mantiene su estabilidad dimensional combinando dureza y tenacidad. Las propiedades mecánicas se pueden apreciar en la tabla 1.5.

Resistencia a la tracción	80-90 kg/mm <sup>2</sup>
Límite elástico	80 kg/mm <sup>2</sup>
Esfuerzo de cedencia	70 kg/mm <sup>2</sup>
Elongación, A5	Min 12%
Reducción del área, Z	Min 45%
Resistencia al impacto, KU	Aproximadamente 20 J
Dureza	190 HRB

Tabla 1.5.- Propiedades mecánicas en condición de suministro del acero AISI 01.

<sup>25</sup> IBCA, IVAN BOHMAN C.A. *Catálogo de aceros, herramientas de corte y soldadura*. P2.

### **1.7.2. ACERO PARA TUERCAS DE SUJECIÓN, ELEMENTOS SOMETIDOS A MENORES ESFUERZOS**

Se realizaran con material **ASTM ST-37**, o acero transmisión, acero de bajo costo, esta aleado carbono (0.36%), manganeso (0.90%), silicio (0.28%) y fósforo (0.04%), posee una densidad de 7.85 gr/CC.

Acero de resistencia mecánica media con buena tenacidad, baja templabilidad. Las propiedades mecánicas se muestran en la tabla 1.6.

Resistencia a la tracción ultima	42.318 kg/mm <sup>2</sup>
Resistencia a la tracción rendimiento	20.9 kg/mm <sup>2</sup>
Alargamiento a la rotura	21%
Resistencia a la presión	14276.027 kg/mm <sup>2</sup>
Módulo de rigidez	8157.73 kg/mm <sup>2</sup>

*Tabla 1.6.- Propiedades mecánicas en condición de suministro Acero A284c.*

### **1.7.3. ACERO PARA EJES GUÍAS**

Por facilidad de construcción se suministra materiales rectificadas por lo tanto para las guías de la máquina se utiliza **acero plata**.

Acero para herramientas tipo AISI 01, se suministra rectificado, con acabado brillante y tolerancias estrechas (iso H8).

### **1.7.4. BRONCE PARA BOCINES**

EL bronce utilizado permite un libre movimiento de la máquina por lo tanto se utiliza el bronce **SAE 40**.

Aleación de cobre de buenas cualidades elásticas y de resistencia al desgaste. De alta pureza del material, con la eliminación total de porosidad interna.

## **1.8. TRATAMIENTOS TÉRMICOS**

Los tratamientos térmicos, en general, son operaciones de calentamiento y enfriamiento de los metales o aleaciones, a temperaturas y velocidades variables, mediante los cuales se persigue fundamentalmente, conseguir cambios en la estructura cristalina y mejorando sus propiedades mecánicas.<sup>26</sup>

### **1.8.1. TEMPLE**

El temple en los aceros tiene por finalidad aumentar su dureza y resistencia produciendo un tipo de acero llamado martensita, para ello se debe calentar el metal hasta la temperatura entre 800°C y 1000°C para luego enfriarlo rápidamente en aceite, agua o aire. Sin embargo se produce gran fragilidad y poca ductilidad en el acero por la cantidad de tensiones internas, por lo que se requiere de un revenido para evitar defectos en el temple.

### **1.8.2. REVENIDO**

Después del temple, los aceros suelen quedar demasiado duros y frágiles para los usos a los que están destinados. Esto se corrige con el proceso del revenido, este proceso consiste en calentar el acero a una temperatura más baja que su temperatura crítica inferior, enfriándolo luego al aire, en aceite o en agua, con esto no se eliminan los efectos del temple, solo se modifican, se consigue disminuir la dureza, resistencia, y las tensiones internas, y se aumenta la tenacidad. El acero, después del temple, está compuesto por cristales de martensita, si se vuelve a calentar a diferentes temperaturas, entre Temperatura Ambiente y 700° y después se enfría al aire, la resistencia a la tracción disminuye a medida que la Temperatura del revenido aumenta, y al mismo tiempo aumenta la ductilidad y la tenacidad.

---

<sup>26</sup> [http://www.dimf.upct.es/personal/MM\\_1/Practicas%20Materiales.pdf](http://www.dimf.upct.es/personal/MM_1/Practicas%20Materiales.pdf)

### 1.8.3. TRATAMIENTOS TERMICOS EN EL ACERO AISI 01 PARA LAS MORDAZAS Y CUÑA<sup>27</sup>

El temple se lo realiza entre 790°C a 850°C, luego enfriarlo en el horno a 850°C/h hasta 650°C y enfriar en aceite hasta los 180 a 225°C y luego enfriar al aire. En la figura 1.24 se aprecia la curva del temple y revenido para el acero.

Después del temple se realiza el revenido para eliminar tensiones internas las temperaturas están entre 500°C, el tiempo de mantenimiento a la temperatura de revenido es de 2 horas, y enfriar al aire. Lo que dará una dureza aproximada de 62HRC.

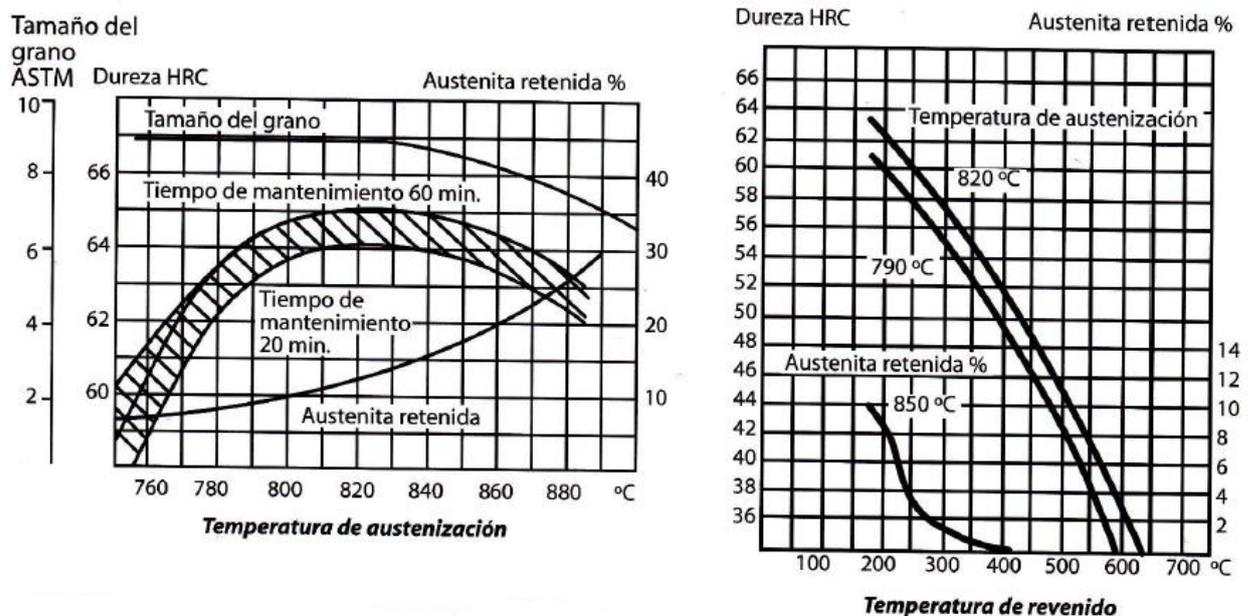


Figura 1.24.- Curvas de temple y revenido en el acero AISI 01.

<sup>27</sup> IBCA, IVAN BOHMAN C.A. *Catalogo de aceros, herramientas de corte y soldadura*. P28.

## 1.9. VARIABLES DE ENTRADA PARA EL DISEÑO DE LA MÁQUINA

### 1.9.1. VARIABLES PARA LA MÁQUINA

Sistema hidráulico:

- Bomba manual.
- Pistón.

Materiales

- AISI 01.
- AISI 1015.
- AISI 1045
- SAE 40

### 1.9.2. MATERIAL A SOLDAR

El cobre posee mayor resistencia, dureza, y requiere mayor porcentaje de deformación para ser soldado que el aluminio, por lo tanto para el diseño se tomara en cuenta los valores requeridos para el cobre, en la tabla 1.7 se muestra las propiedades del cobre que serán empleadas en el diseño.

<b>Descripción</b>	<b>Unidades métricas</b>
Dureza Rockwell	A=35, B=51
Dureza Bickers	100
Módulo de elasticidad	7 kgf/mm <sup>2</sup>
Radio de Poisson	0.35
Resistencia a la presión	9 kgf/mm <sup>2</sup>
Módulo de rigidez	46 GPa
Deformación esperada	70%

*Tabla 1.7.- Propiedades mecánicas del cobre*

Las probetas de la presente tesis serán de 7 mm de diámetro por 120 mm de longitud en los materiales de cobre y aluminio.

## **1.10. SEGURIDAD INDUSTRIAL**

Para el uso seguro del presente prototipo de máquina para soldadura en frío, se recomienda tomar las prácticas seguras enunciadas en la OSHA 1970.217 presas, prensas para doblado, forja y martillos neumáticos.

Entre los riesgos típicos está sobrecargar el equipo, por lo que se deberá controlar la presión ejercida con el manómetro instalado en la bomba de la máquina. Además, se deberá evitar la entrada de las manos o los dedos en el punto de operación, alcanzado a través, sobre, debajo o alrededor de los ejes de la máquina.

Los operadores deberán usar protección ocular y la vestimenta de seguridad industrial que suele usarse para operar este tipo de maquinaria.

## **CAPITULO 2**

### **ESTUDIO DE ALTERNATIVAS**

#### **2.1. EVALUACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS**

Para evaluar las alternativas se analizan los siguientes parámetros:

1. Costo de fabricación.
2. Seguridad.
3. Operación.

##### **2.1.1. COSTO DE FABRICACIÓN**

El costo de fabricación dentro del estudio de alternativas conlleva una gran importancia por el presupuesto destinado para el equipo y da valor final para una posterior comercialización si ese fuera el caso, dentro del parámetro se incluye la facilidad de fabricación de la máquina, la tecnología y materiales, para hacer económico al proyecto.

##### **2.1.2. FACTOR DE SEGURIDAD**

El factor de seguridad muestra el nivel de riesgo o peligro al que está expuesto el operador y los daños que puede sufrir el equipo cuando se encuentra en funcionamiento.

##### **2.1.3. OPERACIÓN**

El parámetro de operación limita la facilidad y confianza del operador mientras realiza las tareas en la máquina, incluyendo el mantenimiento o todas las acciones necesarias que tienen como objetivo mantener la máquina en perfecto estado.

## 2.2. VALORACIÓN NUMÉRICA

Se designa un valor numérico a cada uno de los factores respectivamente para la evaluación de la mejor alternativa como se muestra en la tabla 2.1.

Parámetros		Valoración numérica
Costo de fabricación	Bajo	3
	Medio	2
	Alto	1
Seguridad	Alta	3
	Media	2
	Baja	1
Operación	Fácil	3
	Medio	2
	Difícil	1

*Tabla 2.1.- Valoración numérica*

## 2.3. FACTOR DE PONDERACIÓN

Al evaluar la mejor alternativa se toma en cuenta el nivel de importancia que tienen los parámetros en el equipo y el cuidado de las personas que lo ocupan, para el estudio se dan los siguientes valores:

- Seguridad 2
- Costo de fabricación 3
- Operación 5

La mejor alternativa y la que se ejecutará será la que tenga el puntaje más alto.

Para el estudio de alternativas se analizan los siguientes sistemas y diseños de máquina:

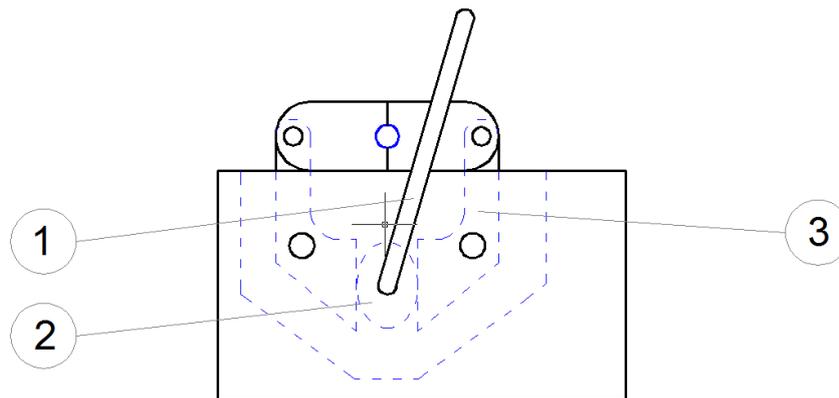
- Sistema de presión.

- Sistema de sujeción.
- Orientación de la máquina.

## 2.4. ALTERNATIVAS DEL SISTEMA DE PRESIÓN

### 2.4.1. ALTERNATIVA 1: SISTEMA DE PRESIÓN MECÁNICO

El sistema consta principalmente de una palanca que se encuentra conectada a una pieza en forma de óvalo que permite el movimiento de compresión de las guías de los portamordazas, dicha palanca genera la carga necesaria para producir la soldadura. El sistema de presión mecánico se lo muestra en la figura 2.1.



1. Palanca
2. Pieza en forma de óvalo
3. Guías de los portamordazas

*Figura 2.1.- Sistema de carga mecánico*

### VENTAJAS

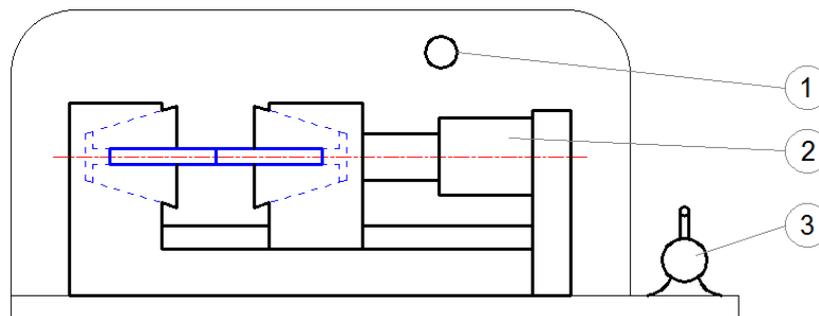
- Facilidad de operación.
- Seguridad alta

## DESVENTAJAS

- Mayor cantidad de elementos.
- Mayor mantenimiento y lubricación.
- Se desconoce la presión aplicada.
- Necesita el esfuerzo humano.

### 2.4.2. ALTERNATIVA 2: SISTEMA DE PRESIÓN HIDRÁULICO MANUAL

La alternativa consta de una bomba manual que impulsa un fluido a un pistón presión y el movimiento de compresión, también llega a un manómetro que mide la presión por lo tanto se puede calcular la fuerza que se aplica a la probeta. El sistema se muestra en la figura 2.2.



1. Manómetro
2. Cilindro hidráulico
3. Bomba manual

*Figura 2.2.- Sistema de carga hidráulico manual*

## VENTAJAS

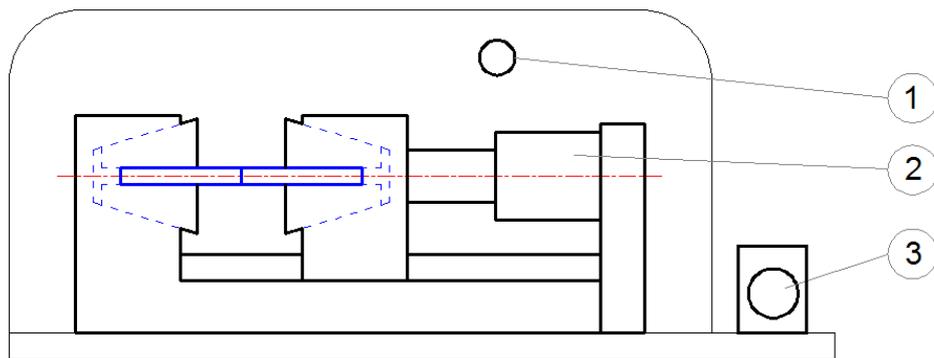
- Facilidad de operación.
- Requiere poco mantenimiento.
- Menor cantidad de elementos de construcción.
- Se puede saber la presión aplicada.
- No necesita del esfuerzo humano

## DESVENTAJAS

- Costo de fabricación medio.
- Velocidad de trabajo lenta.

### 2.4.3. ALTERNATIVA 3: SISTEMA DE PRESIÓN HIDRÁULICO ELÉCTRICO

El sistema consta de una bomba hidráulica eléctrica que produce el movimiento de compresión a través de un pistón, el fluido es dirigido también a un manómetro para saber la presión y la fuerza aplicada. El sistema se muestra en la figura 2.3.



1. Manómetro
2. Cilindro hidráulico
3. Bomba eléctrica

*Figura 2.3.- Sistema de carga hidráulico eléctrico*

## VENTAJAS

- Facilidad de operación.
- Requiere poco mantenimiento.
- Se puede saber la presión aplicada a las probetas

## DESVENTAJAS

- Costo de fabricación alto.
- Requiere de electricidad.
- Requiere de un sistema de control.

### 2.4.4. EVALUACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS

En la tabla 2.2 se muestra la evaluación para cada una de las alternativas propuestas:

Calificación de alternativas del sistema					
Parámetros	Factor de ponderación	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa ideal
Costo de fabricación	3	3x3	2x3	1x3	3x3
Seguridad	2	2x2	3x2	3x2	3x2
Operación	5	1x5	3x5	3x5	3x5
TOTAL		18	27	24	30
ÍNDICE		60,00%	90,00%	80,00%	100,00%
SELECCIÓN DE ALTERNATIVA		3	1	2	

*Tabla 2.2.- Evaluación de alternativas del sistema de carga*

### 2.4.5. SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA DEL SISTEMA DE PRESIÓN

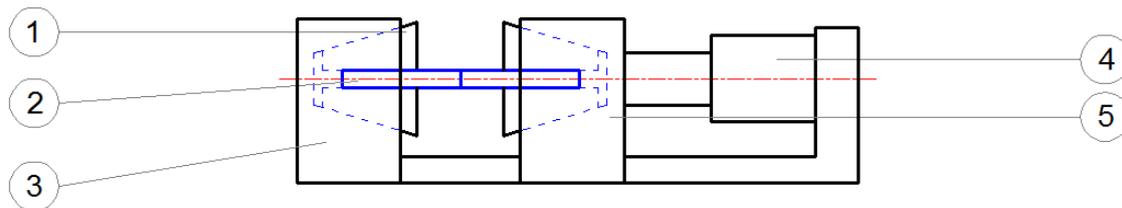
Después de realizar la evaluación de alternativas, tomando en cuenta las ventajas y desventajas de los tres sistemas en análisis, se evidencia que el sistema hidráulico manual (alternativa 2) tiene más ventajas sobre las otras alternativas, además en la

calificación de la tabla 1 se aprecia que la alternativa anteriormente escogida tiene un mayor porcentaje de beneficios sobre las otras dos.

## 2.5. ALTERNATIVAS DEL SISTEMA DE SUJECIÓN DE LAS PROBETAS

### 2.5.1. ALTERNATIVA 1: SISTEMA DE SUJECIÓN PARALELO A LA FUERZA

El sistema consta principalmente de mordazas alojadas dentro de dos portamordazas cónicas una fija y la otra móvil la que recibe el movimiento de compresión del pistón, permitiendo una mejor sujeción a medida que se aplica más fuerza. Como se muestra en la figura 2.4.



1. Mordazas cónicas.
2. Probetas.
3. Portamordaza fija.
4. Cilindro hidráulico.
5. Portamordaza móvil.

*Figura 2.4.- Sistema de sujeción paralelo a la fuerza.-*

### VENTAJAS

- Sujeción firme.
- Facilidad de construcción
- Poco mantenimiento

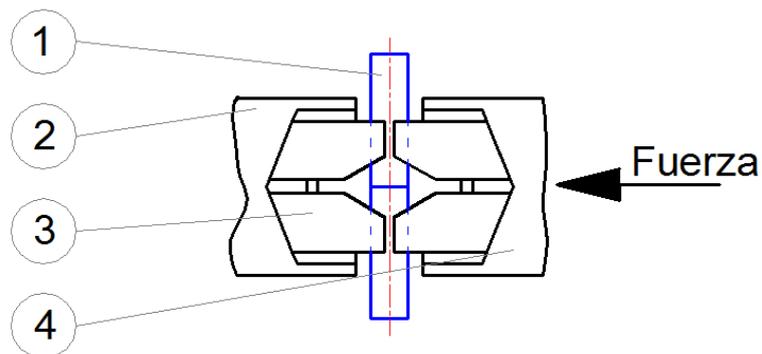
- Bajo costo de fabricación por mordaza.

## DESVENTAJAS

- Se necesita varias mordazas para diferentes diámetros de probetas
- Dificultad al retirar las piezas soldadas.
- No se garantiza la coaxialidad de las probetas.
- No se puede saber la deformación necesaria mínimo del 70%.
- No suelda probetas de diámetros pequeños menores a 4mm.

### 2.5.2. ALTERNATIVA 2: SISTEMA DE SUJECCIÓN PERPENDICULAR A LA FUERZA

La alternativa consta de dos mordazas que sujetan las probetas perpendicularmente al movimiento del pistón, produciendo el movimiento de compresión por medio de unas guías cónicas ubicadas en los portamordazas, a medida que se aplica mayor fuerza se sujeta mejor a las piezas. El sistema se muestra en la figura 2.5.



1. Probetas.
2. Portamordaza fija
3. Mordazas.
4. Portamordaza móvil.

*Figura 2.5.- Sistema de sujeción perpendicular a la fuerza*

## VENTAJAS

- Sujeción firme.
- Poco mantenimiento.
- Se garantiza la coaxialidad de las probetas.
- Una mordaza puede sujetar piezas de varios diámetros
- Facilidad al retirar las piezas soldadas.
- Se garantiza la deformación óptima (70%).
- Se puede soldar probetas de diámetros entre 1 mm a 12.5mm.

## DESVENTAJAS

- Costo medio de fabricación.
- Dificultad de construcción.

### 2.5.3. EVALUACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS

En la tabla 2.3 se muestra la evaluación para cada una de las alternativas propuestas:

<b>Calificación de alternativas del sistema</b>				
<b>Parámetros</b>	<b>Factor de ponderación</b>	<b>Alternativa 1</b>	<b>Alternativa 2</b>	<b>Alternativa ideal</b>
Costo de fabricación	3	3x3	2x3	3x3
Seguridad	2	1x2	3x2	3x2
Operación	5	2x5	3x5	3x5
TOTAL		21	27	30
ÍNDICE		70,00%	90,00%	100,00%
SELECCIÓN DE ALTERNATIVA		2	1	

*Tabla 2.3.- Evaluación de alternativas*

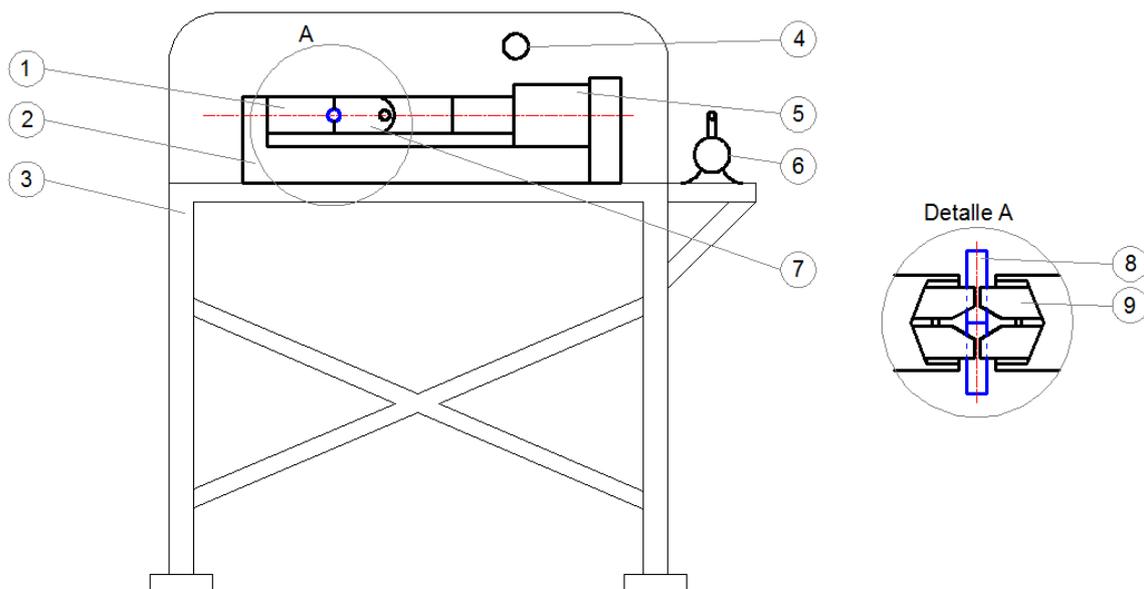
## 2.5.4. SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA DEL SISTEMA DE SUJECIÓN DE LAS PROBETAS

Después de realizar la evaluación de alternativas, tomando en cuenta las ventajas y desventajas de los dos sistemas en análisis, se evidencia que el sistema de sujeción perpendicular a la carga (alternativa 2) tiene más ventajas sobre las otras alternativas, además en la calificación de la tabla 1 se aprecia que la alternativa anteriormente escogida tiene un mayor porcentaje de beneficios sobre la otra.

## 2.6. ALTERNATIVAS DE ORIENTACIÓN DE LA MÁQUINA

### 2.6.1. ALTERNATIVA 1: MÁQUINA HORIZONTAL

La característica principal de este tipo de máquina está en que las probetas, todos los sistemas y el proceso propiamente dicho se lo realiza horizontalmente, consta de un sistema hidráulico manual que permite la fuerza de compresión y una mesa que sujeta la máquina. Esta alternativa se muestra en la figura 2.6.



1. Portamordaza fija
2. Bancada
3. Mesa
4. Manómetro
5. Cilindro hidráulico
6. Bomba
7. Portamordaza móvil
8. Probeta
9. Mordazas

*Figura 2.6.- Máquina horizontal*

### **VENTAJAS**

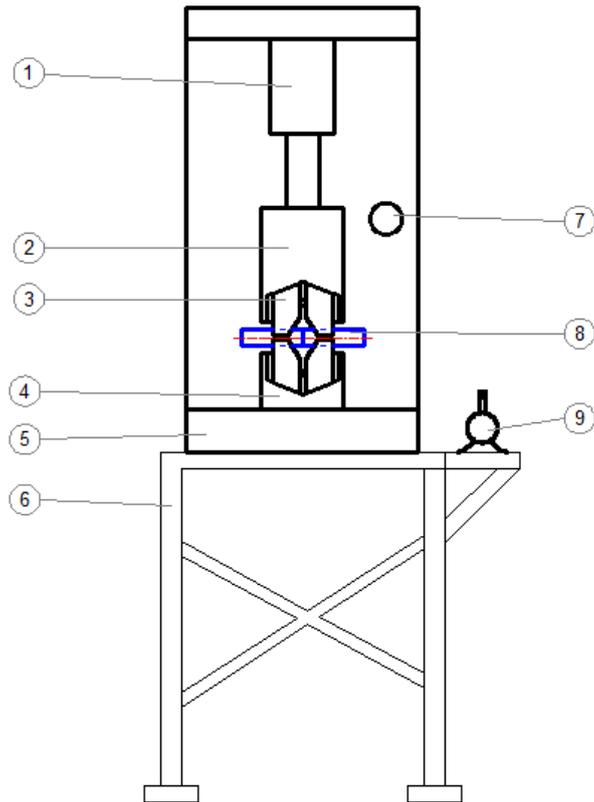
- Facilidad de construcción
- Poco mantenimiento.
- Se garantiza la coaxialidad de las probetas.
- Buena seguridad.
- Facilidad de operación.

### **DESVENTAJAS**

- Costo de construcción medio

### **2.6.2. ALTERNATIVA 2: MÁQUINA VERTICAL**

La característica principal de este tipo de máquina está en que las probetas, todos los sistemas y el proceso propiamente dicho se lo realiza verticalmente, consta de un sistema hidráulico manual que permite la fuerza de compresión y una mesa que sujeta la máquina. Esta alternativa se muestra en la figura 2.7.



1. Cilindro hidráulico.
2. Portamordaza móvil.
3. Mordazas.
4. Portamordaza fijo.
5. Bancada.
6. Mesa.
7. Manómetro.
8. Probetas.
9. Bomba manual.

*Figura 2.7.- Máquina vertical*

### **VENTAJAS**

- Poco mantenimiento.
- Se garantiza la coaxialidad de las probetas.
- Buena seguridad

- Facilidad de operación.
- Facilidad de construcción

## DESVENTAJAS

- Altura de la máquina.
- Mayor costo de construcción.

### 2.6.3. EVALUACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS

En la tabla 2.4 se muestra la evaluación para cada una de las alternativas propuestas:

<b>Calificación de alternativas de máquina</b>				
<b>Parámetros</b>	<b>Factor de ponderación</b>	<b>Alternativa 1</b>	<b>Alternativa 2</b>	<b>Alternativa ideal</b>
Costo de fabricación	3	2x3	2x3	3x3
Seguridad	2	3x2	3x2	3x2
Operación	5	3x5	3x5	3x5
TOTAL		27	27	30
ÍNDICE		90,00%	90,00%	100,00%
SELECCIÓN DE ALTERNATIVA		1	2	

*Tabla 2.4.- Evaluación de alternativas de máquinas*

#### **2.6.4. SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA DEL SISTEMA DE SUJECCIÓN**

Una vez realizada la evaluación de las alternativas en todos los parámetros se puede notar que las máquinas tienen el mismo puntaje en la tabla 2.3., sin embargo la alternativa de la máquina horizontal es mejor opción por motivo de la altura de la máquina vertical, por lo tanto se escoge la alternativa 1.

#### **2.6.5. CONCLUSIÓN FINAL**

Para el presente estudio se construirá una maquina horizontal con sistema de presión hidráulico manual y sujeción perpendicular a la carga.

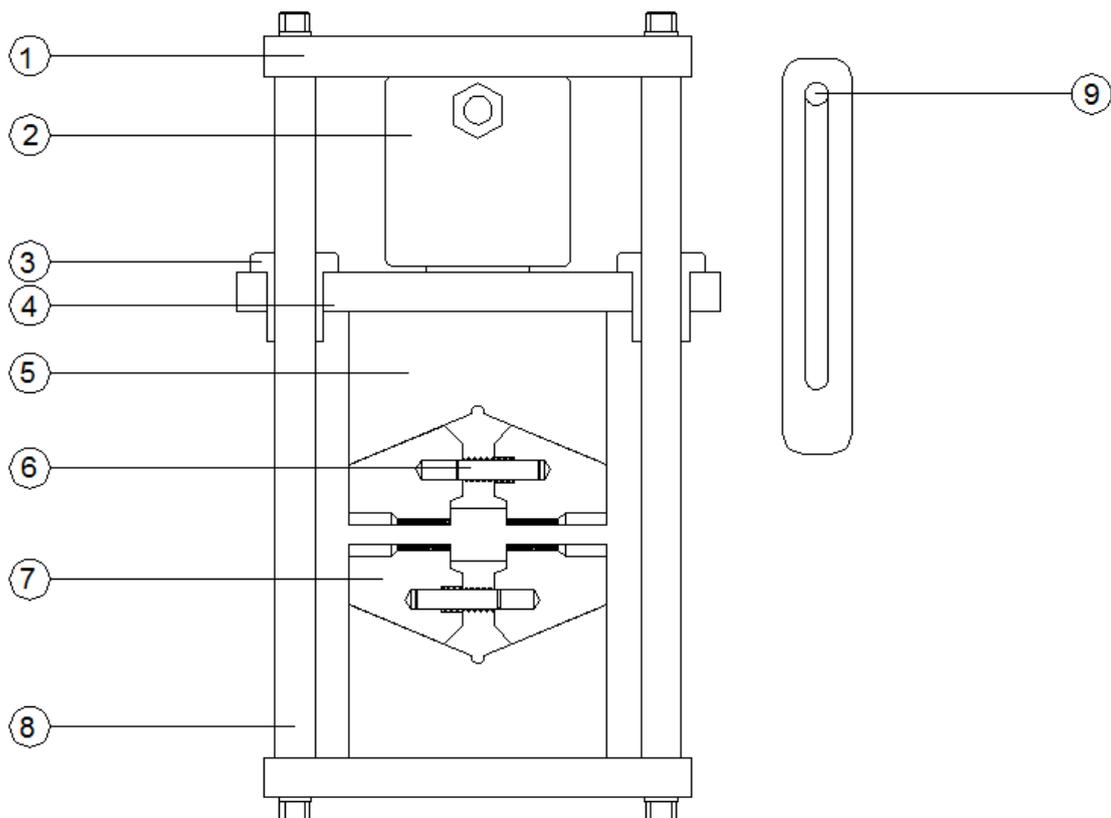
## CAPITULO 3

### DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN

#### 3.1. DISEÑO

El presente diseño establece parámetros para la construcción de la máquina de soldadura en frío por presión. Cada uno de estos requerimientos se basa en las necesidades que se desea satisfacer mediante la realización de este proyecto. En este diseño se realizará el dimensionamiento de las piezas, y será respaldado por el cálculo de esfuerzos que se pueden presentar en el trabajo del sistema. Finalmente se muestran los planos de todas las piezas del sistema en detalle y conjunto.

El diseño mecánico de este proyecto está compuesto por sistemas de sujeción, guías, un sistema hidráulico, etc. Dichos elementos se muestran en el gráfico 3.1.



1. Placa fija
2. Cilindro hidráulico
3. Bocines

4. Placa móvil
5. Cuña móvil
6. Guía de mordazas
7. Mordazas
8. Ejes guías
9. Bomba hidráulica

*Figura 3.1.- Elementos de la máquina*

El sistema de sujeción es la parte de la máquina que interactúa directamente con las probetas para que estas tengan un correcto alineamiento, evitar el deslizamiento, y puedan soldarse las probetas. Se aprovechará en su mayoría la fuerza generada por el pistón. Además el éxito de la soldadura en frío por presión está directamente relacionado con la calidad de sujeción del sistema para que pueda ser aplicada la fuerza necesaria para la soldadura. Por esta razón este diseño es minucioso y está sujeto a las necesidades y características de la soldadura en frío según la AWS para probetas de cobre y aluminio.

### **3.1.1. PRESIÓN DE SOLDADURA**

La presión necesaria para soldar en frío se obtiene de una relación entre la deformación óptima conocido como número de mérito:

$$P_w = Y_p \left( \frac{100}{2 \# \text{ mérito}} \right) \quad (\text{Ec. 3.1})^{28}$$

Dónde:

Material: Barra de cobre.

$Y_p$ : Límite de elasticidad=  $7 \frac{kg}{mm^2}$

# de mérito: 14      **(Ver anexo 2A).**

---

<sup>28</sup> F. C. KELLEY, *Welding journal*, 30, 728, (1951)

$$P_w = Y_p \left( \frac{100}{2 \text{ # mérito}} \right)$$

$$P_w = 7 \frac{kg}{mm^2} \left( \frac{100}{2 \times 14} \right)$$

$$P_w = 7 \frac{kg}{mm^2} \left( \frac{100}{28} \right)$$

$$P_w = 25 \frac{kg}{mm^2}$$

### 3.1.2. FUERZA DE SOLDADURA DE LA PROBETA

Las mordazas deben ser capaces de sujetar las probetas y aplicar la fuerza necesaria para el proceso, que a continuación determinamos, la sujeción de las mordazas se aprecia en la figura 3.2.:

$$F = P_w \times A \quad (\text{Ec. 3.2})$$

Dónde:

$F$ : fuerza de soldadura en la probeta.

$P_w$ : Presión de soldadura.

$A$ : área de la probeta.

$d$ : Diámetro 7 mm.

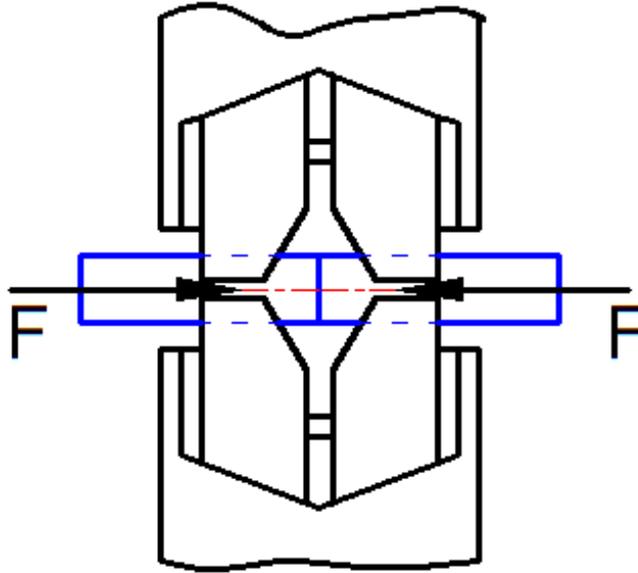


Figura 3. 2.- Fuerza de soldadura en la probeta de cobre.

$$F = P_w x \left( \frac{d \pi}{4} \right)$$

$$F = 25 \frac{Kgf}{mm^2} x \left( \frac{7mm^2 \pi}{4} \right)$$

$$F = 962.12 Kgf$$

### 3.1.3. DISEÑO DE MORDAZAS

Como se mencionó anteriormente, las mordazas van a ser las encargadas de sujetar las probetas para luego aplicar la fuerza de soldadura, mediante una cuña las mordazas transforman la fuerza vertical del piston hidráulico en una fuerza horizontal. El mismo genera el autoajuste de las probetas y las mordazas genere a su vez la fuerza de soldadura. La figura 3.3 muestra el digrama de cuerpo libre de la mordaza.

### 3.1.3.1. FUERZA DE SUJECIÓN

La sujeción es firme por lo tanto la fuerza de sujeción supera el rozamiento y la fuerza ejercido para la soldadura.

$$F = U_1 x N \quad (\text{Ec. 3.3})$$

Dónde:

$F$ : fuerza de soldadura en la probeta.

$U_1$ : Coeficiente de rozamiento estático cobre acero. (**Ver anexo 2B**).

$N$ : Fuerza de sujeción.

$$N = \frac{F}{U_1}$$
$$N = \frac{962.12 \text{ kgf}}{0.53}$$
$$N = 1815.32 \text{ kgf}$$

### 3.1.3.2. SUPERFICIE DE SUJECIÓN

$$Y_p = \frac{N}{A} \quad (\text{Ec. 3.4})$$

Donde,

$Y_p$ : Limite de elasticidad del cobre 7 kgf/mm<sup>2</sup>.

$A$ : Área de sujeción de la probeta

$N$ : Fuerza sujeción 1815.32 kgf.

$$A = \frac{N}{Y_p}$$

$$A = \frac{1815.32 \text{ kgf}}{7 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}}$$

$$A = 259.33 \text{ mm}^2$$

Componentes de sujeción:  $(h)$  y  $(l)$

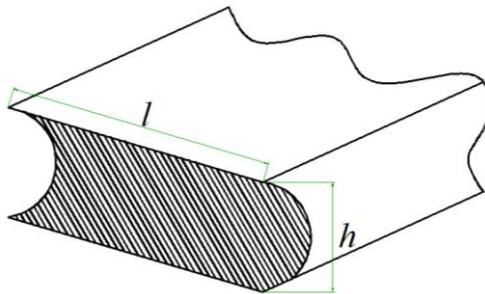


Figura 3. 3.- Dimensiones de la superficie de sujeción.

$$h = 7 - 0.24$$

$$h = 6.76 \text{ mm}$$

$$A = l \frac{d\pi}{2}$$

$$l = \frac{A}{\frac{d\pi}{2}}$$

$$l = 24.4 \text{ mm}$$

$$l = 25 \text{ mm}$$

La AWS estipula que la profundidad de las estrías es del 3% al 10 % del diámetro o del espesor de varillas cuadradas.

$$x = 0.03 * 7 \text{ mm}$$

$$x = 0.24 \text{ mm}$$

### 3.1.3.3. ÁNGULO DE CUÑA

De este factor depende la efectividad mecánica de la máquina que se produce mediante el efecto cuña. A continuación se selecciona el ángulo más adecuado, para esto se utiliza los siguientes criterios.

1. Geometría y dimensiones de otros sistemas mecánicos de sujeción ya existentes.
2. Análisis de la fuerza necesaria para que el sistema cumpla la soldadura en función del ángulo de la cuña.

#### **Geometría y dimensiones de otros sistemas mecánicos de sujeción ya existentes.**

Existen varios modelos de máquinas de soldadura en frío por presión, máquina de ensayos de tracción y compresión que utiliza este tipo de sistemas de sujeción por cuñas. Se toma valores dentro de este rango para buscar el más adecuado a nuestras necesidades y seguridad al momento de la soldadura.

<b>Marca y modelo de equipo</b>	<b>Capacidad (kg)</b>	<b>Ángulo de efecto cuña (ventaja mecánica)</b>
Tinius Olsen, modelo Súper L	1356.22	7°
Tinius Olsen, modelo H25KS	9075.47	15°
Cold pressure Butt Welding Machine, Model SZ-107 (Hydraulic)	2827.44	23°

*Tabla 3. 1.- Ángulo de ventaja mecánica de máquinas existentes.*<sup>29 30</sup>

<sup>29</sup> ALVAREZ, R. PEÑA, C. *Diseño y simulación de un sistema de mordazas hidráulicas para una maquina universal de ensayos Marca Tinius Olsen Modelos Súper L*, EPN, 2010, P75.

<sup>30</sup> [http://www.szlenghan.com/en/pro\\_info.asp?cid=551](http://www.szlenghan.com/en/pro_info.asp?cid=551)

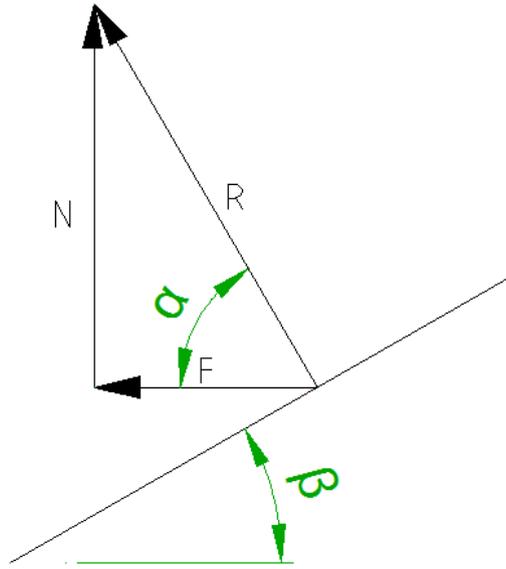


Figura 3. 4.- Ángulo de cuña y reacción.

Donde,

$\alpha$ : Ángulo de la reacción en el troquel.

$F$ : Fuerza de soldadura en la probeta.

$N$ : Fuerza sujeción.

$\beta$ : Ángulo de cuña.

$$\alpha = \tan^{-1} \frac{N}{F}$$

$$\alpha = \tan^{-1} \frac{1815.32}{962.12}$$

$$\alpha = 62.076$$

$$\beta = 90 - 62.076$$

$$\beta = 27.924$$

$$\beta = 23^\circ$$

Por construcción y análisis de máquinas de soldadura por presión en frío se toma el ángulo de  $23^\circ$ .

### 3.1.3.4. DIAGRAMA DE CUERPO LIBRE Y CÁLCULO DE REACCIONES.

Una vez obtenido el ángulo de cuña ( $23^\circ$ ) se obtiene la fuerza o reacción que permite el movimiento de las mordazas y a su vez producir la soldadura en las probetas.

A continuación se detalla el diagrama de cuerpo libre de la mordaza como se muestra en la figura 3.5.

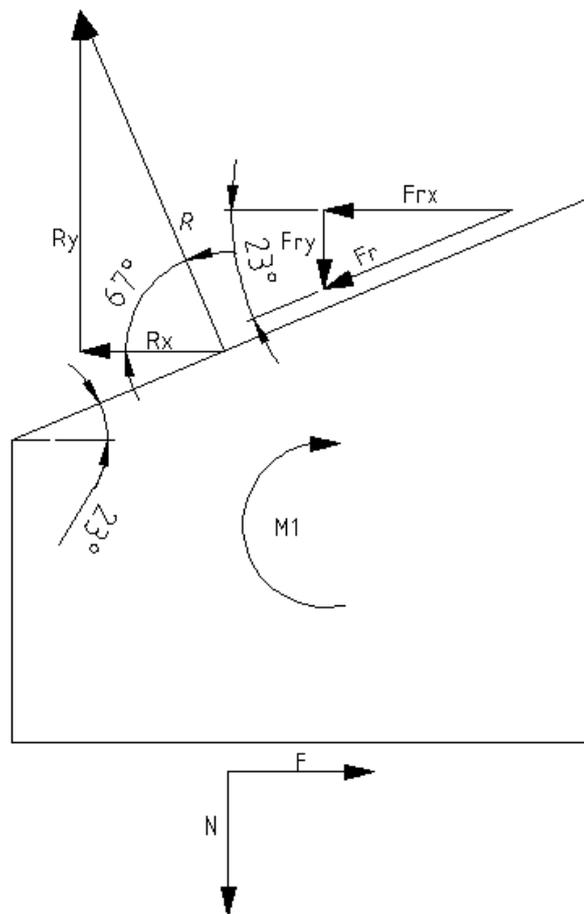


Figura 3. 5.- Diagrama de cuerpo libre del troquel.

A partir del diagrama de cuerpo libre se obtiene:

$$F_{ry} = F_r * \text{sen}(23) \quad (\text{Ec. 3.5})$$

$$F_r = R * \mu_2 = R * 0.15 \quad (\text{Ec. 3.6})$$

$$R_y = R * \text{sen}(67) \quad (\text{Ec. 3.7})$$

Dónde:

Coefficiente de rozamiento:

Acero – Acero  $\mu_2 = 0.15$  (coeficiente estático de rozamiento) (**Ver anexo 2B**).

$F$ : Fuerza de soldadura.

$N$ : Fuerza Normal.

$R$ : Reacción.

$R_y$ : Fuerza necesaria de la cuña.

$$\sum F_x = 0$$

$$F - F_{rx} \cos(23) - R \cos(23) = 0 \quad (\text{Ec. 3.8})$$

$$\sum F_y = 0$$

$$R_y - N - F_{ry} = 0 \quad (\text{Ec. 3.9})$$

$$R_y = N + F_{ry}$$

Reemplazando ecuación 3.5 y 3.7 en ecuación 3.9 se obtiene y posteriormente ecuación 3.6

$$R * \text{sen}(67) = N + F_r \text{sen}23$$

$$R * \text{sen}(67) = N + R * 0.15 * \text{sen}23$$

$$R * \text{sen}(67) - R * 0.15 * \text{sen}23 = N$$

$$R(\text{sen}(67) - 0.15 * \text{sen}23) = N$$

$$R = \frac{N}{\text{sen}(67) - 0.15 * \text{sen}23}$$

$$R = \frac{1815.32 \text{ Kgf}}{\text{sen}(67) - 0.15 * \text{sen}23}$$

$$R = 2106.2 \text{ Kgf}$$

Con esta reacción se calcula las fuerzas aplicadas a la cuña:

$$R_y = R * \text{sen } 67$$

$$R_y = 1938.77 \text{ kgf}$$

$$R_x = R * \text{cos } 67$$

$$R_x = 823 \text{ kgf}$$

### 3.1.4. CÁLCULO DE CUÑA

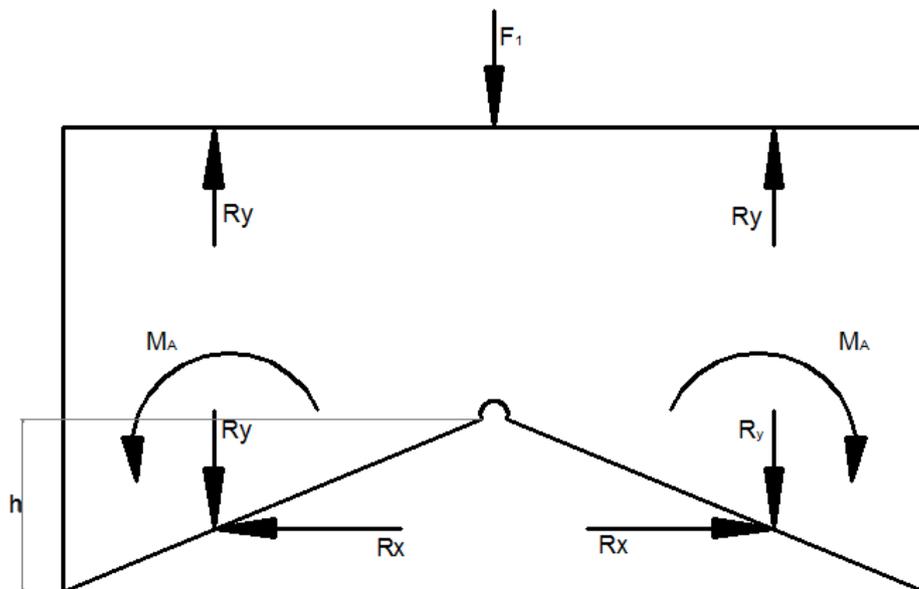


Figura 3. 6.- Análisis de fuerzas – Cuerpo libre Cuña.

$$h = \tan 23 \times 60\text{mm}$$

$$h = 25.47 \text{ mm}$$

El valor h se divide para 2 porque los troqueles trabajan en la mitad de la cuña.

$$M_A = F \times \frac{h}{2}$$

$$M_A = 823 \text{ kgf} \cdot 12.735 \text{ mm}$$

$$M_A = 10480.3 \text{ kgf} \cdot \text{mm}$$

$$f_1 = 2R_y$$

$$f_1 = 2 * 1938.77 \text{ Kgf}$$

$$f_1 = 3877.54 \text{ Kgf}$$

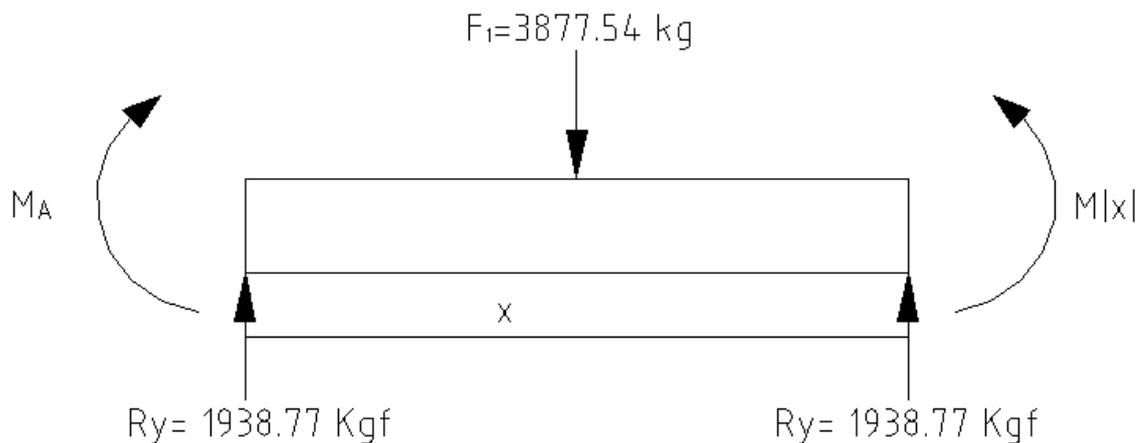


Figura 3. 7.- Análisis de fuerzas cortante y momentos flexionantes.

**Fuerza cortante y momentos flexionantes:**

$$\sum f_y = 0$$

$$R_y + R_y - F_1 = 0$$

$$\sum M = 0$$

$$M_2 = R_y * 80mm - F_1 * 40mm$$

$$M_2 = 1938.77kgf * 80mm - 3877.54kgf * 40mm$$

$$M_2 = 0 = M_1$$

Se analiza el tramo  $0 \leq x \leq 40$



*Figura 3. 8.- Análisis de fuerzas cortante y momentos flexionantes.*

$$\sum F(v) = 0$$

$$V_{(x)} - F1 = 0$$

$$V_{(x)} = F1$$

$$\sum M(x) = 0$$

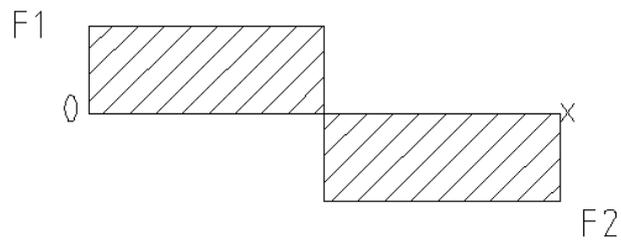
$$M(x) = F1 * x + M_A$$

$$M(x) = R_y * x + 10480.3 \text{ kgf mm}$$

Para:  $x=0$        $M(x)=10480.3 \text{ kgf. mm}$

$x=40$        $M(x)=88031.1 \text{ kgf.mm}$

En la figura 3.9 se muestra el diagrama de fuerzas cortantes



*Figura 3. 9.- Diagrama de fuerzas cortantes.*

En la figura 3.10 se muestra el diagrama de momentos flexionantes

Se puede apreciar el momento flector máximo



*Figura 3. 10.- Diagrama de momentos flexionantes.*

La altura de la cuña se toma en cuenta la altura de los troqueles (28 mm).

Módulo de sección:

$$S = \frac{bh^2}{6} \quad (\text{Ec. 3.11})$$

Dónde:

$b$ = base de la cuña

$h$ = altura de la cuña

$S$ = módulo de sección

$$\sigma_{adm} = \frac{S_y}{F_s} \quad (\text{Ec. 3.12})$$

Donde

$S_y$ = Límite de tracción del material (**Ver anexo 2C**).

$F_s$ = Factor de seguridad

$\sigma_{adm}$ = Esfuerzo admisible del material

Para evitar deflexiones en el material y garantizar el correcto funcionamiento de la máquina se toma un factor de seguridad de 5, el material de la cuña es AISI 01

$$\sigma_{adm} = \frac{36}{2}$$

$$\sigma_{adm} = 18 \frac{kg}{mm^2}$$

Esfuerzo máximo:

$$\sigma_{adm} = \frac{M_{max}}{S}$$

$$\sigma_{adm} = \frac{M_{max}}{\frac{bh^2}{6}}$$

$$b = \frac{6M_{max}}{\sigma_{adm}h^2}$$

$$b = \frac{6(88031.1 \text{ Kgf mm})}{18 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2} 28^2}$$

$$b = 37.42 \text{ mm}$$

La medida de la cuña es 26 mm la misma que se compensa con el espesor de la placa móvil de 20 mm.

### 3.1.5. RESORTE DE RETORNO<sup>31</sup>

Paso

$$P = \frac{l_0 - 3d}{N_a} \quad (\text{Ec. 3.13})$$

Dónde:

$l_0$  = Longitud inicial.

$N_a$  = Espiras.

$d$  = Diámetro del alambre.

$$P = \frac{130 \text{ mm} - 3 * 2.6 \text{ mm}}{20}$$

$$P = 6$$

---

<sup>31</sup> RICHARD BUDYNAS y KEITH NISBETT, *DISEÑO EN INGENIERÍA MECÁNICA de Shigley, , Segunda edición Octava edición, MC GRAW HILL, P. 503*

Número total de espiras

$$N_t = N_a + 2 \quad (\text{Ec. 3.14})$$

$$N_t = 20 + 2$$

$$N_t = 22$$

Fuerza del resorte

Factor K

$$K = \frac{d^4 G}{8D^3 N_a} \quad (\text{Ec. 3.15})$$

Dónde:

$K$  = Factor de resortes

$d$  = Diámetro del alambre.

$G$  = Resistencia del alambre **(Ver anexo 2D).**

$D$  = Diámetro del resorte.

$N_a$  = Espiras.

$$K = \frac{2.6^4 * 82.7 \text{ GPa}}{8 * 21^3 * 20}$$

$$K = 0.00255 \text{ GPa mm}$$

$$F_s = K * Y_s \quad (\text{Ec. 3.16})$$

Donde

$F_s$  = Fuerza del resorte

$K$  = Factor de resortes

$Y_s$  = Diferencia entre longitud inicial y longitud sólida.

$$F_s = 0.00255 * (130 \text{ mm} - 60 \text{ mm})$$

$$F_s = 0.1785 \text{ GPa mm}$$

$$F_s = 18.2 \text{ Kgf}$$

### 3.1.6. FUERZA TOTAL

$$F_T = F_1 + 4F_s$$

$$F_T = 3877.54 + 4 * 18.2$$

$$F_T = 3950.34 \text{ Kgf}$$

### 3.1.7. SELECCIÓN DEL SISTEMA HIDRAULICO

La selección del sistema hidráulico depende de la fuerza necesaria en la cuña (3877.54 kgf) para realizar la soldadura.

#### 3.1.7.1. PISTÓN

$$F = P A_{efec} \quad (\text{Ec. 3.17})$$

Donde

$F$  = Fuerza en la cuña

$P$  = Presión del cilindro hidráulico

$A_{efec}$  = Área de contacto del cilindro

$$P = \frac{F}{A_{efec}}$$

$$P = \frac{3950.34 \text{ kgf}}{\pi \frac{70^2}{4}}$$

$$P = 1.02647 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2} = 1459.98 \text{ psi} = 100.66 \text{ bar}$$

La carrera requerida del pistón es 50 mm ya que permite retirar y colocar las probetas con facilidad.

El pistón se mandó a fabricar bajo las especificaciones de presión y carrera, el pistón necesita de 12 plg<sup>3</sup> de fluido hidráulico.

### 3.1.7.2. BOMBA MANUAL

Para la selección de la bomba se considera la presión del pistón.

$$P = 1.02647 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2} = 1459.98 \text{ psi} = 100.66 \text{ bar}$$

Se necesita de 20 plg<sup>3</sup> de fluido por tal motivo la bomba utilizada es PT-P19L (**Ver anexo 2E**).

Para realizar la soldadura se necesita una presión de servicio de 100 bares los cuales son producidos por la bomba manual PT-P19L

### 3.1.8. DISEÑO PLACAS DE SOPORTE

El diseño de las placas de soporte se realiza con la fuerza máxima del pistón 3877.54 kgf.

El acero de la placa es AISI 1045 y se considera que los apoyos están en los extremos como se aprecia en la figura 3.18.

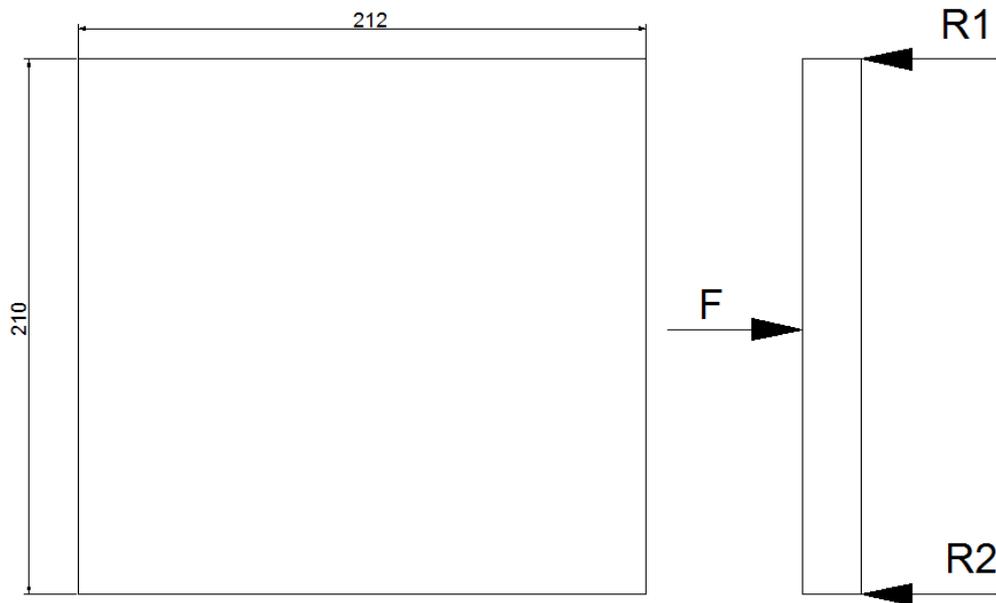


Figura 3. 11.- Placa de soporte

$$S_m = k \frac{F}{e^2} \quad (\text{Ec. 3.18})$$

Donde <sup>32</sup>

$S_m$ = Esfuerzo máximo (Ver anexo 2C).

$k$ = Coeficiente de placas rectangulares (Ver anexo 2F).

$F$ = Fuerza máxima sobre la placa.

$e$ =Espesor de la placa

<sup>32</sup> BAUMEISTER Y AVALLONE, MANUAL DEL INGENIERO MECÁNICO, Segunda edición Vol1, MC GRAW HILL, P. 5.51

El coeficiente de placas rectangulares se lo obtiene con la relación (ver anexo)

$$\frac{R_1}{r_2}$$

Donde

$R_1$ = Longitud mayor de la placa

$r_2$ = Longitud menor de la placa

$$\frac{212}{210}$$

$$\frac{R_1}{r_2} = 1.0095$$

Por lo tanto  $k=0.287$

$$e = \sqrt[2]{k \frac{F}{S_m}} \quad (\text{Ec. 3.19})$$

$$e = \sqrt[2]{0.287 \frac{3877.54}{25.34}}$$

$$e = 6.627 \text{ mm}$$

Se elige un factor de seguridad de 3 para evitar la flexión en la placa.

$$e = 6.627 f_s$$

$$e = 6.627 \times 3$$

$$e = 19.881 \text{ mm}$$

Por lo tanto el espesor de la placa es de 20 mm por facilidad de construcción.

### 3.1.9. CÁLCULO EJES DE GUÍA

El eje guía permite que la mordaza móvil se desplace a lo largo de la máquina, por lo tanto tendrá un tratamiento térmico de cementación para reducir el desgaste entre el eje y los bocines.

El diseño de los ejes se toma el tipo de sujeción con tuerca siendo el tornillo en la sección lateral del eje guía.

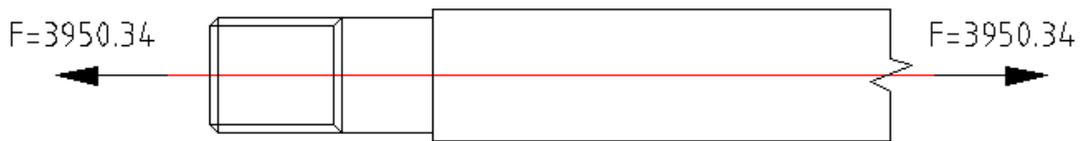


Figura 3.12.- eje guía

#### 3.1.9.1. TORNILLO DE SUJECCIÓN DEL EJE GUÍA

$$\sigma_{adm} = \frac{F}{\pi \frac{d^2}{4}} F_s$$

Donde

$F$ = Fuerza máxima del pistón

$F_s$ = Factor de seguridad (1.5)

$\sigma_{adm}$ = Esfuerzo admisible tuerca clase 4.6 (33 kpsi, 23 Kgf/mm<sup>2</sup>). **(Ver anexo 2G).**

$d$ = Diámetro

$$\sigma = \frac{3877.54 \text{ kgf}}{\pi \frac{d^2}{4}} 1.5$$

$$d = 17.94 \text{ mm}$$

El tornillo de sujeción es M ¾ plg rosca fina por motivos de seguridad (**Ver anexo 2H**)

### 3.1.9.2. DIÁMETRO DEL EJE GUÍA

El diámetro del eje depende principalmente del tornillo de sujeción (M3/4 rosca fina), por lo tanto el diámetro del eje se aumenta 1 mm al diámetro para poder sujetar contra las placas de soporte.

Diámetro del eje 20 mm

$$\sigma_{adm} = \frac{F}{A}$$

$$\sigma_{adm} = \frac{F}{\pi \frac{d^2}{4}}$$

$$\sigma_{adm} = \frac{3877.54 \text{ Kgf}}{\pi \frac{20^2}{4}}$$

$$\sigma_{adm} = 12.3426 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_{adm} = \frac{S_y}{F_s}$$

Donde

$S_y$ = Límite de tracción del material (**Ver anexo 2C**).

$F_s$ = Factor de seguridad

$\sigma_{adm}$ = Esfuerzo admisible del material

$$F_s = \frac{S_y}{\sigma_{adm}}$$

$$F_s = \frac{70}{12.3426}$$

$$F_s = 5$$

Por lo tanto el eje de diámetro 20 de material acero plata si trabaja para la fuerza requerida.

### **3.1.10. DIMENSIONAMIENTO DE LA MESA**

Consiste en analizar el tipo de apoyo y de las cargas aplicadas sobre la estructura (mesa), donde se obtienen funciones que representan las variaciones de la fuerza cortante y momento flector.

#### **3.1.10.1.DIMENSIONAMIENTO DE PERFILES**

Los perfiles son elementos estructurales utilizados para cubrir espacios, soportando el peso colocado encima del elemento mediante la resistencia a las fuerzas de flexión y corte.

El dimensionamiento de los perfiles consiste en determinar las dimensiones necesarias para que el elemento sea capaz de resistir la flexión y el corte, así como también debe tener dimensiones tales que la flecha no sea excesiva.

### 3.1.10.1.1. CALCULO DEL PERFIL SOPORTE DE LA MÁQUINA DE SOLDADURA.

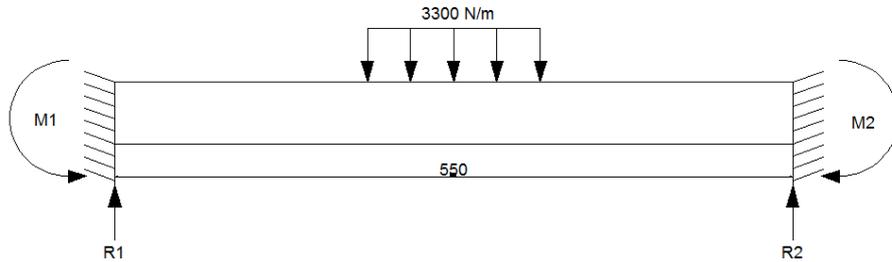


Figura 3. 13.- Diagrama cuerpo libre de soporte de la máquina

### Programa para el cálculo de los elementos de la mesa

El software muestra la configuración de un perfil rectangular en el 'Section Properties Module'. El perfil tiene una altura de 25,0 mm y un ancho de 50,0 mm. El eje Y apunta hacia abajo y el eje Z apunta hacia la izquierda. El módulo de elasticidad está configurado en 193053,20 MPa.

Las propiedades mecánicas del perfil se muestran en el 'Cross Section Properties' para el eje Z:

Z Axis Properties			
Elastic Modulus	E	193.053,2000	MPa
From bottom to centroid	y (bot)	25,0000	mm
From centroid to top	y (top)	25,0000	mm
Area of shape	A	284,0000	mm <sup>2</sup>
Moment of Inertia	Iz	90.078,6667	mm <sup>4</sup>
Section Modulus	Sz	3.603,1467	mm <sup>3</sup>
Section Modulus (bottom)	S (bot)	3.603,1467	mm <sup>3</sup>
Section Modulus (top)	S (top)	3.603,1467	mm <sup>3</sup>
Radius of Gyration	rz	17,8095	mm
Plastic Modulus	Zz	4.516,0000	mm <sup>3</sup>
Shape Factor		1,2533	
From bottom to plastic n.a.	yp (bot)	25,0000	mm
From plastic n.a. to top	yp (top)	25,0000	mm
Polar Moment of Inertia	J	119.682,3333	mm <sup>4</sup>
Product of Inertia	Iyz	0,0000	mm <sup>4</sup>
Maximum Moment of Inertia	I <sub>max</sub>	90.078,6667	mm <sup>4</sup>
Minimum Moment of Inertia	I <sub>min</sub>	29.603,6667	mm <sup>4</sup>
Angle from z axis to I <sub>max</sub> axis	β	0,0000	degrees
Counterclockwise			

Figura 3. 14.- Propiedades del perfil seleccionado.

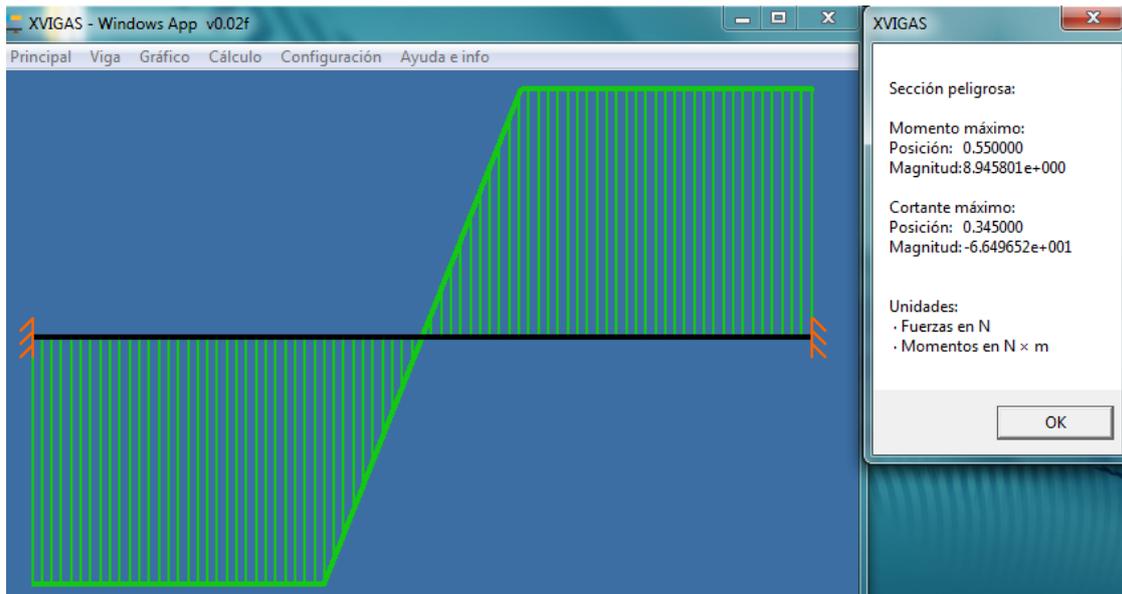


Figura 3. 15.- Gráfico de fuerza cortante del perfil –soporte de la máquina.

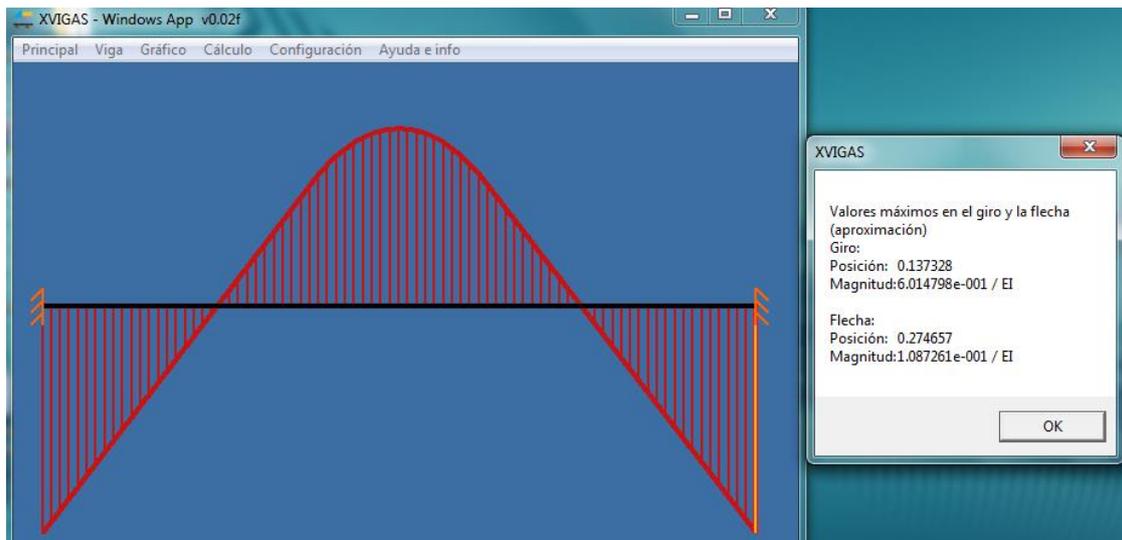


Figura 3. 16.- Gráfico de momento flector del perfil –soporte de la máquina.

$$\sigma_{adm} = \frac{M_{max}}{S_{x-x}}$$

$$\sigma_{adm} = \frac{S_y}{n}$$

Igualamos:

$$\frac{S_y}{n} = \frac{M_{max}}{S_{x-x}}$$

Despejamos:

$$n = \frac{S_y * S_{x-x}}{M_{max}}$$
$$n = \frac{22448979.59 \frac{kg}{m^2} * 8.95E - 07 m^3}{8.94Nm * \left(\frac{1kg}{9.8N}\right)}$$
$$n = 22$$

### 3.1.10.1.2. CALCULO DEL PERFIL SOPORTE DE LA BOMBA HIDRÁULICA.

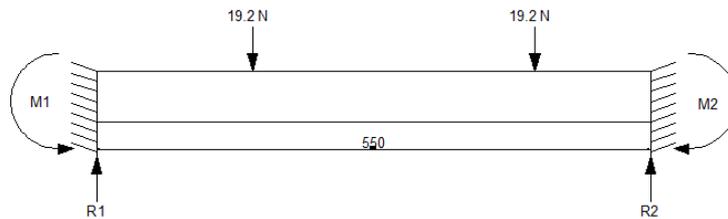


Figura 3. 17.- Propiedades del perfil seleccionado.

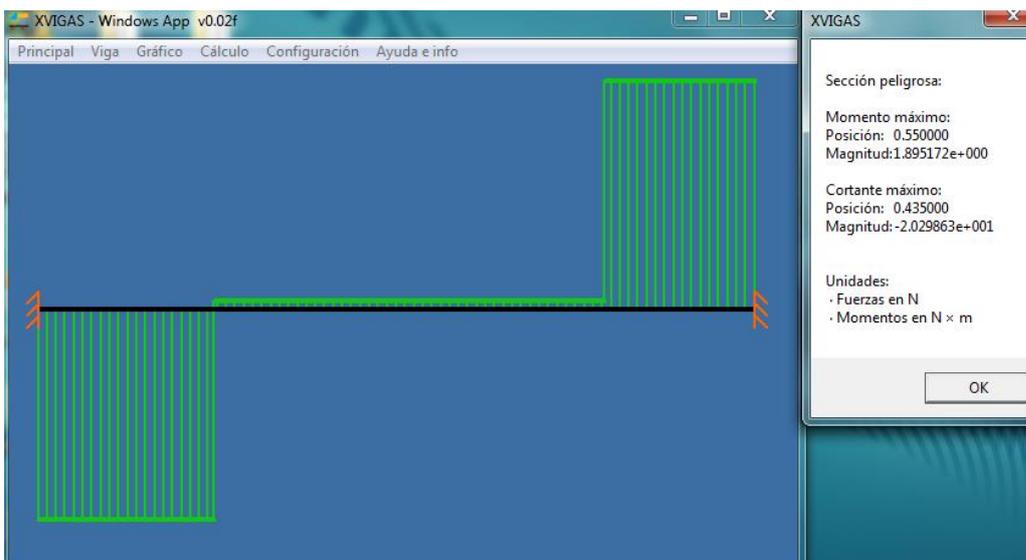


Figura 3. 18.- Gráfico de fuerza cortante del perfil –soporte de la bomba hidráulica.

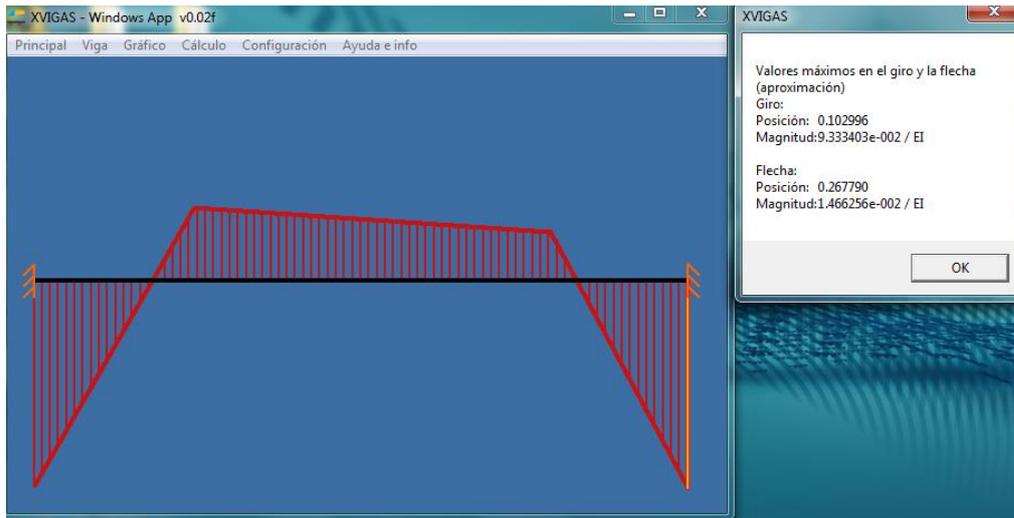


Figura 3. 19.-Gráfico de momento flector del perfil –soporte de la bomba hidráulica.

$$\frac{S_y}{n} = \frac{M_{max}}{S_{x-x}}$$

Despejamos:

$$n = \frac{S_y * S_{x-x}}{M_{max}}$$

$$n = \frac{22448979.59 \frac{kg}{m^2} * 8.95E - 07 m^3}{1.89Nm * \left(\frac{1kg}{9.8N}\right)}$$

$$n = 104$$

### 3.1.10.1.3. CALCULO DEL PARANTE DE LA MESA

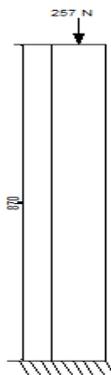


Figura 3.20.- Cuerpo libre parante

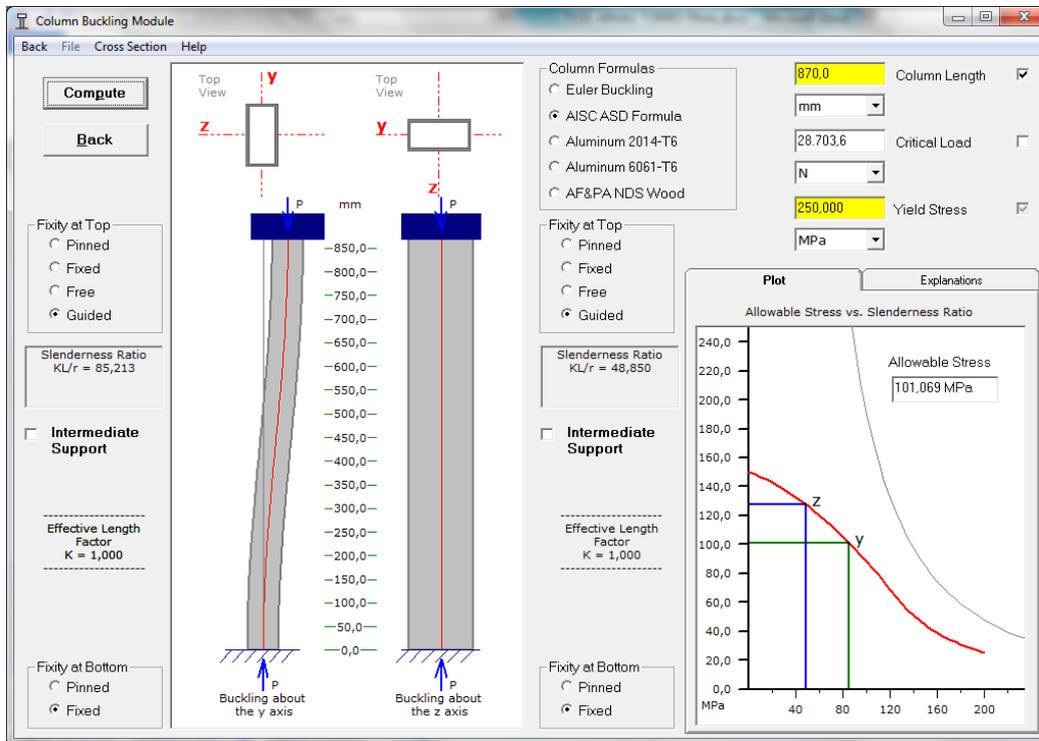


Figura 3. 21.- Parámetros de diseño de parante.

$$n = \frac{28703 N}{257 N}$$

$$n = 112$$

## CÁPITULO 4

### ENSAYOS Y RESULTADOS

#### 4.1. ENSAYO DE SOLDADURA POR PRESIÓN EN FRÍO

El ensayo de soldadura por presión en frío es un proceso de soldadura que es utilizado para la unión permanente de metales, que se produce a temperaturas esencialmente menores a sus puntos de fusión.

Esta unión se realiza sin material de aporte.

Durante la soldadura, una pequeña parte de los metales se deforma, lo que fragiliza la zona de unión de las piezas. La unión de los materiales a utilizarse se produce por el enlace metálico, donde cada átomo de metal contribuye con sus electrones de valencia a formar una nube electrónica negativa.

Este ensayo se realizará con probetas de cobre y aluminio en diferentes combinaciones y posean hasta un diámetro de 7 mm. Por cuanto, estos materiales debido a su elevada ductilidad se prestan perfectamente a los fines que se persiguen en dicho ensayo.

El problema fundamental de este ensayo es la eliminación de gas absorbido por y capaz de óxido a lo largo del área que se va a soldar. Donde debe entenderse que este problema de soldadura es debido a la atmósfera o medio ambiente.

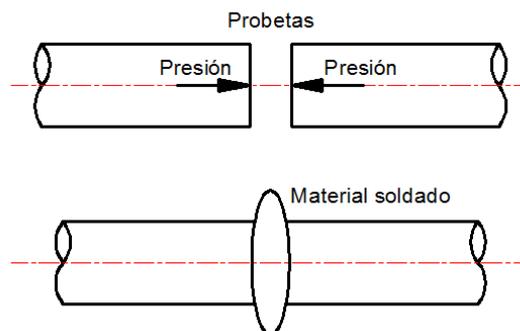


Figura 4. 1.- Unión a tope

#### 4.1.1. PROCEDIMIENTO PARA EL ENSAYO DE SOLDADURA POR PRESIÓN EN FRÍO

Las superficies que van a ser puestas en contacto de las probetas a ser soldadas son desengrasadas y frotadas con cepillo para una buena limpieza superficial, luego se procede a colocarlas en la máquina soldadora por presión en frío en la guía de los troqueles, que luego las prensará entre sí mediante una bomba hidráulica manual para dar una deformación del 50% al 95% y producir la unión de los metales. Finalmente se abre la válvula de la bomba hidráulica para que los troqueles suelten las probetas que ya se encontraran unidas.

#### 4.1.2. RESULTADOS DEL ENSAYO POR PRESIÓN EN FRÍO

Se analiza el efecto de la presión sobre la calidad de soldadura comparando la presión calcula mediante el número de mérito expuesto en el Capítulo 1 y la presión tomada en el manómetro de la máquina.

Resultados del ensayo de soldadura por presión en frío			
Ensayos	Material	Presión (Psi)	
		Presión por ensayo	Presión calculada
1	Cobre-cobre	2000	1600
2	Aluminio-aluminio	1500	1400
3	Cobre-aluminio	NA	NA

*Tabla 4. 1.- Resultados de ensayos de soldadura por presión en frío*

Los ensayos dieron por resultado que la presión de trabajo es mayor a la calculada en el diseño, para mayor seguridad de la maquina no se debe superar la presión 2500.

## 4.2. ENSAYO DE TRACCIÓN

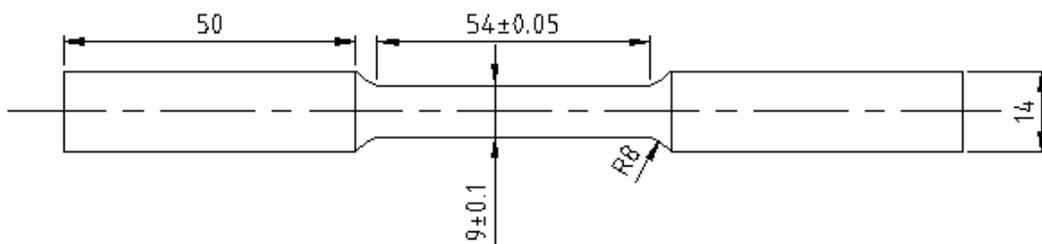
El ensayo de tracción es de carácter estático, siendo utilizado para determinar la resistencia mecánica, elasticidad y plasticidad de los metales y sus aleaciones, normalmente la probeta se deforma hasta la rotura, con una carga de tracción que aumenta gradualmente y que es aplicada axialmente a lo largo del eje de la probeta.

Resistencia mecánica: es la propiedad de los metales a la rotura bajo la acción de fuerzas externas.

Elasticidad: es la propiedad de los metales de recuperar su forma original al quitar la carga que ha producido la deformación.

Plasticidad: Es la propiedad de los metales de cambiar de manera permanente su forma y tamaño sin sufrir rotura bajo la acción de fuerzas externas.

Dicho ensayo necesita de probetas cilíndricas o planas normalizadas según la norma ASTM638 para ensayos de tracción como se puede apreciar en la figura 4.1.



*Figura 4. 2.- probeta cilíndrica normalizada para ensayos de tracción*

Sin embargo los ensayos realizados en la presente tesis será con probetas de diámetro 7 mm de aluminio o cobre y servirá para comparar la calidad de la soldadura con la del material base. Por lo tanto, la probeta tendrá la forma que se muestra en la figura 4.2.

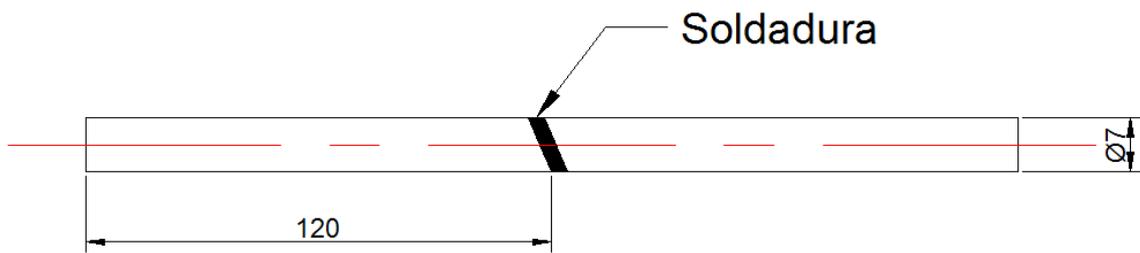


Figura 4. 3.- probeta de soldadura por presión en frío para ensayos de tracción

#### 4.2.1. RESULTADOS ENSAYO DE TRACCIÓN

El ensayo de tracción da como resultado el diagrama tensión–deformación de los metales, el objetivo es comparar los límites de tracción de las probetas soldada y el metal base. En la tabla 4.2 se puede apreciar los resultados del ensayo de tracción.

Resultados del ensayo de tracción			
Ensayos	Material	Límite de tracción (Kg/cm <sup>2</sup> )	
		Metal base	Metal soldado
1	Cobre-cobre	9	7
2	Aluminio-aluminio	7	9
3	Cobre-aluminio	NA	NA

Tabla 4. 2.- Resultados de ensayos de tracción

Se estima los resultados de los ensayos de tracción ya que la máquina tiene una escala superior a la que se puede medir para estos alambres de aluminio y cobre.

El ensayo arroja como resultado que el material base falla antes que la soldadura por lo tanto se puede concluir que la unión tiene una mejor calidad que el aluminio o el cobre propiamente dicho.

En la soldadura de materiales disimiles no se logró realizar ya que el cobre es mucho más resistente que el aluminio, por lo tanto para lograr dicha unión se debe realizar en proceso en uniones a traslapo.

### 4.3. ENSAYO DE DOBLADO

El ensayo de doblado mide la facilidad de un material para cambiar su forma bajo una presión (ductilidad), dicho ensayo indica el comportamiento del metal sometido al esfuerzo de doblado. El objetivo de este ensayo es verificar el lugar donde se produce las grietas y la rotura en las probetas para determinar la calidad de la soldadura.

El ensayo de doblado permite comparar la calidad de la soldadura con el material base, verificando el punto donde se realiza la rotura. Se realiza según la norma ASTM E190, la que especifica las condiciones para el ensayo de doblado en metales soldados. Un esquema se aprecia en la figura 4.4.

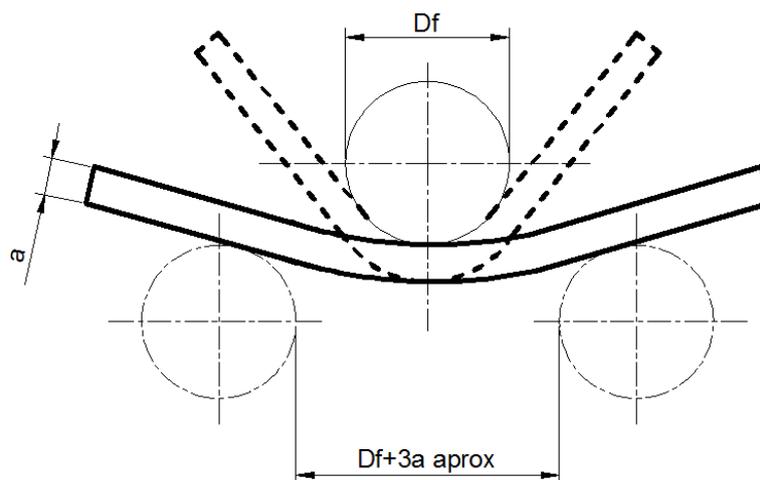


Figura 4.4.- Esquema ensayo de dobles

#### 4.3.1. PROCEDIMIENTO PARA EL ENSAYO DE DOBLADO

Se coloca la probeta soldada en la máquina, durante el ensayo de doblado se aplica una carga en el punto de unión soldada, mientras que el resto de la muestra se apoya en los extremos de la fijación. A continuación, se dobla la pieza  $180^\circ$ . La parte interior de la muestra se inspecciona visualmente en busca de grietas o defectos. Posteriormente se

realiza el mismo ensayo sobre el material base sin soldadura y se compara los resultados de las dos probetas.

#### 4.3.2. RESULTADOS DE ENSAYO DE DOBLADO

La tabla 4.3 muestra los resultados del ensayo de doblado en el material base y las probetas soldadas permitiéndonos una comparación de la soldadura.

Resultados del ensayo de doblado			
Ensayo	Material	Grietas material base (Visual)	Grietas soldadura (Visual)
1	Cobre - cobre	No	Si
2	Aluminio - aluminio	No	No
3	Cobre - aluminio	NA	NA

*Tabla 4. 3.- Resultados de ensayo de doblado*

Debido a la ductilidad del material sea el cobre o el aluminio, soporta los ensayos de doblado sin producir grietas en el material, sin embargo la unión del cobre falla una vez realizado el ensayo de doblado.

Como se explicó anteriormente la soldadura de materiales disimiles no se logró hacer así que no aplica dicho ensayo para estos.

#### 4.4. ENSAYO DE DUREZA

El ensayo de dureza mide la resistencia de un material a la penetración de un punzón o cuchilla, este penetrador también llamado indentador usualmente consta de una esfera, pirámide o un cono de un material mucho más duro que el metal base.

La profundidad hasta la cual penetra el punzón indica la dureza del material.

Dicho ensayo se utiliza para determinar la dureza en la zona soldada y compararlo con la del metal base. El incremento porcentual de dureza no debe ser mayor a 20% para evitar así tensiones en la unión.

Existen varios métodos para determinar la dureza: brinell, rockwell, vickers. Sin embargo la presente tesis analiza los elementos bajo la dureza rockwell según norma ASTM – E18.

Si el material queda con una dureza mayor a lo anteriormente mencionado procedemos a realizar un proceso de recocido contra acritud, que tiene por objeto eliminar la acritud adquirida por el material al deformarse en frío o a temperaturas inferiores a la recristalización.

Las temperaturas de recocido contra acritud dependen de la aleación, oscilando en general entre 300°C y 400°C, ya que la temperatura de recristalización a la que debe superarse oscila entre 200°C y 300°C. Es conveniente pasar con rapidez esa zona de temperaturas de recristalización, sobre todo, si las piezas no han sido muy deformadas, para evitar un excesivo crecimiento del grano.

#### **4.4.1. DUREZA ROCKWELL**

Rockwell es una escala para medir la dureza de los materiales, primero se aplica una carga pequeña menor a 10 kg, haciendo que el cuerpo empleado para la penetración ingrese hasta cierta profundidad, dándonos el valor de partida para la medición de la profundidad de la huella, posteriormente se aplica una carga de 150kg al cono o 100 kg a la esfera produciendo una nueva huella. Como se muestra en la figura 4.5.

Se mide la profundidad de penetración que queda en la escala del durómetro y se lee directamente la dureza rockwell C (cono) o rockwell B (esfera).

El penetrador es un cono de diamante industrial cuyo ángulo es de 120 con una punta esférica de 2 décimas de milímetro.

El penetrador esférico de acero es un balín de acero templado y pulido con un diámetro de 1.588 mm.

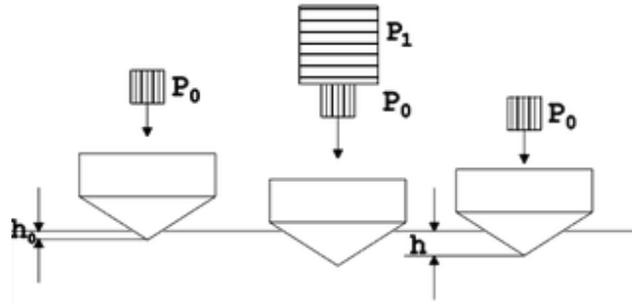


Figura 4.5.- Ensayo de dureza rockwell

#### 4.4.2. RESULTADOS DEL ENSAYO DE DUREZA

La tabla 4.4 indica la dureza en la zona soldada y la dureza del material base en cada uno de los casos permitiendo una comparación porcentual de las dos zonas de la probeta.

Resultados del ensayo de dureza				
Ensayo	Material	Dureza HRC		
		Material base	Material Soldado	% incremento
1	Cobre - cobre	12	14	16%
2	Aluminio - aluminio	6	9	30%
3	Cobre - aluminio	NA	NA	NA

Tabla 4. 4.- Resultados de ensayo de dureza

Se pudo determinar que la soldadura del aluminio endurece en 30% en la unión, mientras que el cobre su incremento es de 16%.

## **CÁPITULO 5**

### **COSTOS**

#### **5.1. INTRODUCCIÓN**

El siguiente capítulo determina el cálculo de costos para la construcción de una máquina soldadora por presión en frío, donde se toma en cuenta los valores de: materia prima, maquinado, tratamientos térmicos, mano de obra y costos indirectos de fabricación.

Una vez aprobado el proyecto inicial se tenía un valor inicial de USD. 2150, a continuación se detalla todos los gastos realizados en la construcción de la máquina destinada al laboratorio de soldadura de la Universidad Politécnica Salesiana.

El cálculo de costos ha adoptado diferentes criterios para su obtención tales como:

- Materia prima
- Costos de fabricación
- Costos indirectos

#### **5.2. MATERIA PRIMA**

La materia prima (ver tabla 5.1), indica los materiales directos de fabricación, sean estos obtenidos de la naturaleza o después de algún proceso de fabricación, pero previo a algún proceso de fabricación de la máquina.

Costos materia prima					
Ítem	Detalle	Cantidad	Datos técnicos	Valor unitario	Valor total
1	Cilindro hidráulico	1	15 toneladas	560	560
2	Adaptador hidráulico	1	1/4 NPT a 3/8 NPT	3,27	3,27
3	Manguera hidráulica	1	1/2 plg.	16,15	16,15
4	Bomba hidráulica	1	2v. Cap. 29 IN 3	407,31	407,31
5	Adaptador Manómetro	1	1/4x3/8 NPT	65,11	65,11
6	Manómetro	1	0-700 bar	70	70
7	Acero K 460	1		105,69	105,69
8	Plancha	1	215x245x20 mm	16,99	16,99
9	Plancha	2	205x215x20 mm	16,00	32,00
10	Acero plata	2	φ20x1000 mm	35	70
11	Acero AISI 1045	2	φ32x100 mm	1,415	2,83
12	Bronce SAE 40	2	φ50x110 mm	42,9	85,8
13	Tuercas acero	12	M3/4	0,8	9,6
14	Pernos	14	M6x30	0,25	3,5
15	Tuercas acero	14	M6	0,05	0,7
16	Arandelas planas	14	1/4 plg.	0,05	0,7
17	Arandelas planas	12	φ20 mm	0,2	2,4
18	Arandelas de presión	8	φ20 mm	0,25	2
19	Pernos	4	M14x2x70 mm	1,25	5
20	Perno allen	8	M6x1x20	0,2	1,6
21	Perno allen	4	M8x1,25x20	0,25	1
22	Perno allen	4	M8x1,25x30	0,3	1,2
23	Troqueles	3		108,82	326,46
24	tubo rectangular	2	50x25x2	20,56	41,12
25	Resortes	4		3	12
26	plancha	1		23,21	23,21
27	Ángulo	2	50x4x6000 mm	15	30
28	Regatones	4		1	4
				Subtotal	1899,64

*Tabla 5. 1.- Tabla costo de materia prima*

### 5.3. COSTOS DE MECANIZADO

El costo de fabricación incluye todo proceso que genere un cambio en la estructura y forma de la materia prima utilizando herramientas, máquinas herramientas, soldaduras y tratamientos térmicos. (Ver tabla 5.2).

Costo maquinado						
Ítem	Detalle	Máquina herramienta	Cantidad	Número de horas	Valor unitario	Valor total
1	Placa Guía inferior	Torno	2	0	10	0
		Fresadora		0	12	0
		Taladro		1	3	6
					Subtotal	6

Ítem	Detalle	Máquina herramienta	Cantidad	Número de horas	Valor unitario	Valor total
2	Placa Guía superior	Torno	2	0	10	0
		Fresadora		0	12	0
		Taladro		1	3	6
					Subtotal	6

Ítem	Detalle	Máquina herramienta	Cantidad	Número de horas	Valor unitario	Valor total
3	Tornillo de sujeción	Torno	4	1	10	40
		Fresadora		0	12	0
		Taladro		0	3	0
					Subtotal	40

Ítem	Detalle	Máquina herramienta	Cantidad	Número de horas	Valor unitario	Valor total
4	Eje guía	Torno	4	2	10	80
		Fresadora		0	12	0
		Taladro		0	3	0
					Subtotal	80

Ítem	Detalle	Máquina herramienta	Cantidad	Número de horas	Valor unitario	Valor total
5	Bocín	Torno	4	2	10	80
		Fresadora		0	12	0
		Taladro		0	3	0
					Subtotal	80

Ítem	Detalle	Máquina herramienta	Cantidad	Número de horas	Valor unitario	Valor total
6	Placa lateral	Torno	4	0	10	0
		Fresadora		0	12	0
		Taladro		1	3	12
					Subtotal	12

Ítem	Detalle	Máquina herramienta	Cantidad	Número de horas	Valor unitario	Valor total
7	Ángulo de sujeción	Torno	2	0	10	0
		Fresadora		0	12	0
		Taladro		1	3	6
					Subtotal	6

Ítem	Detalle	Máquina herramienta	Cantidad	Número de horas	Valor unitario	Valor total
8	Placa fija	Torno	1	0	10	0
		Fresadora		2	12	24
		Taladro		3	3	9
					Subtotal	33

Ítem	Detalle	Máquina herramienta	Cantidad	Número de horas	Valor unitario	Valor total
9	Cuña	Torno	2	0	10	0
		Fresadora		4	12	96
		Taladro		2	3	12
					Subtotal	108

Ítem	Detalle	Máquina herramienta	Cantidad	Número de horas	Valor unitario	Valor total
10	Mordazas	Torno	2	0	10	0
		Fresadora		2	12	48
		Taladro		0	3	0
					Subtotal	48

Ítem	Detalle	Máquina herramienta	Cantidad	Número de horas	Valor unitario	Valor total
11	Mordazas	Torno	2	0	10	0
		Fresadora		2	12	48
		Taladro		0	3	0
					Subtotal	48

Ítem	Detalle	Máquina herramienta	Cantidad	Número de horas	Valor unitario	Valor total
12	Placa fija	Torno	1	0	10	0
		Fresadora		2	12	24
		Taladro		3	3	9
					Subtotal	33

tem	Detalle	Máquina herramienta	Cantidad	Número de horas	Valor unitario	Valor total
13	Mesa	Soldadora	1	5	5	25
		Esmeril		2	2	4
		Taladro		3	3	9
					Subtotal	38

Subtotal mecanizado	538
---------------------	-----

*Tabla 5.2.- Tabla costos de mecanizado*

### 5.3.1. COSTO DE MANO DE OBRA DE MECANIZADO

A continuación se detalla el costo de mano de obra por pieza y máquina.

Costo de mano de obra de mecanizado						
Ítem	Detalle	Máquina herramienta	Cantidad	horas hombre	Valor unitario	Valor total
1	Placa Guía inferior	Torno	2	0	2	0
		Fresadora		0	2,5	0
		Taladro		1	1,5	3
					Subtotal	3

Ítem	Detalle	Máquina herramienta	Cantidad	Número de horas	Valor unitario	Valor total
2	Placa Guía superior	Torno	2	0	2	0
		Fresadora		0	2,5	0
		Taladro		1	1,5	3
					Subtotal	3

Ítem	Detalle	Máquina herramienta	Cantidad	Número de horas	Valor unitario	Valor total
3	Tornillo de sujeción	Torno	4	1	2	8
		Fresadora		0	2,5	0
		Taladro		0	1,5	0
					Subtotal	8

Ítem	Detalle	Máquina herramienta	Cantidad	Número de horas	Valor unitario	Valor total
4	Eje guía	Torno	4	2	2	16
		Fresadora		0	2,5	0
		Taladro		0	1,5	0
					Subtotal	16

Ítem	Detalle	Máquina herramienta	Cantidad	Número de horas	Valor unitario	Valor total
5	Bocín	Torno	4	2	2	16
		Fresadora		0	2,5	0
		Taladro		0	1,5	0
					Subtotal	16

Ítem	Detalle	Máquina herramienta	Cantidad	Número de horas	Valor unitario	Valor total
6	Placa lateral	Torno	4	0	2	0
		Fresadora		0	2,5	0
		Taladro		1	1,5	6
					Subtotal	6

Ítem	Detalle	Máquina herramienta	Cantidad	Número de horas	Valor unitario	Valor total
7	Ángulo de sujeción	Torno	2	0	2	0
		Fresadora		0	2,5	0
		Taladro		1	1,5	3
					Subtotal	3

Ítem	Detalle	Máquina herramienta	Cantidad	Número de horas	Valor unitario	Valor total
8	Placa fija	Torno	1	0	2	0
		Fresadora		2	2,5	5
		Taladro		3	1,5	4,5
					Subtotal	9,5

Ítem	Detalle	Máquina herramienta	Cantidad	Número de horas	Valor unitario	Valor total
9	Cuña	Torno	2	0	2	0
		Fresadora		4	2,5	20
		Taladro		2	1,5	6
					Subtotal	26

Ítem	Detalle	Máquina herramienta	Cantidad	Número de horas	Valor unitario	Valor total
10	Mordazas	Torno	2	0	2	0
		Fresadora		2	2,5	10
		Taladro		0	1,5	0
					Subtotal	10

Ítem	Detalle	Máquina herramienta	Cantidad	Número de horas	Valor unitario	Valor total
11	Mordazas	Torno	2	0	2	0
		Fresadora		2	2,5	10
		Taladro		0	1,5	0
					Subtotal	10

Ítem	Detalle	Máquina herramienta	Cantidad	Número de horas	Valor unitario	Valor total
12	Placa fija	Torno	1	0	2	0
		Fresadora		2	2,5	5
		Taladro		3	1,5	4,5
					Subtotal	9,5

Ítem	Detalle	Máquina herramienta	Cantidad	Número de horas	Valor unitario	Valor total
13	Mesa	Soldadora	1	5	3	15
		Esmeril		2	1	2
		Taladro		3	1,5	4,5
					Subtotal	21,5

Subtotal mano de obra	141,5
-----------------------	-------

*Tabla 5. 3.- Tabla costos de mano de obra de mecanizado*

Por lo tanto el subtotal de mecanizado es 679.5 dólares americanos

### 5.3.2. TRATAMIENTOS TÉRMICOS (Ver tabla 5.4)

Costos tratamientos térmicos				
Ítem	Detalle	Cantidad	Valor unitario	Valor total
1	Cuña	2	20	40
2	Mordazas	2	20	40
3	Mordazas	2	20	40
Subtotal tratamientos térmicos				120

Tabla 5. 4.- Tabla de costos de tratamientos térmicos

El costo total de fabricación es 799.5 dólares americanos

### 5.4. COSTOS INDIRECTOS

Son todos los costos distintos de las materias primas y manufactura de acción directa sobre la máquina. (Ver tabla 5.5)

Costos tratamientos térmicos		
Ítem	Detalle	Valor unitario
1	Materia prima indirecta	70
2	Maquinado indirecto	70
3	Imprevistos	100
Subtotal costos indirectos		240

Tabla 5. 5.- Tabla de costos indirectos de fabricación

## 5.5. VALOR TOTAL MÁQUINA POR PRESIÓN EN FRÍO

Valor total máquina		
Ítem	Detalle	Valor unitario
1	Materia prima	1899,64
2	Costo de fabricación	799,5
3	Costos indirectos	240
	Total valor de máquina	2939,14

*Tabla 5. 6.- Valor total de la máquina*

El valor total de la máquina por presión en frío es de USD. 2939.14 dólares americanos.

## **CÁPITULO 6**

### **PRÁCTICA DE LABORATORIO**

La importancia de la soldadura en la tecnología actual es indiscutible. Si se considera como método de fabricación a gran escala, constituye una verdadera alternativa de producción y si se considera el fácil mantenimiento industrial, la soldadura por presión en frío resulta una buena alternativa a la soldadura actual.

Para la enseñanza de la soldadura por presión en frío, en la materia TSAV, en la Carrera de Ingeniería Mecánica se ha provisto de la guía de la práctica de este ensayo.

Comprende en la primera parte de estas guías la información del soporte conceptual de los principios básicos de la soldadura en frío, cuenta con el tiempo establecido para dicha práctica, los procedimientos para realizar paso a paso el ensayo de soldadura y finalmente el informe que deberá presentar el estudiante con las preguntas respectivas que ayudará a este y al profesor a evaluar el conocimiento adquirido.

Con el objeto de aprovechar al máximo la máquina soldadora en frío, se implementa la guía de la práctica para este ensayo.



## PRÁCTICA N.- 1

## SOLDADURA POR PRESION EN FRÍO (CW)

### 1. OBJETIVO GENERAL:

Luego de la práctica el estudiante estará en condiciones de explicar los principios de la soldadura por presión en frío mediante la elaboración de su ensayo.

### 2. OBJETIVOS ESPECIFICOS:

- Familiarizarse con la máquina de soldadura.
- Realizar la soldadura con probetas 7mm con una de las siguientes combinaciones:
  - Cobre – Cobre
  - Aluminio – Aluminio
  - Aluminio – Cobre
- Determinar la diferencia entre el material soldado y el material base mediante ensayos de tracción.

### 3. MARCO TEÓRICO

La soldadura por presión (en estado sólido), es el procedimiento en el cual se produce la unión mediante la aplicación de presión a los metales a soldar sin la utilización de materiales de aporte y se produce a temperaturas menores a sus puntos de fusión<sup>33</sup>.

Los procesos que pertenecen a este grupo son:

- En frío
- Por explosión

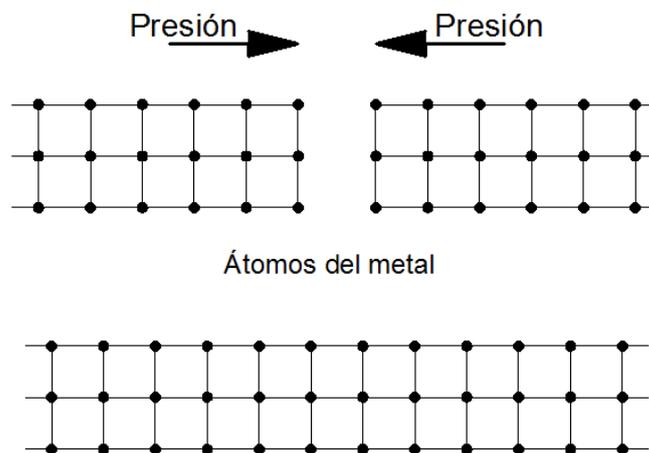
---

33 ESPINOSA, R.; TEJADA, L.; YANDUN, L.; *Guías de prácticas de Soldadura*. Quito, 1984, P112.

- Por fricción
- Por laminado
- Por difusión
- Por forja
- Por presión en caliente
- Por ultrasonido

La soldadura por presión en frío es un proceso en el que se emplea presión a temperatura ambiente para producir la coalescencia de los metales con una deformación considerable en el punto de soldadura, <sup>34</sup> aprovechando solamente las fuerzas fundamentales de atracción que sostienen los átomos de un sólido (fuerzas interatómicas) como se muestra en la figura 1.6.

Los metales en estado sólido poseen una estructura cristalina; la unión de los materiales a utilizarse se produce por el enlace metálico, donde cada átomo de metal contribuye con sus electrones de valencia a formar una nube electrónica negativa. Estos electrones no están asociados con unión particular, sino que se mueven libremente entre los iones metálicos positivos en niveles de energía definidos. Los iones metálicos se mantienen juntos en función de su gran atracción mutua con la nube electrónica negativa.



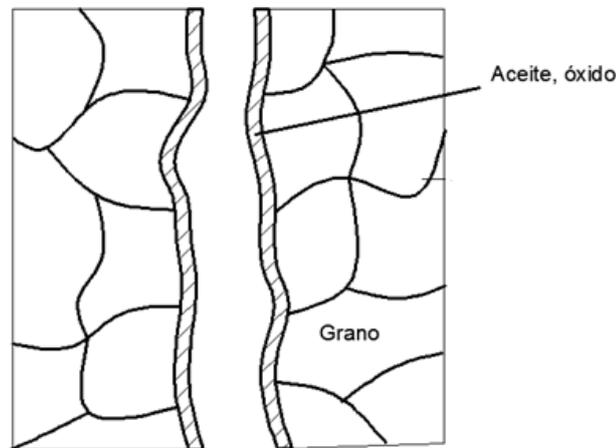
*Figura 6. 1.- Unión por fuerzas interatómicas.*

---

34 *Manual de soldadura, American Welding Society.* Tomo III Prentice-hall Hispanoamérica S.A. México P900.

Condiciones para lograr la soldadura:

1. Se debe aplicar la presión suficiente para retirar la película de óxido, humedad y fallas de la superficie a soldar.
2. Que las distancias que separa a los átomos de las superficies a unirse se reduzcan a valores equivalentes al espacio interatómico, de modo que actúen las fuerzas atómicas atractivas.



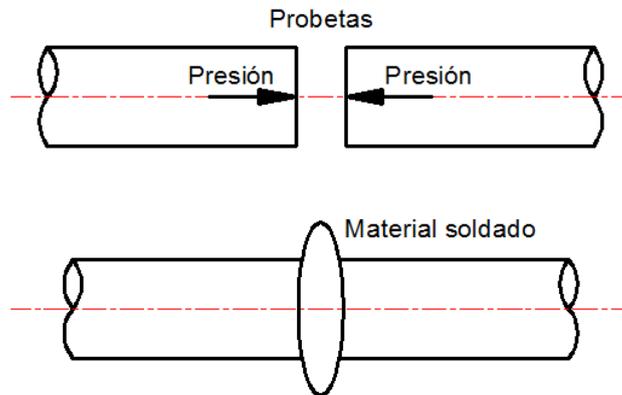
*Figura 6. 2.- Superficie de probetas.*

La aplicación de fuerza hace que el material que está entre los dados se desplace radialmente, produciendo en el material lo siguiente:<sup>35</sup>

- Disgrega la película de óxido presente en las superficies puestas a tope y hace que salga en su mayor parte de la zona de unión.
- Permite que el metal libre de óxido de un lado de la interfaz establezca un contacto íntimo con el metal libre de óxido del otro lado.
- Suministra la energía que permite a las superficies en contacto formar un enlace metálico entre ellas.

<sup>35</sup> *Manual de soldadura, American Welding Society. Tomo III Prentice-hall Hispanoamérica S.A. México P903.*

De esta manera, se satisfacen todos los requisitos para formar la soldadura. El material desplazado se forma por el flujo radial del metal que luego puede ser cercenado por las mismas mordazas cuando estas se juntan.



*Figura 6.3.- Unión a tope*

## **MATERIAL Y EQUIPO**

- Máquina soldadora en frío por presión.
- Entenalla.
- Lima, lija de agua 400.
- Dos probetas de alambón de aluminio de 6mm y cobre de 4.5mm de diámetro.

## **TIEMPO ESTIMADO**

120 minutos, distribuidos de la siguiente manera:

Conferencia: 15 minutos.                      Local: Aula.

Práctica: 75 minutos.                      Local: Laboratorio de Soldadura.

Ensayo: 30 minutos.                      Local: Laboratorio de Resistencia.

## **PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL**

1. Orden y limpieza en área de trabajo.
2. Seleccionar las mordazas adecuadas según el diámetro de las probetas.
3. Montar las cuñas y alinearlas en el plano horizontal.

4. Armar las mordazas y colocarlas en las guías correspondientes en la máquina.
5. Limpiar con lima fina adecuadamente y luego pulirlas con la lija de agua hasta un acabado uniforme de la superficie a soldar de las probetas.
6. Cerrar la válvula de la bomba hidráulica.
7. Simultáneamente, alinear las probetas y bombear hasta que queden en contacto, verificando su alineación.
8. Continuar bombeando hasta obtener la presión de 1200 - 2000 psi.
9. Posteriormente abrir la válvula de aceite de la bomba para que se abran las mordazas y nos muestren la soldadura. En caso de no soldarse repetir el paso 7 de 2 a 3 veces.
10. Retirar la barra soldada de las mordazas.
11. Eliminar el exceso de material en la línea de soldadura.
12. Proceder a realizar los ensayos de tracción en la probeta soldada y comprobar la calidad de soldadura.

## **INFORME**

- a) Comparar el efecto de la presión sobre la calidad de la soldadura.
- b) Comparar los resultados del ensayo de tracción del material soldado y del material base.
- c) Escribir 5 ejemplos de aplicaciones prácticas en la industria de este proceso de soldadura.
- d) ¿Cuál es el principio de funcionamiento de soldadura por presión en frío?
- e) ¿Por qué requiere este tipo de soldadura grandes presiones para acercar las superficies de soldadura?
- f) ¿Las probetas de cobre se sueldan a una presión de 1200 psi, de que depende esta presión?
- g) ¿Qué es necesario eliminar en las probetas de cobre para poder soldarlas?
- h) ¿A qué temperatura se produce la unión de metales en el proceso de soldadura por presión en frío?

## TABLA Y FORMULARIO:

Resultados del ensayo de soldadura por presión en frío			
Ensayos	Material	Presión (Bar)	
		Presión por ensayo	Presión calculada
1	Cobre-cobre		
2	Aluminio-aluminio		
3	Cobre-aluminio		

La presión necesaria para que las probetas de cobre se suelden en frío nos da la siguiente formula:

$$P_w = Y_p \left( \frac{100}{2 \# \text{ mérito}} \right)$$

Dónde:

Material: Barra de cobre electrolítico.

$Y_p$ : Límite de elasticidad =  $7 \frac{kg}{mm^2}$

# de mérito: 14

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

## CALIFICACIÓN

Práctica \_\_\_\_\_ Informe \_\_\_\_\_

Nota final \_\_\_\_\_.

## CONCLUSIONES

- La construcción de la “Maquina de soldadura por presión en frío” servirá de apoyo para la enseñanza y entendimiento de la unión de los metales sin calentamiento ni material de aporte, en el laboratorio de soldadura de la Universidad Politécnica Salesiana.
- El equipo fue diseñado con los requisitos de satisfacción para el cobre, lo que permitió asegurar la unión del aluminio.
- Este proceso de soldadura permitió demostrar que se puede unir materiales sin necesidad de temperatura solamente utilizando los enlaces metálicos.
- Los resultados permiten comprobar que el proceso de soldadura no produce gases, no utiliza energía externa, ni materiales de aporte y, el material desperdiciado puede ser reciclado. Por lo tanto esta es mucho más limpia y amigable con el medio ambiente que otros procesos de soldadura (oxiacetilénica, eléctrica, etc.).
- Solamente se puede realizar dos tipos de unión (traslapo y a tope) siendo un gran inconveniente para masificar el uso de este tipo de soldadura.
- Los materiales más apropiados para ser soldados son los de estructura cristalina FCC ya que poseen una mayor separación entre átomos, siendo estos materiales más dúctiles, permitiendo una mejor deformación. sin embargo durante el proceso los metales no deben endurecerse para realizar una unión satisfactoria.
- La presión de trabajo en la soldadura para el aluminio y el cobre se encuentra entre 1500 a 2500 psi dependiendo principalmente del diámetro del material.
- La velocidad de acercamiento de las probetas influye en la cantidad de material desplazado.
- Para obtener una unión satisfactoria se debe realizar el proceso de deformación más de 3 a 4 veces para desplazar las impurezas que no permiten la junta.
- La tabla 4.2 evidencia que el material en la zona soldada es más resistente que el metal base en el caso del aluminio, sin embargo para el caso del cobre la unión soldada tiene un límite a la tracción menor que el material base.
- No fue posible medir la resistencia a la tracción debido al rango de la máquina de tracción, pero se tomaron datos en base a ensayos y estudios anteriores de la ASME.

- La tabla 4.3 indica que una vez realizado el ensayo de doblado, la probeta de aluminio se dobla totalmente sin muestra de grietas, mientras que la probeta de cobre se rompe en la soldadura, no se pudo obtener datos numéricos porque la escala es mayor que la resistencia al doblado de las probetas.
- La tabla 4.4 demuestra que la zona soldada es 30% más dura que el material base, dicho aumento es producido por la dislocación de los átomos y la compresión de los granos del material.
- Los costos de fabricación de los troqueles de sujeción de las probetas resultaron ser muy altos por lo que se optó por importar.

## **RECOMENDACIONES**

- Nunca se debe colocar probetas de diámetro mayor al de los troqueles ya que puede producir daños permanentes en los mismos.
- Colocar y alinear correctamente los troqueles en las guías.
- La unión depende principalmente del material desplazado, sin embargo para producir una unión satisfactoria desde el primer proceso, se debe lijar la superficie para eliminar impurezas
- No se debe sobrepasar la presión de 2500 psi por motivos de seguridad industrial y del equipo.
- Se recomienda utilizar materiales dúctiles como el aluminio puro y cobre puro y no utilizar aleaciones con bajo porcentaje de los mismos.

## BIBLIOGRAFÍA

- CRISTOBAL DE MONROY, Procedimientos de unión: Soldadura, Dpto. de Tecnología.
- DEGRAMO P., TEMPLE BLACK J., KOHSER R., Materiales y procesos de fabricación, reverté, 1988.
- *Manual de soldadura, American Welding Society*. Tomo III Prentice-hall Hispanoamérica S.A. México.
- ESPINOSA, R.; TEJADA, L.; YANDUN, L.; *Guias de prácticas de laboratorio*. Quito, 1984.
- F. C. KELLEY, *Welding journal*, (1951).
- YANCHAPAXI, J. *Soldadura por presión en frío para el laboratorio de la EPN*, EPN, 1984.
- ESPINOSA R. *Apuntes de soldadura*. EPN. Quito.
- UDIN, H., FUNK, E., WULFF, J, *Welding for engineers*. John Wiley y Sons, Inc. 1954.
- LASHERAS, E.; *Materiales industriales*. Zaragoza. 1981.
- “*Metalurgia extractiva: procesos de obtención*”. José Sancho, Luis Felipe Verdeja y Antonio Ballester. Editorial Síntesis, 2000.
- SHELL. *Aceites hidráulicos Shell*.
- MANUAL POWERTEAM
- IBCA, IVAN BOHMAN C.A. *Catalogo de aceros, herramientas de corte y soldadura*.
- ALVAREZ, R. PEÑA, C. *Diseño y simulación de un sistema de mordazas hidráulicas para una maquina universal de ensayos Marca Tinius Olsen Modelos Súper L*, EPN, 2010.
- RICHARD BUDYNAS y KEITH NISBETT, *DISEÑO EN INGENIERÍA MECÁNICA de Shigley*, , Segunda edición Octava edición, MC GRAW HILL, P.

## NETGRAFÍA

- <http://www.uca.edu.sv/facultad/clases/ing/m210031/Tema%2011.pdf>
- <http://www.monografias.com/trabajos70/acabados-superficiales-normas-simbologia/acabados-superficiales-normas-simbologia2.shtml>
- [http://www.dimf.upct.es/personal/MM\\_I/Practicas%20Materiales.pdf](http://www.dimf.upct.es/personal/MM_I/Practicas%20Materiales.pdf)
- [http://www.szlenghan.com/en/pro\\_info.asp?cid=551](http://www.szlenghan.com/en/pro_info.asp?cid=551)

# **ANEXO 1**

## **PLANOS DE LA MÁQUINA SOLDADORA POR PRESIÓN EN FRÍO**

# **ANEXO 2**

## **TABLAS Y MANUALES UTILIZADOS EN EL DISEÑO**

## Anexo A

### Número de merito

Número de mérito para la soldadura por presión en frío		
Material	Número de mérito	Deformación óptima
Aluminio puro comercial	33	34%
Aluminio con 2 % de magnesio	30	40%
Duraluminio	20	60%
Cadmio	16	68%
Plomo	16	68%
Cobre	14	72%
Hierro	8	84%
Plata	6	88%
Aluminio y cobre	16	68%
Aluminio y hierro	12	76%
Hierro y níquel	6	88%

## ANEXO B

### Coefficientes de rozamiento estático y dinámico

Coeficiente de rozamiento				
Materiales	Estático		Dinámico	
	Seco	Lubricado	Seco	Lubricado
Acero - acero	0,15	0,1	0,1	0,09
Acero - fundición de hierro	0,19	0,1	0,18	0,08
Acero - bronce	0,19	0,1	0,18	0,08
Acero - cobre	0,53	0,13	0,32	0,1

# ANEXO C

## Catálogos IBCA

### AISI 01


  
**IVAN BONMAN C.A.** *K 460*



**DF-2 = AISI 01**

**Acero para trabajo en frío**

**GENERALIDADES:** Acero al manganeso-cromo-tungsteno, templeable en aceite para uso general. Apto para una gran variedad de aplicaciones de trabajo en frío. Buena maquinabilidad, estabilidad dimensional en el temple y buena combinación de dureza y tenacidad tras temple y revenido. Suministrado a 190 HB aproximadamente.

**ANÁLISIS TÍPICO %**

	C	Si	Mn	Cr	W	V
ASSAB DF2	0.90	--	1.20	0.50	0.50	0.10
AISI/SAE 01	0.85-0.95	0.20-0.40	1.00-1.30	0.40-0.60	0.40-0.60	0.20

**EQUIVALENCIAS**

<b>AISI/SAE</b>	01
<b>DIN</b>	100MnCrW4
<b>W.Nr</b>	1.2510
<b>UNE</b>	F-5220
<b>UDDEHOLM</b>	ARNE

**CARACTERÍSTICAS FÍSICAS A 62 HRC**

Temperatura °C	20	200	400
<b>Densidad kg/m<sup>3</sup></b>	7800	7750	7700
<b>Módulo de elasticidad N/mm<sup>2</sup></b>	190000	185000	170000
<b>Coefficiente de dilatación térmica por °C a partir de 20 °C</b>	—	11.7x10 <sup>-6</sup>	11.4x10 <sup>-6</sup>

**APLICACIONES:**

HERRAMIENTAS PARA:	ESPESOR DE MATERIAL	HRC
Corte:	hasta 3 mm	60-62
Cizallado, punzonado, troquelado, desbastado, tronzado	3-6 mm	54-60
	6-10 mm	54-56
Cizallas para trabajar en frío.		54-60
Herramientas de tronzado y desbarbado para piezas de forja	caliente	58-60
	frío	56-58
Conformado		
Doblar, acuar, embutición profunda, repujado y conformado por estirado.		56-62
Troqueles pequeños de acuar en frío, expulsores, brocas y machos de roscar de tamaño pequeño y mediano.		56-60



**TRATAMIENTO TÉRMICO**

**Recocido blando:** Proteger al acero y calentarlo en toda su masa a 780 °C. Luego enfriarlo en el horno a 15°C/h hasta 650 °C y por último libremente al aire.

**Eliminación de tensiones:** Después del desbastado en máquina, calentar la herramienta a 650 °C, tiempo de mantenimiento 2 horas. Enfriar lentamente hasta 500 °C y después libremente al aire.

**Temple:**

Temperatura de precalentamiento: 600-700 °C

Temperatura de austenización: 790-850 °C

**Agentes de enfriamiento:**

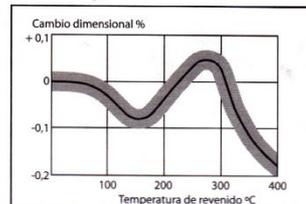
- Aceite
- Temple escalonado martensítico a 180-225 °C, después enfriar al aire

**Cambios dimensionales durante el temple y revenido**

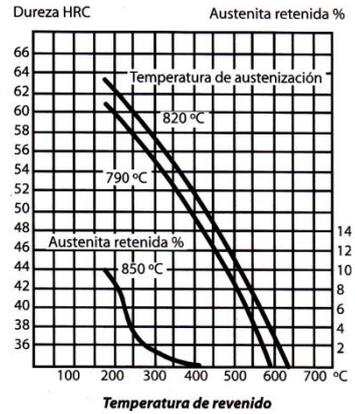
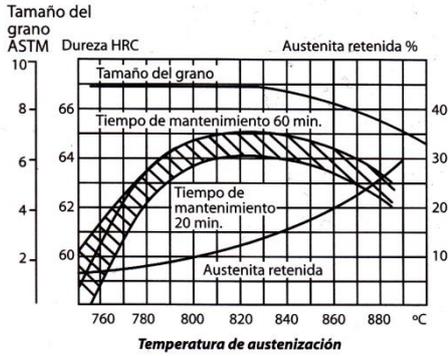
**Durante el temple:** (Plancha de muestra: 100x100x25 mm)

	Ancho %	Longitud %	Espesor %
<b>Temple en aceite desde 830 °C</b>	min.	+0.03	+0.04
	máx.	+0.10	+0.10
<b>Temple escalonado martensítico desde 830 °C</b>	min.	+0.04	+0.06
	máx.	+0.12	+0.12

**Durante el revenido:**



**CURVAS PARA TEMPLE Y REVENIDO (2h+2h)**



**MEDIDAS EN STOCK**

**REDONDO**

mm	APROX. PULGADAS	PESO APROX. kg/m
10	3/8	0.6
12.7	1/2	1.0
14	9/16	1.2
15	19/32	1.4
16	5/8	1.6
18	23/32	2.0
20	25/32	2.5
22	7/8	3.0
25.4	1	4.0
28	1 1/32	4.1
30	1 3/16	5.5
32	1 1/4	6.3
35	1 3/8	7.5
38	1 1/2	8.9
40	1 21/32	10.8
45	1 3/4	12.4
50	1 31/32	15.3
50.8	2	15.8
55	2 5/32	18.5
60	2 3/8	22.1
63.5	2 1/2	23.6
70	2 3/4	30.0
76.2	3	35.8

**REDONDO**

mm	APROX. PULGADAS	PESO APROX. kg/m
80	3 5/32	39.2
85	3 11/32	44.3
90	3 17/32	49.7
95	3 3/4	55.6
102	4	63.5
108	4 1/4	71.6
115	4 1/2	81.5
120	4 3/4	88.3
127	5	99.4
135	5 3/8	112.3
140	5 1/2	120.1
151	5 7/8	137.9
153	6	144.2
160	6 1/4	156.9
170	6 11/16	177.2
180	7 1/8	198.6
200	7 7/8	245.2
203	8	251.5
225	8 13/16	311.9
250	9 7/8	383.1
280	11	480.6
300	11 7/8	555.0

**CUADRADO**

mm	APROX. PULGADAS	PESO APROX. kg/m
12x12	15/32x15/32	1.1
15x15	19/32x19/32	1.8
18x18	23/32x23/32	2.5
25.4x25.4	1x1	5.1
28x28	1 3/32x1 3/32	6.1
35x35	1 3/8x1 3/8	9.6
41x41	1 5/8x1 5/8	13.2
43x43	1 11/16x1 11/16	14.5
50.8x50.8	2x2	20.3
57x57	2 7/32x2 7/32	25.5
69x69	2 11/16x2 11/16	37.4
76.2x76.2	3x3	45.3
82x82	3 7/32x3 7/32	52.8

## AISI 1018

### ACERO AISI-SAE 1018 (UNS G10180)

**1. Descripción:** este acero de bajo - medio carbono tiene buena soldabilidad y ligeramente mejor maquinabilidad que los aceros con grados menores de carbono. Se presenta en condición de calibrado (acabado en frío). Debido a su alta tenacidad y baja resistencia mecánica es adecuado para componentes de maquinaria.

**2. Normas involucradas:** ASTM A 108

**3. Propiedades mecánicas:**

- Dureza 126 HB (71 HRb)
- Esfuerzo de fluencia 370 MPa (53700 PSI)
- Esfuerzo máximo 440 MPa (63800 PSI)
- Elongación máxima 15% (en 50 mm)
- Reducción de área 40%
- Modulo de elasticidad 205 GPa (29700 KSI)
- Maquinabilidad 76% (AISI 1212 = 100%)

**4. Propiedades físicas:** Densidad 7.87 g/cm<sup>3</sup> (0.284 lb/in<sup>3</sup>)

**5. Propiedades químicas:**

- 0.15 – 0.20 % C
- 0.60 – 0.90 % Mn
- 0.04 % P máx
- 0.05 % S máx

**6. Usos:** se utiliza en operaciones de deformación plástica como remachado y extrusión. Se utiliza también en componentes de maquinaria debido a su facilidad para conformarlo y soldarlo. Piezas típicas son los pines, cuñas, remaches, rodillos, piñones, pasadores, tornillos y aplicaciones de lámina

**NOTA:**

Los valores expresados en las propiedades mecánicas y físicas corresponden a los valores promedio que se espera cumple el material. Tales valores son para orientar a aquella persona que debe diseñar o construir algún componente o estructura pero en ningún momento se deben considerar como valores estrictamente exactos para su uso en el diseño.

**Eje de transmisión - Tolerancia h10-h11**

**GENERALIDADES:** Acero de bajo contenido de carbono.

**ANÁLISIS TÍPICO %**

	C	Mn	P	S
SAE 1018	0.15-0.20	0.60-0.90	0.040	0.050

**PROPIEDADES MECÁNICAS:**

Suministrado laminado en frío (medidas pequeñas hasta 2 1/2") o torneado (medidas hasta 6"). Las medidas 7", 8", 9" y 10" son suministradas laminadas en caliente o torneado de desbaste.

Propiedad: Laminado en Frío	
Esfuerzo de cedencia, kg/mm <sup>2</sup>	mim.31
Resistencia a la tracción, kg/mm <sup>2</sup>	51-71
Elongación, A5	20%
Reducción de área, Z	57%
Dureza	163HB

# SAE 40



IVAN BOHMAN C.A.

## BRONCE SAE 40 Calidad BS 1400 LG - 2

**GENERALIDADES:** Aleación de cobre de buenas cualidades elásticas y de resistencia al desgaste. Alta pureza de material, con la eliminación total de porosidad interna. Buena conductividad térmica, resistencia a la corrosión y facilidad de maquinado.

### ANÁLISIS TÍPICO %

SAE 40	Cu	Sn	Pb	Zn
	85%	5%	5%	5%

### APLICACIONES

Donde hay aplicación de cargas ligeras y velocidades de baja a media, con sistemas de lubricación normal. Respaldos de cojinetes, arandelas de empuje de transmisiones automáticas automotrices, cojinetes múltiples, manguitos de bomba y bocines. Utilizado donde se requiere mucho maquinado.

**Dureza de suministro:** Mínimo 70HB.

### MEDIDAS EN STOCK

#### REDONDO

mm	APROX. PULGADAS	PESO APROX. kg/m
13	1/2	1.2
16	5/8	1.9
19	3/4	2.5
23	7/8	3.8
26	1"	4.8
29	1 1/8	5.9
31	1 1/4	6.7
33	1 3/8	7.6
36	1 3/8	9.1
39	1 1/2	10.7
41	1 11/16	11.8
46	1 3/4	14.8
51	2"	18.2
56	2 1/4	21.9
61	2 3/8	26.0
67	2 5/8	31.3
72	2 3/4	35.8
77	3"	41.0
82	3 1/4	46.4
87	3 1/2	52.3
92	3 3/4	58.5
102	4"	72.7
112	4 1/2	87.8
122	4 3/4	104.0
132	5 1/4	121.8
142	5 1/2	140.9
152	6"	161.5
172	7"	207.0
182	7 1/4	232.0
202	8"	285.0
222	8 3/4	344.0
252	10"	444.0

#### BARRA PERFORADA

mm	APROX. PULGADAS	PESO APROX. kg/m
26x13	1x1/2	3.5
26x18	1x3/4	2.5
29x13	1 1/8x1/2	4.7
29x18	1 1/8x3/4	3.6
33x13	1 1/4x1/2	6.4
33x18	1 1/4x3/4	5.3
33x23	1 1/4x1	3.9
36x13	1 3/8x1/2	7.9
36x18	1 3/8x3/4	6.9
36x23	1 3/8x7/8	5.4
39x26	1 1/2x1	5.9
39x28	1 1/2x1 1/8	5.2
41x13	1 5/8x1/2	10.6
41x18	1 5/8x3/4	9.5
41x23	1 5/8x7/8	8.1
46x18	1 3/4x3/4	12.5
46x23	1 3/4x7/8	11.1
46x33	1 3/4x1 1/4	7.2
51x18	2x3/4	15.9
51x23	2x7/8	14.5
51x33	2x1 1/4	10.6
51x38	2x1 1/2	8.1
56x18	2 1/4x3/4	19.6
56x23	2 1/4x1	18.2
56x33	2 1/4x1 1/4	14.3
56x38	2 1/4x1 1/2	11.8
61x18	2 1/2x3/4	23.7
61x38	2 1/2x1 1/2	15.9
61x43	2 1/2x1 3/4	13.1
61x48	2 1/2x1 7/8	9.9
67x38	2 5/8x1 1/2	21.3
67x48	2 5/8x1 7/8	15.3
72x23	2 3/4x7/8	32.5
72x33	2 3/4x1 1/4	28.6
72x38	2 3/4x1 1/2	26.1

mm	APROX. PULGADAS	PESO APROX. kg/m
72x43	2 3/4x1 3/4	23.3
72x48	2 3/4x1 7/8	20.1
77x23	3x1	37.7
77x38	3x1 1/2	31.4
77x53	3x2 1/8	21.8
77x63	3x2 1/2	13.7
82x43	3 1/4x1 3/4	34.1
82x48	3 1/4x1 7/8	30.9
87x43	3 1/2x1 3/4	40.0
87x48	3 1/2x1 7/8	36.8
87x68	3 1/2x2 3/4	20.6
87x73	3 1/2x3	15.7
97x38	3 3/4x1 1/2	55.6
97x43	3 3/4x1 3/4	52.8
97x48	3 3/4x1 7/8	49.6
97x58	3 3/4x2 1/4	42.3
97x63	3 3/4x2 1/2	38.0
97x68	3 3/4x2 3/4	33.4
102x48	4x1 7/8	56.6
102x58	4x2 1/4	49.2
102x68	4x2 3/4	40.4
102x78	4x3	30.2
117x63	4 1/2x2 1/2	67.9
117x73	4 1/2x3	58.4
122x78	4 3/4x3	61.5
127x103	5x4	38.6
142x58	5 1/2x2 1/4	117.4
142x78	5 1/2x3	98.4
142x98	5 1/2x3 3/4	73.0
147x103	5 3/4x4	76.9
152x88	6x3 1/2	107.3
152x98	6x3 3/4	94.3
162x98	6 3/8x3 3/4	116.3
182x118	7x4 1/2	134.1
202x98	8x3 3/4	218.0
202x158	8"x6 1/4	110.7

**NOTA:** La equivalencia entre mm y pulgadas no es exacta, debido a los diferentes estándares de fabricación de nuestros proveedores.

## ANEXO D

### Propiedades mecánicas de alambres para resortes

Propiedades mecánicas de algunos alambres para resorte

Material	Limite elástico, porcentaje de $S_{UT}$ tensión, torsión		Diámetro d, pulg	E		G	
	Mpsi	GPa		Mpsi	GPa		
Alambre de piano A228	65-75	45-60	<0.032	29.5	203.4	12.0	82.7
			0.033-0.063	29.0	200	11.85	81.7
			0.064-0.125	28.5	196.5	11.75	81.0
			>0.125	28.0	193	11.6	80.0
Resorte estirado duro A227	60-70	45-55	<0.032	28.8	198.6	11.7	80.7
			0.033-0.063	28.7	197.9	11.6	80.0
			0.064-0.125	28.6	197.2	11.5	79.3
			>0.125	28.5	196.5	11.4	78.6
Templado en aceite A239	85-90	45-50		28.5	196.5	11.2	77.2
Resorte de válvula A230	85-90	50-60		29.5	203.4	11.2	77.2
Cromo vanadio A231	88-93	65-75		29.5	203.4	11.2	77.2
A232	88-93			29.5	203.4	11.2	77.2
Cromo silicio A401	85-93	65-75		29.5	203.4	11.2	77.2
Acero inoxidable							
A313*	65-75	45-55		28	193	10 <sup>o</sup>	69.0
17-7PH	75-80	55-60		29.5	208.4	11	75.8
414	65-70	42-55		29	200	11.2	77.2
420	65-75	45-55		29	200	11.2	77.2
431	72-76	50-55		30	206	11.5	79.3
Bronce fosforado B159	75-80	45-50		15	103.4	6	41.4
Cobre al berilio B197	70	50		17	117.2	6.5	44.8
	75	50-55		19	131	7.3	50.3
Aleación inconel X-750	65-70	40-45		31	213.7	11.2	77.2

\*También incluye 302, 304 y 316.

## ANEXO E

### Especificaciones para la selección de la bomba hidráulica



## BOMBA MANUAL

### Hidráulica Serie P

24.4 a 55 Pulg.<sup>3</sup>  
Dos Velocidades  
Acción Simple

#### LA BOMBA PASA AUTOMÁTICAMENTE A LA ETAPA DE ELEVACIÓN A ALTA PRESIÓN AL ENTRAR EN CONTACTO CON LA CARGA

- Estructura completamente metálica que no sufre quemaduras en entornos de soldadura.
- La doble velocidad reduce el número de bombeos de la palanca para poder trabajar con mayor rapidez y facilidad.
- Asa metálica con forma que sufre menos deformación y reduce la fatiga del operario.
- El cómodo puerto de llenado permite rellenar de aceite las bombas en posición vertical u horizontal.
- La válvula de alivio montada en la válvula de retención impide que las cargas descendan.
- Un gran mando de la válvula proporciona un mayor control para hacer descender las cargas lentamente y de manera precisa.

10.000 psi

#### P19/P59L

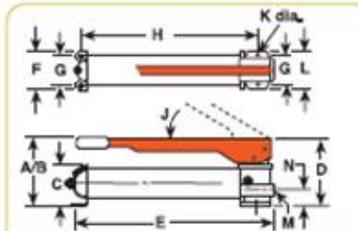
- Más volumen de aceite útil: para su uso con cilindros más grandes o de mayor carrera.
- La válvula de descarga adaptada para 850 psi (59bares) proporciona mayor eficacia y menor resistencia manual.
- Su diseño articulado reduce el esfuerzo manual en un 40%.
- Depósito, colector y cabezal de extremo fabricados con aluminio resistente.
- Manivela antideslizante ergonómica que proporciona mayor comodidad.
- Bloqueo de manivela por muelles incorporados en ella.



Juego de conversión en bomba de pedal

No. FK59 – juego de conversión en bomba de pedal para su uso en bombas P55/P59. Peso 6 lbs.

No. FK159B – juego de conversión en bomba de pedal para su uso en bombas P55/P59 P157/P159 y P300/P300D. Peso 6 lbs.



Bomba N°.	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
	(pulg.)	(pulg.)	(pulg.)	(pulg.)	(pulg.)	(pulg.)	(pulg.)	(pulg.)	(pulg.)	(ángulo)	(pulg.)	(pulg.)	(pulg.)	(pulg.)
P19	5 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	14 <sup>1</sup> / <sub>8</sub>	2 <sup>1</sup> / <sub>8</sub>	4 <sup>1</sup> / <sub>8</sub>	13 <sup>11</sup> / <sub>32</sub>	4	3 <sup>1</sup> / <sub>8</sub>	11 <sup>11</sup> / <sub>32</sub>	53°	5 <sup>1</sup> / <sub>16</sub>	4	3 <sup>1</sup> / <sub>8</sub> NPTF	11 <sup>11</sup> / <sub>32</sub>	
P59	7	21	3 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	5	23	4 <sup>1</sup> / <sub>8</sub>	3 <sup>1</sup> / <sub>8</sub>	19 <sup>3</sup> / <sub>8</sub>	38°	5 <sup>1</sup> / <sub>16</sub>	4 <sup>1</sup> / <sub>8</sub>	3 <sup>1</sup> / <sub>8</sub> NPTF	1 <sup>1</sup> / <sub>8</sub>	
P59F	3 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	10 <sup>3</sup> / <sub>8</sub>	3 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	6	23 <sup>3</sup> / <sub>8</sub>	4 <sup>1</sup> / <sub>8</sub>	3 <sup>1</sup> / <sub>8</sub>	20 <sup>3</sup> / <sub>8</sub>	—	5 <sup>1</sup> / <sub>16</sub>	4 <sup>1</sup> / <sub>8</sub>	3 <sup>1</sup> / <sub>8</sub> NPTF	11 <sup>11</sup> / <sub>32</sub>	

Pesa Usar Con	Pedido No.	Velocidades	Volumen y Presión		Presión Mínima (psi)		Esfuerzo en Palanca del Depósito (lbs.)	Cap. de Aceite (pulg. <sup>3</sup> )	Cap. Oil de Aceite (pulg. <sup>3</sup> )	Puerto de Aceite (pulg.)	Peso (lbs.)
			BP	AP	BP	AP					
Cilindros de Acción Simple*	P19	2	.305	.076	325	10,000	99	24.4	20	3 <sup>1</sup> / <sub>8</sub> NPTF	6.6
	P19L	2	.250	.050	850	10,000	78	29	27	7 <sup>1</sup> / <sub>8</sub> NPTF	5.1
	P59	2	.662	.160	325	10,000	145	55	45	7 <sup>1</sup> / <sub>8</sub> NPTF	17.2
	P59L	2	.720	.150	850	10,000	104	69	66	7 <sup>1</sup> / <sub>8</sub> NPTF	8.9
	P59F	2	.550	.130	325	10,000	120	55	45	7 <sup>1</sup> / <sub>8</sub> NPTF	1.4

BP = Baja presión  
AP = Alta presión

\* La bomba incluye una válvula de dos vías.

## ANEXO F

### K1 y K2 para placas rectangulares y elípticas

R/r	1		1,5		2		2,5		3	
Caso	k	K1								
16	0,287	0,0443	0,487	0,0843	0,61	0,1106	0,713	0,1336	0,741	0,14
17	0,308	0,0138	0,454	0,024	0,497	0,0277	0,5	0,028	0,5	0,028
18	0,672	0,14	0,768	0,16	0,792	0,165	0,798	0,166	0,8	0,166
19		0,03		0,07		0,101				
20		0,0209		0,0582		0,0987		0,1276		
21		0,0216		0,027		0,0284		0,0284		0,0284
22		0,0221		0,0421		0,0553		0,0668		0,07
23		0,022		0,0436		0,0592		0,0772		0,0908
24	1,24	0,7	1,92	1,26	2,26	1,58	2,6	1,88	2,78	2,02
25	0,75	0,171	1,34	0,304	1,63	0,379	1,84	0,419	1,9	0,431

## ANEXO G

### Propiedades mecánicas de elementos roscados

Especificaciones ASTM para pernos de acero

Designación ASTM num.	Intervalo de tamaños, de prueba inclusive, pulg	Resistencia de prueba mínima,* kpsi	Resistencia mínima a la tensión,* kpsi	Resistencia mínima a la fluencia,* kpsi	Material	Marca en la cabeza
A307	$\frac{1}{4}$ - $1\frac{1}{2}$	33	60	36	Acero de bajo carbono	
A325, tipo 1	$\frac{1}{2}$ -1 $1\frac{1}{8}$ - $1\frac{1}{2}$	85 74	120 105	92 81	Acero de medio carbono, T y R	
A325, tipo 2	$\frac{1}{2}$ -1 $1\frac{1}{8}$ - $1\frac{1}{2}$	85 74	120 105	92 81	Acero martensítico de bajo carbono, T y R	
A325, tipo 3	$\frac{1}{2}$ -1 $1\frac{1}{8}$ - $1\frac{1}{2}$	85 74	120 105	92 81	Acero no temperizado, T y R	
A354, grado BC	$\frac{1}{4}$ - $2\frac{1}{2}$ $2\frac{3}{4}$ -4	105 95	125 115	109 99	Acero aleado, T y R	
A354, grado BD	$\frac{1}{4}$ -4	120	150	130	Acero aleado, T y R	
A449	$\frac{1}{4}$ -1 $1\frac{1}{8}$ - $1\frac{1}{2}$ $1\frac{3}{4}$ -3	85 74 55	120 105 90	92 81 58	Acero de medio carbono, T y R	
A490, tipo 1	$\frac{1}{2}$ - $1\frac{1}{2}$	120	150	130	Acero aleado, T y R	
A490, tipo 3	$\frac{1}{2}$ - $1\frac{1}{2}$	120	150	130	Acero no temperizado, T y R	

\*Las resistencias mínimas son las resistencias que excede 99% de los sujetadores.

## ANEXO H

### Medidas y pasos de roscas métricas

# TABLA DE PASOS PARA ROSCAS AMERICANA Y WHITWORTH

DENOMINACIÓN	DIÁMETRO EN MILÍMETROS	ROSCA AMERICANA UNIFICADA		ROSCA WHITWORTH (INGLESA)	
		PASO NORMAL	PASO FINO	PASO NORMAL	PASO FINO
		UNC HILOS X PULG.	UNF HILOS X PULG.	BSW HILOS X PULG.	BSF HILOS X PULG.
1/16"	1,589			60	
3/32"	2,381			48	
1/8"	3,175			40	
5/32"	3,969			32	
3/16"	4,763			24	32
7/32"	5,556			24	28
N°1	1,854	64	72		
N°2	2,184	56	64		
N°3	2,515	48	56		
N°4	2,845	40	48		
N°5	3,175	40	44		
N°6	3,505	32	40		
N°8	4,166	32	36		
N°10	4,826	24	32		
N°12	5,486	24	28		
1/4"	6,350	20	28	20	26
9/32"	7,140			20	26
5/16"	7,937	18	24	18	22
3/8"	9,525	16	24	16	20
7/16"	11,112	14	20	14	18
1/2"	12,700	13	20	12	16
9/16"	14,287	12	18	12	16
5/8"	15,875	11	18	11	14
11/16"	17,463			11	14
3/4"	19,050	10	16	10	12
7/8"	22,225	9	14	9	11
1"	25,400	8	12	8	10
1.1/8"	28,575	7	12	7	9
1.1/4"	31,750	7	12	7	9
1.3/8"	34,925	6	12	6	8
1.1/2"	38,100	6	12	6	8
1.5/8"	41,275			5	8
1.3/4"	44,450	5		5	7
1.7/8"	47,625			4,5	
2"	50,800	4,5		4,5	7

# **ANEXO 3**

## **FOTOGRAFÍAS DEL EQUIPO**



**FIG. A3.1 Construcción de ejes**



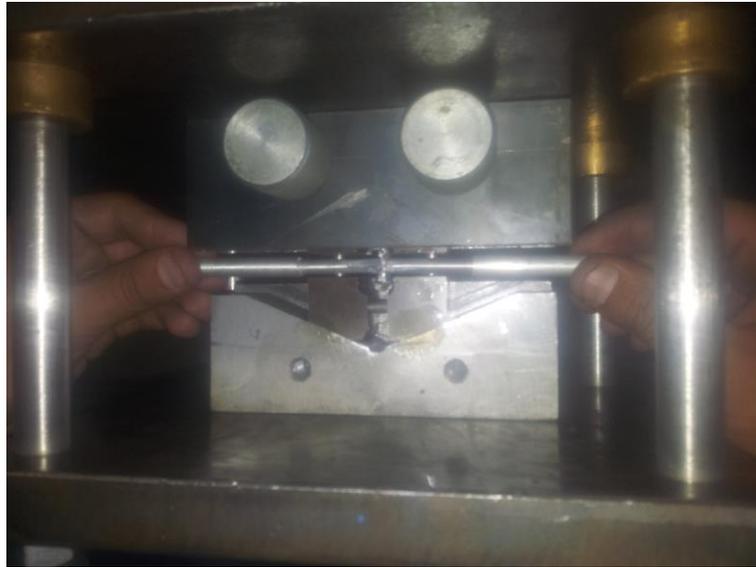
**FIG. A3.2 Construcción de placas**



**FIG. A3.3 Armado de troqueles**



**FIG. A3.4 Armado de ejes**



**FIG. A3.5 Prueba de soldadura**



**FIG. A3.6 Ensamble de piezas**



**FIG. A3.7 Mesa**



**FIG. A3.8 Probetas soldadas**



**FIG. A3.9** Ensayo de tracción



**FIG. A3.10** Rotura de la probeta



**FIG. A3.11** Ensayo de dureza



**FIG. A3.11** Medición de dureza