

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE - QUITO**

**FACULTAD DE INGENIERÍAS
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN EQUIPO PARA
SOLDADURA POR FRICCIÓN DE TORQUE CONTINUO PARA
EL LABORATORIO DE SOLDADURA DE LA CARRERA DE
INGENIERÍA MECÁNICA DE LA UPS CAMPUS KENNEDY.**

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

AUTORES

CHRISTIAN MIGUEL SANGUÑA VÁSCONEZ

JONATHAN ANDRÉS YÉPEZ HERNÁNDEZ

DIRECTOR:

ING. HOMERO YANCHAPAXI A.

QUITO, JULIO 2012

DEDICATORIA

Dedico este proyecto de Tesis a Dios por haberme brindado salud, sabiduría e inteligencia para saber afrontar los obstáculos y dificultades a lo largo de mi vida.

A mis padres y hermanos, base fundamental para prosperar a lo largo de mi carrera, por haberme brindado su apoyo desinteresado y estar presentes en los momentos en que más los necesite. En especial a mi madre Carmen del Rocío Hernández y a mi padre Carlos Antonio Yépez por todas las noches de desvelo y sacrificio entregadas para poder ver a sus hijos prosperar en la profesión escogida

JONATHAN ANDRÉS

Dedico el presente trabajo a las siguientes personas que han sido importantes en mi vida ya que me han apoyado de una u otra forma para que salga adelante

Primero a Dios y a mis padres José Sanguña y Lupe Vásconez por su apoyo incondicional en mis estudios, y por el esfuerzo que realizan día a día para darme la educación.

A mis abuelitos que ya no esta presentes pero que siempre los llevare en mi corazón.

CHRISTIAN MIGUEL

AGRADECIMIENTOS

A la Santísima Virgen María por haberme dado la fortaleza necesaria para superar todos los obstáculos que se presentaron, por haber guiado mi vida y darme la oportunidad de culminar con éxito mi carrera de Ingeniería Mecánica.

A la prestigiosa Universidad Politécnica Salesiana en especial a la Facultad de Ingenierías por haberme acogido en sus aulas y brindado todo su conocimiento.

Al Ing. Homero Yanchapaxi por haber servido de guía y orientador en la realización del presente proyecto.

A mis amigos, compañeros por los momentos vividos, por las anécdotas y experiencias adquiridas a lo largo de esta etapa.

A mis padres y demás familiares ya que me brindan su apoyo, la alegría y me dan la fortaleza necesaria para seguir adelante.

JONATHAN ANDRÉS

Agradezco de manera especial a las siguientes personas que me ayudaron a la realización de esta tesis.

A mis tíos Carlos Vásconez y en especial a mi tío Galo Vásconez que estuvo apoyándome en la construcción de la máquina.

Un agradecimiento especial a mi Director de Tesis el Ing. Homero Yanchapaxi, por guiarme en la elaboración y culminación de la tesis exitosamente.

CHRISTIAN MIGUEL

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En el laboratorio de soldadura del campus Kennedy de la Universidad Politécnica Salesiana se está implementando equipos didácticos para mejorar la enseñanza de los diferentes procesos de soldadura y el comportamiento de los materiales. El laboratorio de soldadura no cuenta actualmente con un equipo necesario para la realización de ensayos de soldadura por fricción que permita estudiar la unión de probetas de materiales como el acero, cobre y aluminio mediante la generación de calor por fricción.

Para satisfacer esta necesidad se planea la implementación de un equipo didáctico para soldadura por fricción de torque continuo.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Diseñar y construir un equipo didáctico para soldadura por fricción de torque continuo que permita la realización de prácticas en el laboratorio con probetas de hasta 15mm de diámetro de materiales como: acero, cobre y aluminio.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar la resistencia a la tracción de la zona soldada, para verificar si tiene la misma resistencia que el resto de la probeta.

- Elaborar guías de prácticas de laboratorio.

- Estudiar las variables de soldadura de materiales como el acero, cobre y aluminio.

- Elaborar planos de construcción del equipo.

JUSTIFICACIÓN

Con este equipo se podrá realizar el estudio teórico - práctico del proceso de soldadura por fricción del tipo torque continuo y permitirá elaborar soldadura de probetas de diferentes diámetros, con la posibilidad de variar la velocidad de rotación, modificar la presión de unión de los materiales, controlar el tiempo de rozamiento para la fusión de los mismos. El equipo será un instrumento para ampliar la investigación sobre los procesos de soldadura en la Universidad Politécnica Salesiana.

ALCANCE

El diseño y construcción de este equipo didáctico permitirá realizar ensayos de soldadura por fricción en probetas de hasta 15 mm de diámetro, en materiales como el acero, aluminio y el cobre. Además controlar la velocidad de rotación de la máquina y la presión de unión.

Este equipo contará con un sistema eléctrico para el control del tiempo de encogimiento axial de la probeta, un sistema hidráulico para la presión de unión y un motor de 3 HP para el giro; todo el sistema será controlado a través de un tablero eléctrico.

Las variables a determinar son:

- La velocidad de rotación.
- Presión de calentamiento y de forja.
- Tiempo de calentamiento.

Además, se realizará las guías de prácticas de laboratorio.

HIPÓTESIS GENERAL

- La zona soldada de la probeta tiene la misma resistencia a la tracción que el resto del material.
- Las guías de prácticas de laboratorio permite el estudio didáctico de este proceso de soldadura.
- Este proceso es aplicable a materiales como el acero, el cobre y el aluminio.

TEMA:

Diseño y construcción de un equipo para soldadura por fricción de torque continuo para el laboratorio de soldadura de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la UPS Campus Kennedy.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA:

En la actualidad al laboratorio de soldadura del campus Kennedy de la UPS se está implementando equipos didácticos para mejorar la enseñanza de los diferentes procesos de soldadura y el comportamiento de los materiales. El laboratorio de soldadura no cuenta con un equipo necesario para la realización de estas prácticas de soldadura por fricción que permita estudiar la unión de probetas de materiales como el cobre, el aluminio y el acero mediante la generación de calor por fricción.

JUSTIFICACIÓN:

Este equipo permite el estudio teórico - práctico del método de soldadura por fricción del tipo torque continuo y permitirá realizar soldadura de probetas de diferentes diámetros y materiales, con la posibilidad de variar la velocidad de rotación, modificar la presión de unión de los materiales, controlar el tiempo de rozamiento para fusión de los mismos. El equipo será un instrumento para ampliar la investigación sobre la soldadura en la UPS.

ALCANCE:

El diseño y construcción de este equipo didáctico permitirá realizar ensayos de soldadura por fricción en probetas de hasta 15 mm de diámetro, en materiales como aluminio, cobre y acero. Además de controlar la velocidad de rotación de la máquina y la presión de unión.

Este equipo contará con un sistema eléctrico de medición del tiempo de soldadura de la probeta, un sistema hidráulico para la presión de unión y un motor de 5 HP para el giro, todo el sistema será controlado a través de un tablero eléctrico.

Los parámetros que se van a estudiar son:

- La velocidad de rotación.
- Presión de calentamiento y de forja.

Con el estudio de estos parámetros se espera reconocer la importancia de cada uno de estos en el proceso de soldadura por fricción.

Finalmente se realizará las guías para varias prácticas.

OBJETIVO GENERAL:

Diseñar y construir un equipo para laboratorio que permita realizar prácticas de soldadura por fricción en probetas de hasta 15 mm de diámetro.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Estudiar las características generales y las aplicaciones de la soldadura por fricción y las variaciones de estos procesos.
- Diseñar y construir un equipo de soldadura por fricción que me permita la realización de prácticas en el laboratorio con probetas de hasta 15mm de diámetro de materiales como: Acero, cobre y aluminio tipo duraluminio.
- Elaboración de prácticas de laboratorio.

MARCO TEÓRICO:

SOLDADURA POR FRICCIÓN

La soldadura por fricción es un proceso comercial muy difundido y es apropiado para los métodos de producción automatizada. El proceso fue desarrollado en la ex Unión Soviética, e introducido en Estados Unidos alrededor de 1960. La soldadura por fricción, SFR* (en inglés friction welding, FRW), es un proceso en estado sólido en el cual se obtiene la coalescencia mediante una combinación de calor por fricción y presión. El calor se induce mediante el frotamiento mecánico entre las dos superficies, generalmente por la rotación de una parte con respecto a la otra, a fin de elevar la temperatura en la interface de unión hasta un rango de trabajo caliente para los metales involucrados.

Enseguida, las partes se dirigen una hacia la otra con suficiente fuerza para formar una unión metalúrgica. La secuencia se ilustra en la figura para soldar dos partes cilíndricas, una aplicación común del proceso. Como muestra la ilustración, la fuerza de compresión axial recalca las partes y se produce un reborde por el material desplazado.

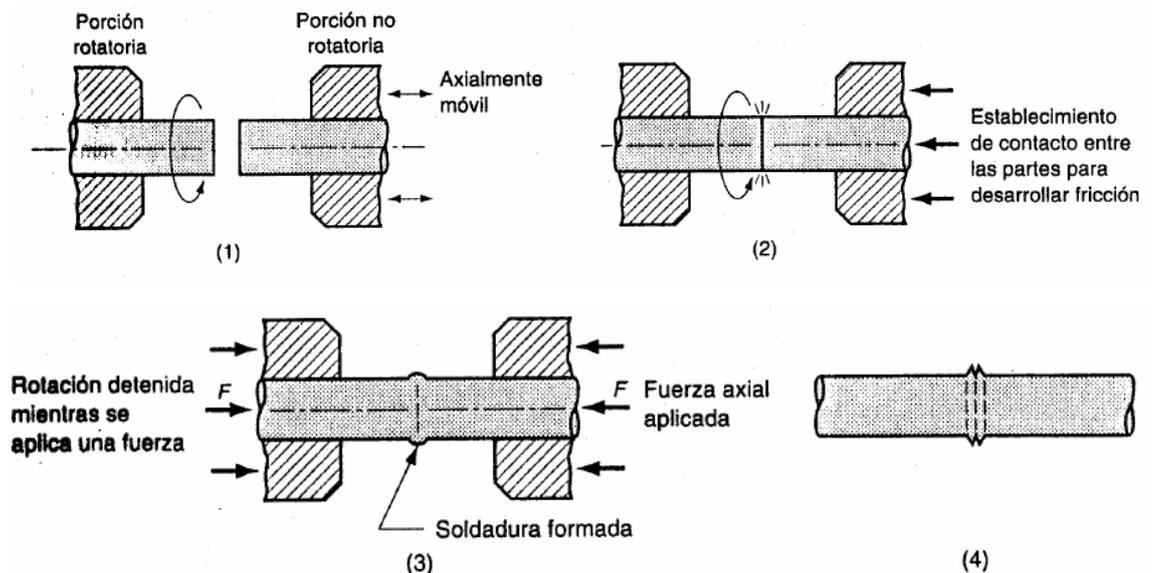


FIGURA1 Soldadura por fricción (*FRW*) parte rotatoria, sin contacto; (2) establecimiento de contacto entre las partes para generar calor por fricción; (3) rotación detenida y presión axial aplicada; y (4) soldadura realizada.

EXISTEN DOS VARIANTES DE ESTE PROCESO:

SOLDADURA ROTATIVA CONTINUA: En esta técnica, uno de los componentes rota alrededor de su eje de simetría mientras que el otro elemento avanza bajo presión axial. Este movimiento genera un calor por fricción, suficiente para que el metal alcance el estado plástico. Alcanzada esta condición, cesa el movimiento de rotación mientras que se mantiene o aumenta el esfuerzo axial, consolidando de esta forma la unión. En la figura se observa el esquema del proceso.

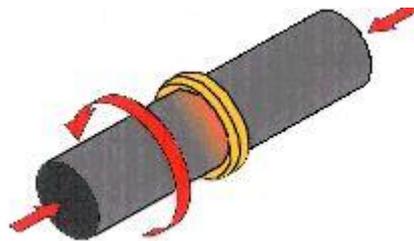


Figura: Soldadura por fricción rotativa continua.

SOLDADURA ROTATIVA INERCIAL: en esta técnica, una de las piezas se conecta a un volante de inercia al que se le imprime un movimiento de rotación mientras que la otra pieza permanece fija. Una vez alcanzada la velocidad preestablecida, cesa el movimiento del volante y es la fuerza de frenado contra el componente inmóvil lo que genera el calor necesario para realizar la unión.

Las principales diferencias entre ambos procesos son:

- En el proceso continuo, el input de energía es más o menos constante durante la etapa de fricción, pues la velocidad de rotación y la fuerza axial se mantienen constantes, mientras que en el método de inercia esta energía disminuye a medida que disminuye la velocidad de rotación del volante de inercia.

- En el proceso continuo, la energía necesaria se obtiene directamente de una fuente de energía mientras que en el proceso de inercia utiliza solamente energía almacenada.
- En la *inertia welding* la energía aportada para la soldadura se puede controlar de forma muy estrecha pues sólo depende de la velocidad de rotación inicial del volante y de su momento de inercia, mientras que en la *continuous drive welding* la energía depende del tiempo de soldadura.
- A pesar de estas diferencias, ambos procesos presentan características similares en el esfuerzo de torsión. Se observa que este esfuerzo presenta dos picos, uno al inicio del ciclo donde el contacto pasa de ser parcial a ser total y otro en el final de ciclo de soldadura, más pronunciado en la *inertia welding* en la que sirve para forjar la soldadura.

SOLDABILIDAD

La calidad de una soldadura también es dependiente de la combinación de los materiales usados para el material base y el material de relleno. No todos los metales son adecuados para la soldadura, y no todos los metales de relleno trabajan bien con materiales base aceptable.

Aceros

La soldabilidad de aceros es inversamente proporcional a una propiedad conocida como la templabilidad del acero, que mide la probabilidad de formar la martensita durante el tratamiento de soldadura o calor. La templabilidad del acero depende de su composición química, con mayores cantidades de carbono y de otros elementos de aleación resultando en mayor templabilidad y por lo tanto una soldabilidad menor. Para poder juzgar las aleaciones compuestas de muchos materiales distintos, se usa una medida conocida como el contenido equivalente de carbono para comparar las soldabilidades relativas de diferentes aleaciones comparando sus propiedades a un acero al carbono simple. El efecto sobre la soldabilidad de elementos como el cromo y el vanadio, mientras que no es tan grande como la del carbono, es por ejemplo más significativa que la del cobre y el níquel. A medida que se eleva el contenido

equivalente de carbono, la soldabilidad de la aleación decrece.³³ La desventaja de usar simple carbono y los aceros de baja aleación es su menor resistencia - hay una compensación entre la resistencia del material y la soldabilidad. Los aceros de alta resistencia y baja aleación fueron desarrollados especialmente para los usos en la soldadura durante los años 1970, y estos materiales, generalmente fáciles de soldar tienen buena resistencia, haciéndolos ideales para muchas aplicaciones de soldadura. Debido a su alto contenido de cromo, los aceros inoxidables tienden a comportarse de una manera diferente a otros aceros con respecto a la soldabilidad. Los grados austeníticos de los aceros inoxidables tienden a ser más soldables, pero son especialmente susceptibles a la distorsión debido a su alto coeficiente de expansión térmica. Algunas aleaciones de este tipo son propensas a agrietarse y también a tener una reducida resistencia a la corrosión. Si no está controlada la cantidad de ferrita en la soldadura es posible el agrietamiento caliente. Para aliviar el problema, se usa un electrodo que deposita un metal de soldadura que contiene una cantidad pequeña de ferrita. Otros tipos de aceros inoxidables, tales como los aceros inoxidables ferríticos y martensíticos, no son fácilmente soldables, y a menudo deben ser precalentados y soldados con electrodos especiales.

Aluminio

La soldabilidad de las aleaciones de aluminio varía significativamente dependiendo de la composición química de la aleación usada. Las aleaciones de aluminio son susceptibles al agrietamiento caliente, y para combatir el problema los soldadores aumentan la velocidad de la soldadura para reducir el aporte de calor. El precalentamiento reduce el gradiente de temperatura a través de la zona de soldadura y por lo tanto ayuda a reducir el agrietamiento caliente, pero puede reducir las características mecánicas del material base y no debe ser usado cuando el material base está restringido. El diseño del empalme también puede cambiarse, y puede seleccionarse una aleación de relleno más compatible para disminuir la probabilidad del agrietamiento caliente. Las aleaciones de aluminio también deben ser limpiadas antes de la soldadura, con el objeto de quitar todos los óxidos, aceites, y partículas sueltas de la superficie a ser soldada. Esto es especialmente importante debido a la susceptibilidad de una soldadura de aluminio a la porosidad debido al hidrógeno y a la escoria debido al oxígeno.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CAPITULO I	1
1. MARCO TEÓRICO.....	1
1.1. ANTECEDENTES.....	1
1.2. DEFINICIÓN.....	1
1.3. TIPOS DE SOLDADURA POR FRICCIÓN.....	1
1.3.1. SOLDADURA POR FRICCIÓN DE TORQUE CONTINUO.....	1
1.3.2. SOLDADURA DE IMPULSO INERCIAL.....	3
1.4. MOVIMIENTO RELATIVO EN LA SOLDADURA POR FRICCIÓN.....	4
1.5. ETAPAS DEL PROCESO.....	4
1.5.1. FRICCIÓN.....	4
1.5.2. FORJADO.....	5
1.6. CARACTERÍSTICAS DEL VUELCO.....	6
1.7. VARIABLES DEL PROCESO.....	6
1.7.1. VELOCIDAD.....	6
1.7.2. PRESIÓN.....	7
1.7.3. TIEMPO DE CALENTAMIENTO.....	10
1.8. CARACTERÍSTICAS ENTRE LAS VARIABLES DEL PROCESO.....	11
1.9. COMPATIBILIDAD DE MATERIALES EN LA SOLDADURA POR FRICCIÓN...	12
1.10. SOLDABILIDAD.....	12
1.10.1. PROPIEDADES DE MATERIALES.....	14
1.10.1.1. ACEROS DE BAJO CARBONO.....	14
1.10.1.2. LAS ALEACIONES DE COBRE (LATONES, BRONCES).....	15
1.10.1.3. LAS ALEACIONES DE ALUMINIO.....	15
1.11. VENTAJAS Y LIMITACIONES.....	16
1.11.1. VENTAJAS.....	16
1.11.2. LIMITACIONES.....	17
1.12. PREPARACIÓN PARA LA SOLDADURA.....	18
1.12.1. PREPARACIÓN DE LAS SUPERFICIES Y EMBONAMIENTO.....	18
1.12.2. HERRAMENTAL Y FIJACIÓN.....	18
1.12.3. DISEÑO DE LAS UNIONES.....	19
1.12.4. TRATAMIENTO TÉRMICO.....	22

1.13.	CALIDAD DE LA SOLDADURA	22
1.14.	DISCONTINUIDADES DE UNIÓN.....	23
1.15.	VIGILANCIA DEL PROCESO	24
1.16.	INSPECCIÓN Y PRUEBA.....	24
1.17.	APLICACIONES.....	24
1.18.	SEGURIDAD.....	25
CAPITULO II.....		26
2.	ESTUDIO DE ALTERNATIVAS	26
2.1.	VELOCIDAD DE SOLDADURA	26
2.2.	TIEMPO DE SOLDADURA	26
2.3.	PRESIÓN DE SOLDADURA	27
2.4.	MÁQUINAS PARA SOLDADURA POR FRICCIÓN	27
2.4.1.	MAQUINAS SOLDADORAS DE TORQUE CONTINUO	27
2.4.1.1.	VELOCIDAD DE SOLDADURA	27
2.4.1.2.	TIEMPO DE SOLDADURA	28
2.4.1.3.	PRESIÓN DE SOLDADURA.....	28
2.4.1.4.	CONSTRUCCIÓN.....	28
2.4.1.5.	OPERACIÓN.....	29
2.4.1.6.	CAPACIDAD DE SOLDADURA.....	29
2.4.1.7.	SEGURIDAD EN LA OPERACIÓN DELA MAQUINARIA.....	29
2.4.2.	MÁQUINA SOLDADORA INERCIAL.....	30
2.4.2.1.	VELOCIDAD DE SOLDADURA	30
2.4.2.2.	TIEMPO DE SOLDADURA	30
2.4.2.3.	PRESIÓN DE SOLDADURA.....	31
2.4.2.4.	CONSTRUCCIÓN.....	31
2.4.2.5.	OPERACIÓN.....	31
2.4.2.6.	CAPACIDAD DE SOLDADURA.....	32
2.4.2.7.	SEGURIDAD EN LA OPERACIÓN DELA MAQUINARIA.....	32
2.5.	PARÁMETROS DE SELECCIÓN.....	32
2.6.	FACTOR DE PONDERACIÓN	34
2.7.	CONCLUSIÓN.....	36
CAPITULO III.....		37
3.	DISEÑO.....	37
3.1.	SISTEMA MOTRIZ	38

3.1.1.	FUERZA DE CALENTAMIENTO.	38
3.1.2.	FUERZA DE CONTACTO	39
3.1.3.	POTENCIA DEL MOTOR.	39
3.1.3.1.	NUMERO DE REVOLUCIONES DEL EQUIPO DE SOLDADURA.....	40
3.2.	CALCULO PARA SELECCIÓN DE BANDAS Y POLEAS.....	40
3.2.1.	RELACIÓN DE TRANSMISIÓN:	40
3.2.2.	DISTANCIA ENTRE CENTROS.....	41
3.2.3.	LONGITUD DE LA BANDA.....	41
3.2.4.	PERÍMETRO INTERIOR DE LA BANDA.	42
3.2.5.	ANGULO DE CONTACTO DE LA BANDA.....	42
3.2.6.	NÚMERO DE BANDAS,.....	43
3.2.6.1.	POTENCIA NOMINAL	43
3.2.6.2.	POTENCIA CORREGIDA	44
3.3.	DISEÑO DEL EJE MOTRIZ.....	45
3.3.1.	FUERZA GENERADA POR LA BANDA.....	46
3.3.2.	DETERMINACIÓN DEL MOMENTO DE LA POLEA.....	47
3.3.3.	CARGAS APLICADAS EN EL EJE.....	49
3.3.4.	FUERZAS CORTANTES Y MOMENTOS FLEXIONANTES.....	50
3.3.4.1.	DIAGRAMA DE FUERZAS CORTANTES.....	53
3.3.4.2.	DIAGRAMA DE MOMENTOS FLEXIONANTES.....	53
3.3.4.2.1.	ESFUERZOS DEL DIAGRAMA DE MOMENTOS.....	54
3.3.4.3.	DIAGRAMA DEL MOMENTO DEBIDO AL TORQUE.....	55
3.3.5.	DISEÑO A FATIGA PARA EL EJE DEL MATERIAL.....	56
3.3.5.1.	LIMITE DE FATIGA A LA CORTADURA CORREGIDA	61
3.3.6.	DIÁMETRO.....	61
3.3.7.	FUERZA AXIAL MÁXIMA	62
3.4.	CHAVETAS	64
3.4.1.	Diámetro 20 mm.	64
3.4.1.1.	ESFUERZO ADMISIBLE DE FLEXIÓN.....	64
3.4.1.2.	CÁLCULO DE LA LONGITUD DE LA CHAVETA.....	65
3.4.2.	Diámetro 30 mm.	66
3.4.2.1.	ESFUERZO ADMISIBLE DE FLEXIÓN.....	66
3.4.2.2.	CÁLCULO DE LA LONGITUD DE LA CHAVETA.....	66
3.5.	RODAMIENTOS.....	67

3.5.1.	VIDA NOMINAL BÁSICA.....	70
3.6.	PLACAS SOPORTANTES.	71
3.7.	EJES GUÍAS DE LAS PLACAS.	74
3.7.1.	CÁLCULO DINÁMICO.....	75
3.7.2.	CÁLCULO DE FUERZAS CORTANTES Y MOMENTOS FLEXIONANTES DEL EJE GUÍA.	77
3.7.2.1.	DIAGRAMA DE FUERZA CORTANTE.	78
3.7.2.2.	DIAGRAMA DE MOMENTO FLECTOR.....	78
3.7.3.	CÁLCULO ESTÁTICO.....	80
3.8.	TAPAS PARA RODAMIENTOS.....	82
3.9.	PERNOS DE SUJECIÓN.	84
3.10.	FRENOS DE BANDA.	86
3.10.1.	SELECCIÓN DE LA CINTA	86
3.10.1.1.	INERCIA DEL MANDRIL.....	87
3.10.1.2.	INERCIA DE LA POLEA.	87
3.10.1.3.	INERCIA EJE	88
3.10.1.4.	VELOCIDAD ANGULAR INICIAL.....	89
3.10.1.5.	CINTA DE FRENO.	90
3.10.2.	TAMBOR.....	91
3.10.3.	COMPROBACIÓN DE LA SELECCIÓN DE LA CINTA CON TORQUE MÁXIMO GENERADO POR EL MOTOR.	91
3.11.	SISTEMA HIDRÁULICO.	92
3.12.	SELECCIÓN DEL RESORTE PARA EL RETORNO DE LA PLACA GUÍA.	92
3.12.1.	CONSTANTE DEL RESORTE	95
3.12.2.	DEFLEXIÓN DEL RESORTE	95
3.13.	SISTEMA ELÉCTRICO.	96
3.13.1.	FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA ELÉCTRICO.....	97
	CAPÍTULO IV	98
4.	ENSAYOS DE LA MÁQUINA.....	98
4.1.	VARIABLES DE SOLDADURA.....	98
4.2.	PRUEBAS DE SOLDADURA	98
4.2.1.	ENSAYO DE ACERO AISI 1018	99
4.2.2.	ENSAYO DE COBRE ELECTROLÍTICO.....	102
4.2.3.	ENSAYO DE ALUMINIO DE TIPO DURALUMINIO	104
4.3.	PROTOCOLO DE PRUEBAS.....	106

4.3.1.	APARIENCIA DE LOS ELEMENTOS DEL EQUIPO.....	107
4.3.2.	VERIFICACIÓN DE LAS DIMENSIONES DEL EQUIPO.	107
4.3.3.	VERIFICACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE LA MÁQUINA.	109
	CAPÍTULO V.....	110
5.	COSTOS.....	110
5.1.	GENERALIDADES.....	110
5.2.	MATERIA PRIMA DIRECTA.....	111
5.2.1.	COSTOS DE MATERIALES	111
5.3.	MAQUINADO.....	113
5.3.1.	COSTO DE MAQUINADO.....	113
5.4.	COSTOS INDIRECTOS DE FABRICACIÓN	117
5.4.1.	MATERIA PRIMA INDIRECTA.....	118
5.4.2.	MAQUINADO INDIRECTO.....	118
5.4.3.	COSTOS DE IMPREVISTOS	119
5.4.3.1.	TOTAL COSTOS INDIRECTOS	119
5.5.	COSTO TOTAL DE LA CONSTRUCCIÓN DE UNA MAQUINA DE SOLDADURA A FRICCIÓN.....	120
	CAPITULO VI	121
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	121
6.1.	CONCLUSIONES	121
6.2.	RECOMENDACIONES	122
	BIBLIOGRAFÍA	123
	ANEXOS	

ÍNDICE DE FIGURAS

FIG. 1.1.- PASOS BÁSICOS DE LA SOLDADURA POR FRICCIÓN DE TORQUE CONTINUO.....	2
FIG. 1.2.- PASOS BÁSICOS DE LA SOLDADURA POR FRICCIÓN IMPULSO INERCIAL.....	3
FIG. 1.3. -DISPOSICIONES TÍPICAS PARA SOLDADURA POR FRICCIÓN.	5
FIG. 1.4. -RELACIÓN ENTRE EL TIEMPO Y LA PRESIÓN DE CALENTAMIENTO PARA ACERO DULCE CON SOLDADURA POR FRICCIÓN DE IMPULSO CONTINUO.....	8
FIG. 1.5. -RELACIÓN ENTRE EL ACORTAMIENTO AXIAL Y LA PRESIÓN DE CALENTAMIENTO PARA ACERO DULCE CON SOLDADURA POR FRICCIÓN DE IMPULSO CONTINUO	9
FIG. 1.6.- CARACTERÍSTICAS DE LOS PARÁMETROS DE LA SOLDADURA POR FRICCIÓN DE TORQUE CONTINUO	11
FIG. 1.7. -CARACTERÍSTICAS DE LOS PARÁMETROS DE LA SOLDADURA POR FRICCIÓN INERCIAL	11
FIG. 1.8. – COMPATIBILIDAD DE MATERIALES SOLDABLES POR FRICCIÓN.	13
FIG. 1.9.- APLICACIONES TÍPICAS DE LA SOLDADURA POR FRICCIÓN.....	20
FIG. 1.10.- DISEÑO DE UNIÓN TÍPICA PARA SOLDADURA CÓNICA.	21
Fig. 1.10A- DISEÑO DE UNIÓN CON TRAMPA PARA VUELCO TÍPICO;.....	21
SOLDADURA DE PLACA O BARRA.	21
FIG. 1.10 B- DISEÑO DE UNIÓN CON TRAMPA PARA VUELCO TÍPICO.	21
FIG. 2.1.- DISPOSICIÓN BÁSICA DE UNA MÁQUINA DE SOLDADURA POR FRICCIÓN DE TORQUE CONTINUO.	27
FIG. 2.2.- DISPOSICIÓN BÁSICA DE UNA MAQUINA SOLDADORA INERCIAL.....	30
FIG. 3.1. DIAGRAMA DE CUERPO LIBRE DEL EJE	45
FIG. 3.2 DIAGRAMA DE CUERPO LIBRE DE TENSION DE LAS BANDAS	46
FIG. 3.3 DIAGRAMA DE CUERPO LIBRE TRAMO $0 \leq X \leq 145$	50
FIG. 3.4 DIAGRAMA DE CUERPO LIBRE TRAMO $145 \leq X \leq 275$	51
FIG. 3.5 DIAGRAMA DE CUERPO LIBRE TRAMO $275 \leq X \leq 325$	52
FIG. 3.6 DIAGRAMA DE FUERZAS CORTANTES	53
FIG. 3.7 DIAGRAMA DE MOMENTOS FLEXIONALES	53
FIG. 3.8 DIAGRAMA DEL MOMENTO TORSOR.....	55
FIG. 3.9 FUERZAS QUE ACTÚAN SOBRE EL EJE	68
FIG. 3.10 RODAMIENTO CÓNICO	71

FIG. 3.11 PLACA SOPORTANTE.....	72
FIG. 3.12 DIAGRAMA DE CUERPO LIBRE DEL EJE GUÍA.....	74
FIG. 3.13 PLACA GUÍA	75
FIG. 3.14 DIAGRAMA DE CUERPO LIBRE TRAMO $0 \leq X \leq 145$	77
FIG. 3.15 DIAGRAMA DE FUERZA CORTANTE	78
FIG. 3.16 DIAGRAMA DE MOMENTO FLECTOR	78
FIG. 3.17 TAPAS PARA RODAMIENTOS	82
FIG. 3.18 CINTA DEL FRENO	90
FIG. 3.19 ANILLO DEL RESORTE	93
FIG. 3.20 RANGO DE PREFERENCIA PARA OBTENER LAS TENSIONES DE PRECARGA.....	94
FIG. 3.11 DIAGRAMA DE FUERZA Y MANDO DEL TABLERO ELÉCTRICO	97
FIG. 4.1 PROBETA DE ACERO DE 10 mm	100
FIG. 4.2 PROBETA DE ACERO 12 mm	100
FIG. 4.3 ENSAYO DE RESISTENCIA A LA TRACCIÓN ANTES DE LA SOLDADURA DEL ACERO	101
FIG. 4.4 ENSAYO DE RESISTENCIA A LA TRACCION DESPUES DE LA SOLDADURA ACERO.....	101
FIG. 4.5 PROBETA DE COBRE DE 10 mm	103
FIG. 4.6 PROBETA DE COBRE DE 12 mm	103
FIG. 4.7. PROBETA DE ALUMINIO DE 10 mm.....	105
FIG. 4.8. PROBETA DE ALUMINIO DE 12 mm.....	105
FIG. 4. 9 ENSAYO DE RESISTENCIA A LA TRACCIÓN ANTES DE LA SOLDADURA DEL ALUMINIO.....	106
FIG. 4.10. ENSAYO DE RESISTENCIA A LA TRACCIÓN DESPUÉS DE LA SOLDADURA DEL ALUMINIO	106

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 2.1. CALIFICACIÓN DE LA MÁQUINA SOLDADORA DE TORQUE CONTINUO.....	34
TABLA 2.2. CALIFICACIÓN DE LA MÁQUINA SOLDADORA INERCIAL	35
TABLA 4.1 SOLDADURA ACERO-ACERO.....	99
TABLA 4.2. RESISTENCIA A LA TRACCIÓN ACERO-ACERO.....	99
TABLA 4.3 SOLDADURA COBRE-COBRE	102
TABLA 4.4 SOLDADURA ALUMINIO-ALUMINIO.....	104
TABLA 4.5 RESISTENCIA A LA TRACCIÓN ALUMINIO-ALUMINIO.....	104
TABLA 4.6. VERIFICACIÓN DE LA APARIENCIA DE LOS ELEMENTOS DEL EQUIPO.....	107
TABLA 4.7. VERIFICACIÓN DE LAS DIMENSIONES DE LA MÁQUINA.....	108
TABLA 4.8. VERIFICACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE LA MÁQUINA.....	109
TABLA 5.1 COSTO MATERIA PRIMA DIRECTA.....	113
TABLA 5.2. COSTO MAQUINADO.....	117
TABLA 5.3 COSTO MATERIA PRIMA INDIRECTA.....	118
TABLA 5.4 COSTO MAQUINADO INDIRECTO	118
TABLA 5.5 COSTO IMPREVISTOS	119
TABLA 5.6 TOTAL COSTOS INDIRECTOS.....	119
TABLA 5.7 COSTO TOTAL DE LA MAQUINA.....	120

SIMBOLOGÍA

A:	Área.
A_{efec}:	Área efectiva de contacto del cilindro.
b:	Ancho de la chaveta.
c:	Distancia del eje neutro hasta el punto donde se producen los máximos esfuerzos.
C:	Distancia entre centros de poleas.
Cd:	Capacidad de carga dinámica.
Cr:	Índice del resorte.
d:	Diámetro de paso de la polea menor.
dn:	diámetro nominal del perno.
D:	Diámetro de paso de la polea mayor.
De:	Diámetro del eje.
Dex:	Diámetro exterior del tambor del freno.
Din:	Diámetro interior del tambor del freno.
e:	Espesor de la placa.
F:	Fuerza axial necesaria.
f:	Coefficiente de rozamiento acero – caucho.
Fa:	Carga axial.
Fc:	Fuerza de contacto.
Fcc:	Fuerza de corte de la chaveta.
F_f:	Fuerza de forja.
Fmax:	Fuerza axial máxima.
Fr:	Carga radial.
Fs:	Factor de seguridad.
FT:	Fuerza de tensión de la banda.
Hr´:	Potencia corregida.
Hr:	Potencia nominal.
i:	Relación de transmisión.
I:	Inercia de la sección.
J:	Momento polar de inercia.
K:	Constante del resorte.
k:	Coefficiente para placas rectangulares.

K₁:	Factor de corrección para ángulos de contacto de hasta 180°.
K₂:	Factor de corrección por longitud.
K_A:	Factor de relación de velocidades.
ka:	Factor de superficie.
kb:	Factor de tamaño.
kc:	Factor de confiabilidad.
kd:	Factor de temperatura.
ke:	Factor de modificación por concentración de esfuerzos.
kf:	Factor de efectos diversos.
Kt:	Factor de concentración de esfuerzos, teórico o geométrico.
Krf:	Factor de reducción de resistencia para fatiga.
L:	Longitud.
L_{10h}:	Duración nominal en horas de servicio.
Li:	Longitud interior de la banda.
Lp:	Longitud de paso de la banda.
m:	Masa.
M:	Momento máximo.
N:	Velocidad de rotación en rpm.
n1:	Número de revoluciones del motor.
n2:	Número de revoluciones del equipo.
P :	Potencia del motor.
p:	Exponente de la formula de duración.
Pc:	Presión de calentamiento.
Pf:	Presión de forja.
Pi:	Precarga.
Po:	Carga equivalente.
q:	Sensibilidad a las ranuras o muescas.
r:	Radio.
re:	Numero de revoluciones/1000
R:	Reacciones de las fuerzas aplicadas.
R₁:	Dimensión más larga de la placa.
r₂:	Dimensión más corta de la placa.
Rd:	Tensión de diseño del resorte.
Rc:	Tensión del material del resorte.

rp:	Radio de la polea motriz.
Se:	Límite de resistencia a la fatiga del elemento mecánico.
Se':	Límite de resistencia a la fatiga de la muestra de viga rotatoria.
Sm:	Esfuerzo máximo.
Sse:	Límite de fatiga a la cortadura corregida.
Ssy:	Resistencia de fluencia al cortante.
Sut:	Resistencia última a la tracción.
Sy:	Resistencia de fluencia.
T:	Torque producida por la máquina.
t:	Tiempo.
TA, TB:	Tensiones generadas por la banda.
Tc:	Torque originado por la soldadura.
Tp:	Torque originado por el motor.
v:	Velocidad tangencial.
V:	Factor correctivo para bandas de sección trapezoidal
W_f:	La velocidad angular final.
W_i:	La velocidad angular inicial.
W_p:	Peso del mandril.
X:	Factor radial.
Y:	Factor axial.
α :	Aceleración angular.
θs:	Ángulo de contacto de la banda.
δ:	Deflexión del resorte.
σ:	Esfuerzo permisible.
σ_{adm}:	Esfuerzo admisible de flexión.
σ_f:	Esfuerzo a flexión.
σ_{max}:	Esfuerzo máximo admisible.
σ_f:	Esfuerzo a flexión.
τ_t:	Esfuerzo a torsión.
μ:	Coefficiente de rozamiento dinámico.

GLOSARIO

Agrietamiento por templado.- El agrietamiento en el temple ocurre durante o después de un enfriamiento rápido, son normalmente grietas intergranulares que van desde la superficie hasta el núcleo por lo que se procura evitar temperaturas demasiadas elevadas y excesivos tiempos de calentamiento.

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.

Carga dinámica.- Un elemento se dice que está sujeto a cargas dinámicas cuando las cargas ocasionan en una parte del elemento una aceleración, de manera que la magnitud de la misma no puede despreciarse.

Carga radial.- es aquella que se aplica directamente en el radio o la circunferencia del rodamiento, dependiendo la cantidad de carga se pueden usar rodamientos de bolas (esferas), doble hilera de bolas, o si es mucha la carga se puede usar rodamientos de rodillos cilíndricos.

Cizallamiento.- Se produce cuando se aplican fuerzas perpendiculares a la pieza, haciendo que las partículas del material tiendan a resbalar o desplazarse las unas sobre las otras, la fuerza de cizallamiento es la resistencia que presenta el material de fricción a ser separado del soporte cuando sobre él actúa una fuerza tangencial.

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

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.

Difusión térmica.- Utiliza el intercambio de calor a través de una delgada capa de líquido o gas para conseguir la separación de isótopos (átomos de un mismo elemento).

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

Encogimiento axial.- Reducción del material después de la soldadura.

Exfoliaciones.- Es la tendencia de los materiales cristalinos para dividirse a lo largo de planos estructurales cristalográficos definidos. Estos planos de debilidad relativa son el resultado de los lugares regulares de los átomos e iones en el cristal, que crean fracturas de superficies planas repetidas que son visibles tanto en el microscopio como a simple vista.

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).

Par de torsión.- Es cuando las fuerzas hacen que las piezas tiendan a retorcerse sobre su eje central.

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 recalada.

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.

SMAW.- Soldadura de arco de metal protegido es un proceso fusión ya que se funden los dos materiales a unir a través de un electrodo revestido con fundente.

Soldadura.- Es un proceso donde se realiza la unión de dos materiales, usualmente logrado a través de la coalescencia (fusión), en la cual las piezas son soldadas fundiendo ambas y pudiendo agregar un material de relleno fundido, para conseguir un baño de material fundido (el baño de soldadura) que, al enfriarse, se convierte en una unión fija.

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

Torque.- Es la fuerza que hace que un objeto puede rotar, consiste en una fuerza que actúa sobre la distancia y se mide en libras-pie (lb-ft). El torque puede existir aunque no se produce el movimiento.

Vuelco.- Acumulación del material en la pared exterior de las probetas soldadas, producido por la fundición de los materiales y a la velocidad de rotación del equipo.

RESUMEN

El proyecto contempla el Diseño y Construcción de un Equipo Didáctico para Soldadura por Fricción de Torque Continuo.

En la actualidad es necesaria la implementación de equipos que estén en la capacidad de satisfacer las necesidades investigativas de los estudiantes para que todos los conocimientos teóricos adquiridos en las aulas sean aplicados en prácticas realizadas en los Laboratorios.

El presente Proyecto se encuentra desarrollado en cinco capítulos que contienen:

CAPITULO 1.- MARCO TEÓRICO.-Resumen de conceptos y términos utilizados en los procesos de soldadura por fricción inercial y torque continuo, datos importantes como comportamiento de materiales sometidos a la soldadura, ventajas y desventajas etapas, características, variables del proceso, propiedades de materiales, seguridad, etc.

CAPITULO 2.- ESTUDIO DE ALTERNATIVAS.- En este capítulo se muestra los parámetros principales de soldadura por fricción a utilizarse, de los diferentes equipos con la finalidad de elegir el más adecuado para el diseño y construcción, en este caso, un Equipo Didáctico para Soldadura por Fricción de Torque Continuo, proporcionando un fácil entendimiento del procesos a los estudiantes.

CAPITULO 3.- DISEÑO DE LA MÁQUINA.-Este capítulo contiene los diseños de elementos mecánicos que conforman el equipo. Para lo cual se contempla presiones, velocidades y tiempos requeridos para probetas de hasta 15mm determinando las fórmulas y condiciones adecuadas para el diseño de la máquina basándose en criterios de los diferentes autores.

CAPITULO 4.- ENSAYOS.- En este capítulo se determina se realiza varios ensayos para conocer el funcionamiento del equipo y verificar si satisface las necesidades del constructor.

CAPITULO 5.- COSTOS.- En este capitulo se determina cual es el costo real al que asciende la máquina, estableciendo el Costo Total, así como Costos de Materias Primas, Costo del Maquinado y Costos Indirectos utilizados en el proceso.

CAPITULO 6.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.- En esta parte se determina cuáles fueron las conclusiones a las que se llegó después de haber construido el equipo tomando en cuenta todas las observaciones encontradas en el proceso y al final se incluyen varias recomendaciones pertinentes para el uso del mismo.

CAPITULO I

1. MARCO TEÓRICO

1.1. ANTECEDENTES

La soldadura por fricción fue usada para unir materiales termoplásticos. En 1945, Klopstock hizo intentos para soldar metales por fricción. Sin embargo se debe atribuir a los rusos Chudikov y Vill el desarrollo, en 1956, de un método práctico para la soldadura de metales por fricción.

Se ha desarrollado dos variantes del proceso que actualmente son conocidas como soldadura por fricción de torque continuo y soldadura por fricción inercial. La soldadura por fricción de torque continuo fue el método original de Chudikov y Vill. Mientras que la soldadura por fricción inercial se desarrolló en USA en los últimos años de la década de 1950 y primeros de la década de 1960

1.2. DEFINICIÓN

La soldadura por fricción es un proceso de estado sólido que produce una unión soldada bajo la fuerza compresiva de contacto de dos piezas de trabajo que giran o se mueven una respecto a la otra produciendo calor por fricción y desplazando plásticamente material de las superficies de empalme produciendo una película fundida en la cara interna, aprovechando el calor generado por fricción mecánica entre las piezas en movimiento. Con este método no se requiere metal de aporte, fundente ni gas protector.

1.3. TIPOS DE SOLDADURA POR FRICCIÓN

1.3.1. SOLDADURA POR FRICCIÓN DE TORQUE CONTINUO.

En el esquema de soldadura por fricción de torque continuo mostrada en la figura 1.1, una de las piezas de trabajo está conectada a un motor, en tanto que la otra está

restringida de modo que no pueda girar, como se indica en la figura 1.1. (A). La pieza de trabajo impulsada por el motor gira a una velocidad constante previamente determinada. Las piezas que se van a soldar se juntan y se aplica una fuerza axial de soldadura, como en la figura 1.1. (B). Al frotarse una superficie de empalme contra la otra (cara interna de soldadura), se produce calor. Esto continúa durante un tiempo predeterminado o hasta que comienza a formarse el vuelco, como en la figura 1.1(C). Se deja de aplicar la fuerza impulsora rotacional y la pieza de trabajo giratoria se detiene por la aplicación de una fuerza de frenado. La fuerza de soldadura por fricción se mantiene o incrementa (fuerza de forjado) durante un cierto tiempo después de que cesa la rotación, como en la figura 1.1. (D).

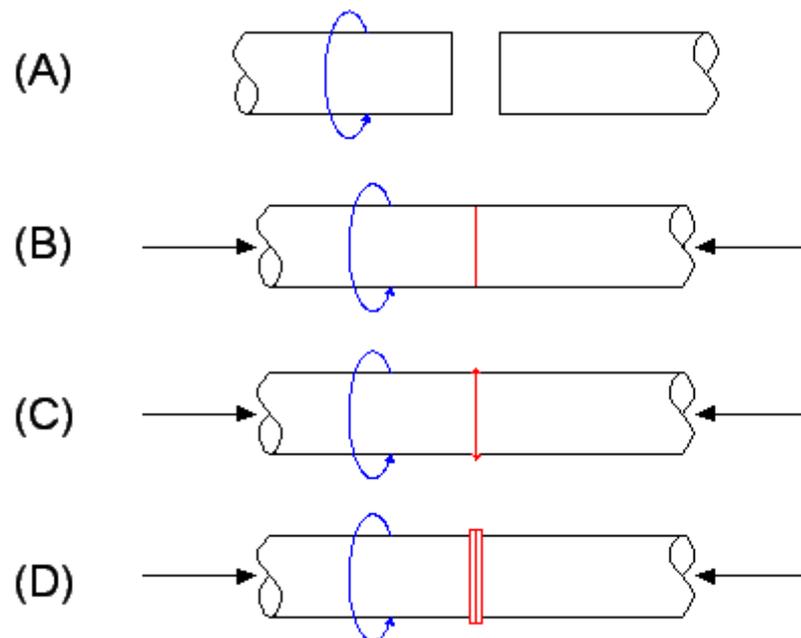
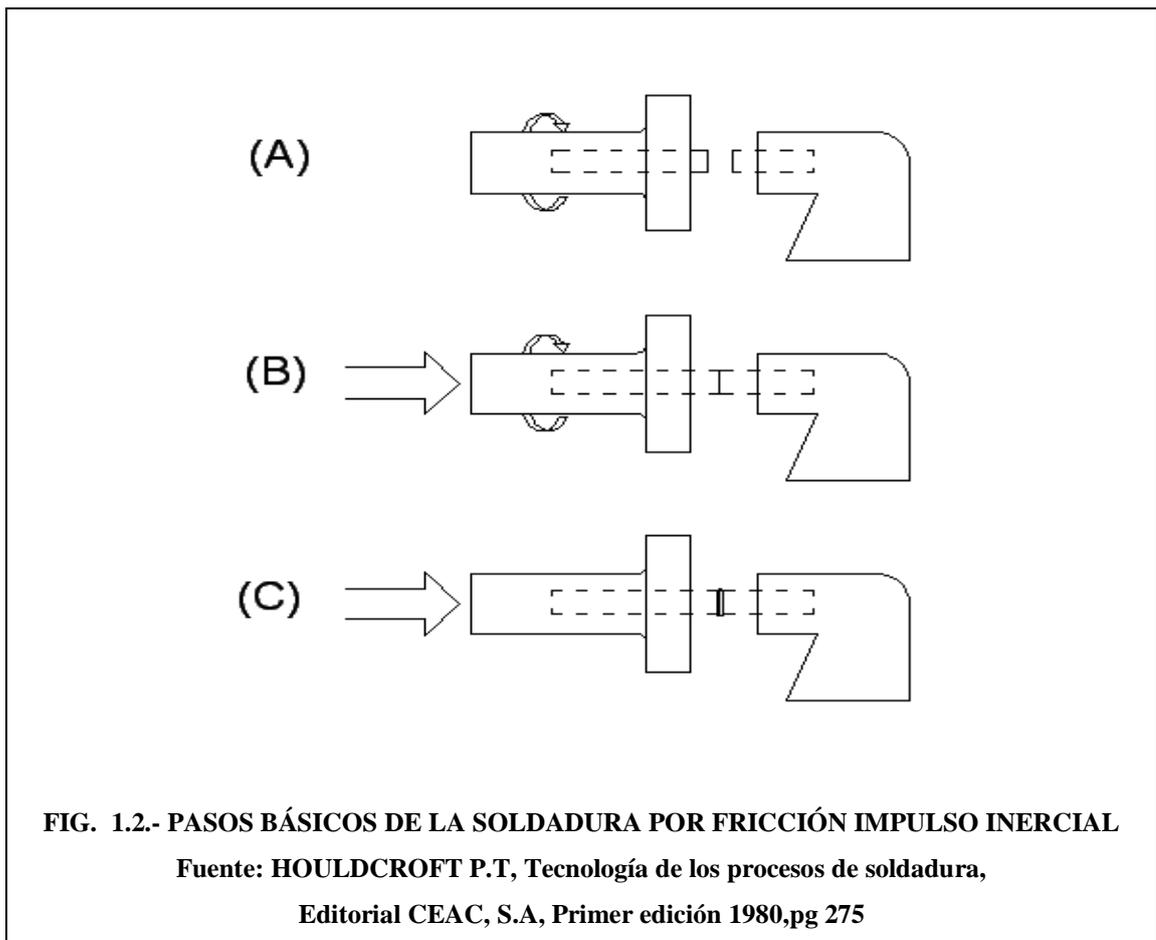


FIG. 1.1.- PASOS BÁSICOS DE LA SOLDADURA POR FRICCIÓN DE TORQUE CONTINUO

Fuente: AMERICAN WEILDING SOCIETY, *Manual de soldadura, t.3 8va Edición p.740*

1.3.2. SOLDADURA DE IMPULSO INERCIAL

En el esquema de soldadura por fricción inercial mostrada en la figura 1.2, una de las piezas de trabajo está conectada a un volante y la otra está restringida de modo que no puede girar; el volante empieza a acelerar hasta una velocidad rotacional predeterminada, almacenando la energía requerida, como en la figura 1.2 (A). Una vez almacenada la energía del volante el motor impulsor se desconecta y las piezas de trabajo se juntan por la aplicación de una fuerza esto hace que las superficies de empalme se froten bajo presión, como en la figura 1.2 (B). La energía cinética almacenada en el volante giratorio se disipa como calor, por la fricción en la cara interna de soldadura, al tiempo que la velocidad del volante decrece. Se puede aplicar una fuerza de forjado mayor manteniendo durante un tiempo previamente determinado después de que las piezas dejan de girar, como en la figura 1.2 (C).



1.4. MOVIMIENTO RELATIVO EN LA SOLDADURA POR FRICCIÓN

En las soldaduras por fricción una de las dos piezas de trabajo gira alrededor de un eje de simetría con las superficies de empalme perpendiculares a ese eje.

En las figuras 1.3 (A) a (E) se muestran disposiciones típicas para operaciones de una o varias soldaduras.

La figura 1.3 (A) ilustra la forma convencional de uso más común, en la que una pieza de trabajo gira mientras la otra permanece estacionaria. La figura 1.3 (B) muestra que ambas piezas de trabajo giran, pero en sentidos opuestos, este procedimiento es apropiado para producir soldaduras que requieren velocidades relativas muy altas. En la figura 1.3 (C) se muestra que las dos piezas de trabajo estacionarias se empujan contra una pieza giratoria colocada entre ellas. Esto se realiza cuando las dos piezas de los extremos son largas o tienen una forma difícil de manipular ya que la rotación puede ser difícil empleando los movimientos antes descritos. Una situación similar, que aparece en la figura 1.3 (D), implica dos piezas giratorias que se empujan contra una pieza estacionaria que está en medio. Se puede aplicar el mismo principio cuando se desean hacer dos soldaduras espalda con espalda al mismo tiempo con un eje giratorio en el centro, como se muestra en la figura 1.3 (E), a fin de elevar la productividad.

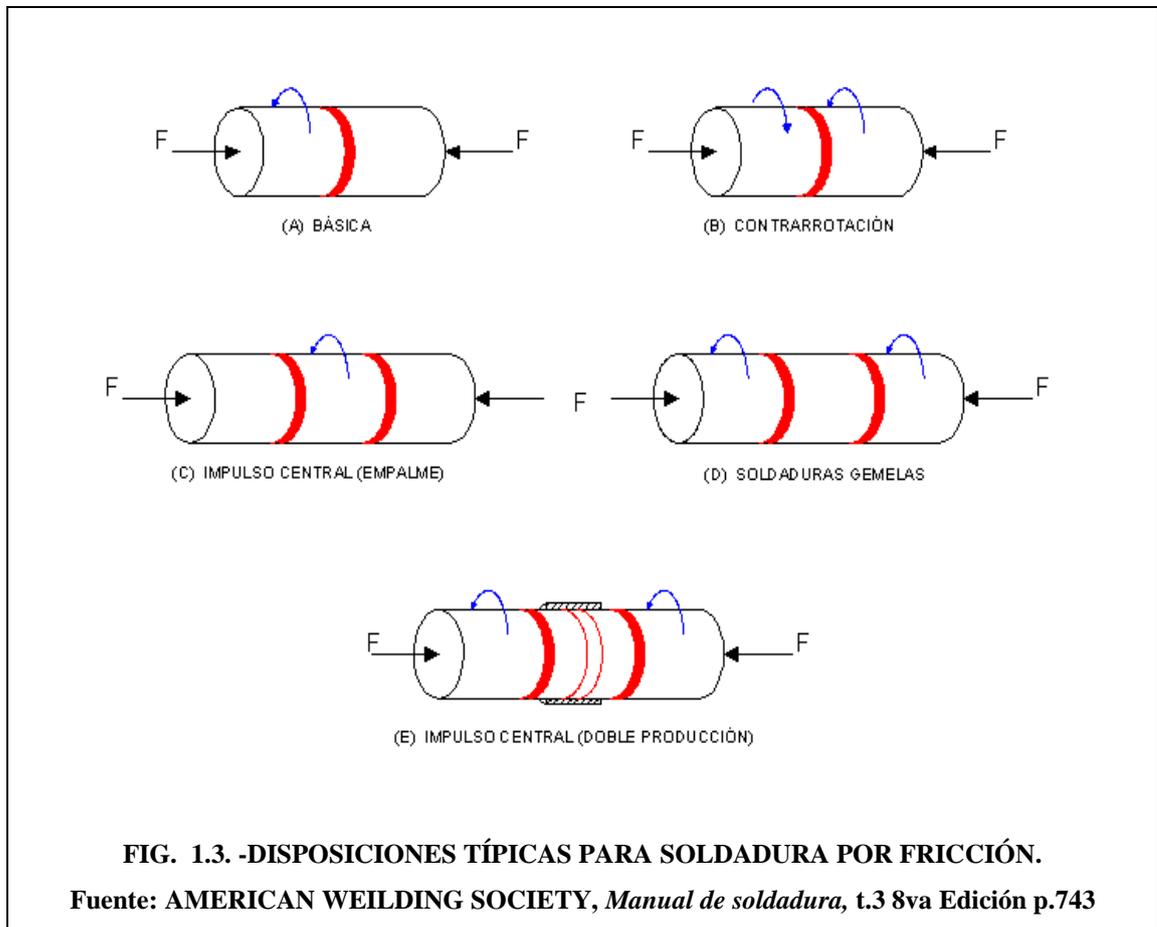
1.5. ETAPAS DEL PROCESO

El ciclo de soldadura por fricción puede dividirse en dos etapas: la etapa de fricción o frotamiento y la etapa de vuelco o forjado. El calor de soldadura se genera durante la primera etapa, y la soldadura se consolida y enfría durante la segunda.

1.5.1. FRICCIÓN

Inicialmente las piezas frías están sometidas a rozamiento en seco produciendo frotamiento entre las superficies de empalme, y hay una fuerte adhesión en diversos puntos de contacto como el resultado de los agarres localizados sobre la superficie. En

algunos puntos, la adhesión es más fuerte que el metal circundante, hay cizallamiento y se transfiere metal de una superficie a la otra.



Al continuar la frotación, aumentan tanto el par de torsión como la temperatura de la interfaz. El tamaño de los fragmentos transferidos crece hasta que éstos se convierten en una capa continua de metal plastificado. Si se forma una película líquida, sucede en este punto. Durante este periodo, el par de torsión llega a un máximo y comienza a declinar hasta un valor mínimo, que permanece más o menos constante mientras el metal se calienta y es expulsado de la cara interna al tiempo que continúa el acortamiento axial.

1.5.2. FORJADO

En el final del proceso de calentamiento, se aplica una presión de forjado a la pieza de trabajo para que experimente un acortamiento axial. Esto produce el material de vuelco que se observa en la figura 1.1 (D). Si se comparan las curvas de las figuras 1.6

y 1.7, puede verse que la parte final de los procesos de soldadura por fricción de impulso directo e inercial es muy similar con respecto al acortamiento axial (vuelco), la velocidad y la presión. Al disminuir la velocidad, se observa un segundo máximo del par de torsión cuando la cara interna se une y se enfría desde su temperatura máxima. A continuación, el par de torsión disminuye y la velocidad rotacional disminuye hasta cero.

1.6. CARACTERÍSTICAS DEL VUELCO.

La relación de vuelco durante el período de equilibrio de par es un parámetro útil por el cual caracterizar las condiciones de soldadura. Para un determinado material soldado con bajas presiones y altas velocidades, la relación de vuelco es pequeña.

Inversamente cuando las presiones son altas y las velocidades bajas, la relación de vuelco es alta. Con una relación de vuelco baja el ancho la zona afectada pero el calor aumenta con la extensión del recalcado, pero cuando las relaciones de vuelco son altas la anchura de la zona afectada por el calor es menos influida por la duración de la etapa de calentamiento. Un calentamiento excesivo cuando se sueldan aceros puede producir estructuras de grano grueso de propiedades mecánicas inferiores.

1.7. VARIABLES DEL PROCESO.

1.7.1. VELOCIDAD

La función de la rotación es producir una velocidad relativa en las superficies de empalme. Desde el punto de vista de la calidad de la soldadura, la velocidad casi nunca es una variable crítica; esto es, puede variar dentro de una banda de tolerancia bastante ancha y aun así producir soldaduras firmes.

“Para el acero, la velocidad tangencial deberá ser del orden de 1.3 m/s tanto para piezas de trabajo sólidas como tubulares. Las velocidades tangenciales por debajo de 1.3 m/s producen pares de torsión muy altos que causan problemas de sujeción del trabajo, vuelco no uniforme y desgarramiento metálico.

Las máquinas de producción normalmente se diseñan para trabajar a velocidades de 300 a 650 rpm. Por ejemplo, se puede usar una velocidad de eje de 600 rpm para soldar productos de acero de 50 a 100 mm de diámetro (1.6 a 3.2 m/s). Las velocidades angulares elevadas, y los aportes de calor más bajos que implican (véase la figura 1.4.), pueden servir para soldar aceros endurecibles.”¹

El tiempo de calentamiento más largo precalienta el metal y así controla la rapidez de enfriamiento y evita el agrietamiento por templado. Por otro lado, en el caso de ciertas combinaciones de metales disímiles las velocidades bajas (con sus tiempos de calentamiento más cortos) pueden minimizar la formación de compuestos intermetálicos quebradizos. No obstante, en la práctica el tiempo de calentamiento (para un determinado vuelco) se controla variando la presión de la soldadura por fricción como se muestra en la figura 1.4.

1.7.2. PRESIÓN.

En las figuras 1.4. y 1.5. se indican los intervalos de presión para el calentamiento y el forjado, aunque las presiones seleccionadas deberán ser reproducibles para cualquier operación específica. La presión controla el gradiente de temperatura en la zona de soldadura, la potencia de impulso requerida y el acortamiento axial. La presión específica depende de los metales que se van a unir y de la geometría de la unión. Se puede usar la presión para compensar la pérdida de calor a una masa grande, como cuando se suelda un tubo a una placa.

¹AMERICAN WEILDING SOCIETY, Manual de soldadura, t.3 8va Edición p.746

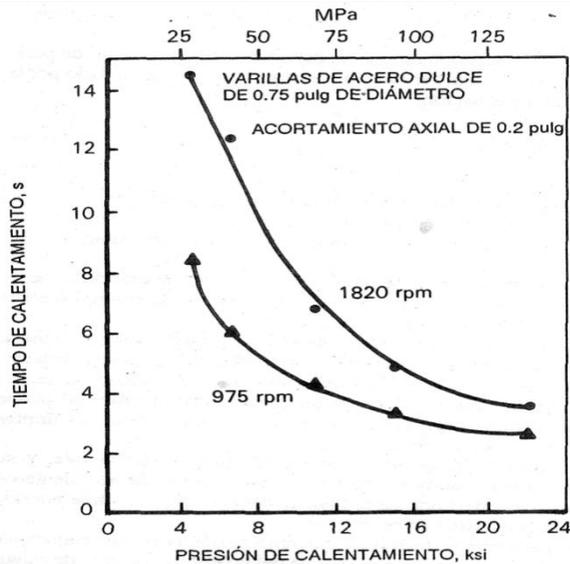


FIG. 1.4. -RELACIÓN ENTRE EL TIEMPO Y LA PRESIÓN DE CALENTAMIENTO PARA ACERO DULCE CON SOLDADURA POR FRICCIÓN DE IMPULSO CONTINUÓ.

Fuente: AMERICAN WEILDING SOCIETY, *Manual de soldadura*, Editor R.LO Brient.3 8va Edición p.746

La presión de calentamiento debe ser suficiente para mantener las superficies de empalme en contacto íntimo y evitar la oxidación. Para una velocidad de eje determinada, una baja presión limita el calentamiento con poco o ningún acortamiento axial. Una presión elevada causa calentamiento local hasta una temperatura muy alta y un acortamiento axial rápido.

En el caso del acero bajo de carbono, la tasa de acortamiento axial es aproximadamente proporcional a la presión de calentamiento, como se ilustra en la figura 1.5., la cual también muestra que para una presión dada durante la fase de calentamiento, el acortamiento axial es mayor a baja velocidad que a alta velocidad.

En muchos metales, incluidos los aceros, la calidad de la unión mejora cuando se aplica una mayor fuerza de forjado al final del período de calentamiento.

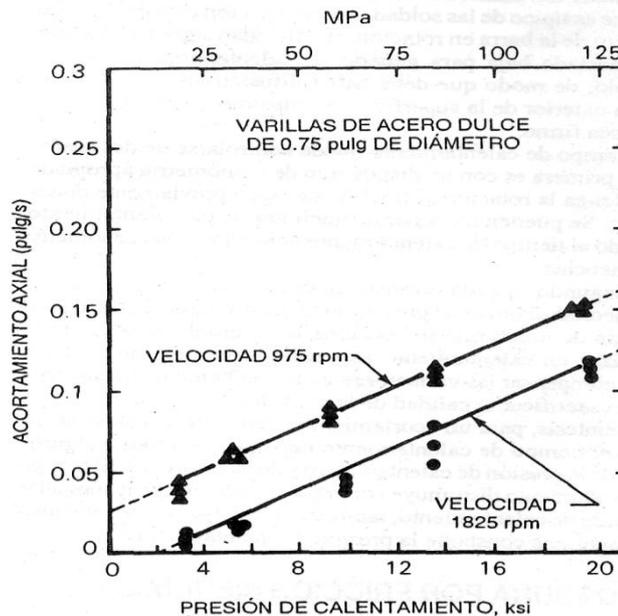


FIG. 1.5. -RELACIÓN ENTRE EL ACORTAMIENTO AXIAL Y LA PRESIÓN DE CALENTAMIENTO PARA ACERO DULCE CON SOLDADURA POR FRICCIÓN DE IMPULSO CONTINUO

Fuente: AMERICAN WEILDING SOCIETY, *Manual de soldadura*, Editor R.LO Brien t.3 8va Edición p.746

“Para los aceros, el intervalo de presiones que puede aplicarse obteniendo buenas soldaduras es bastante amplio. En el caso del acero dulce, son aceptables presiones de calentamiento de 4500 a 8700 psi (31 a 60 MPa) y presiones de forjado de 11 000 a 22 000 psi (76 a 152 MPa). Los valores de uso más común son de 8000 y 20 000 psi (55 y 138 MPa), respectivamente. Las aleaciones, de alta resistencia mecánica en caliente, como los aceros inoxidable y las aleaciones con base de níquel, requieren presiones de forjado más altas.

Si se desea un efecto de "precalentamiento" para hacer menos rápido el enfriamiento, puede aplicarse una presión de cerca de 3000 psi (21 MPa) durante un tiempo breve al principio del ciclo de soldadura; luego se aumentará la presión hasta la requerida para soldar.²

²AMERICAN WEILDING SOCIETY, Op. Cit. p.747

1.7.3. TIEMPO DE CALENTAMIENTO

Para una aplicación en particular, el tiempo de calentamiento se determina durante la preparación o con base en la experiencia previa. Un tiempo de calentamiento excesivo limita la productividad y desperdicia material; un tiempo insuficiente puede producir calentamiento desparejo así como el atrapamiento de óxidos y áreas no adheridas en la interfaz.

El calentamiento no uniforme es típico de las soldaduras por fricción en barras. Cerca del centro de la barra en rotación, la velocidad superficial puede ser demasiado baja para generar un calentamiento friccional adecuado, de modo que debe haber difusión térmica desde la porción exterior de la superficie de empalme para que la unión global sea firme.

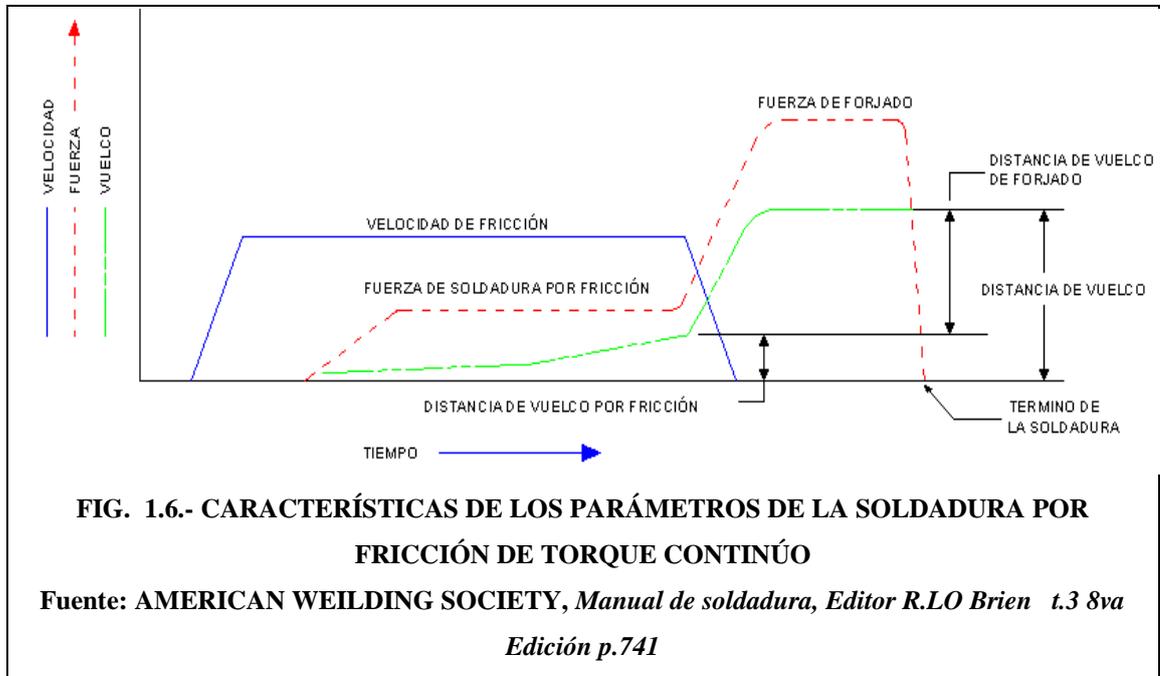
El tiempo de calentamiento puede controlarse de dos maneras. La primera es con un dispositivo de cronometría apropiado que detenga la rotación al final de un lapso previamente determinado. Se pueden incorporar funciones de precalentamiento y forjado al tiempo de calentamiento empleando un cronómetro de secuencias.

El segundo método consiste en detener la rotación después de un acortamiento axial previamente determinado. Este método se ajusta de modo que se consuma la longitud suficiente para garantizar un calentamiento adecuado antes del vuelco. Esto puede compensar las variaciones en la condición de las superficies sin sacrificar la calidad de la soldadura.

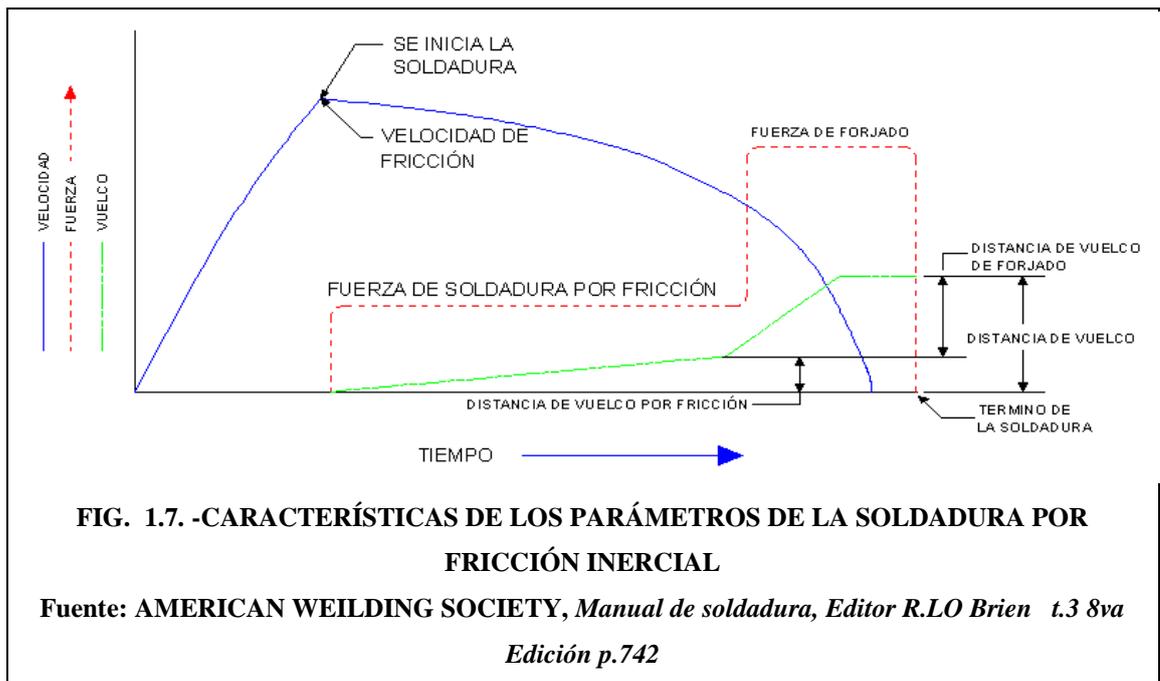
En síntesis, para un acortamiento axial dado al soldar acero dulce, el tiempo de calentamiento dependerá en forma significativa de la presión de calentamiento y de la velocidad. El tiempo de calentamiento disminuye con rapidez decreciente al aumentar la presión de calentamiento; también disminuye con la velocidad si se mantiene constante la presión de calentamiento.

1.8. CARACTERÍSTICAS ENTRE LAS VARIABLES DEL PROCESO

En el siguiente esquema de la figura 1.6 se muestra las relaciones entre las características de las variables del proceso de la soldadura por fricción de torque continuo.



Las relaciones entre las características de los parámetros de la soldadura por fricción inercial aparecen en la figura 1.7.



1.9. COMPATIBILIDAD DE MATERIALES EN LA SOLDADURA POR FRICCIÓN.

La soldadura por fricción puede servir para unir una amplia gama de materiales similares y disímiles, incluidos metales, algunos materiales compuestos de matriz metálica, cerámicas y plásticos. En la figura 1.8 se indican algunas combinaciones de materiales que se han unido, según la literatura y los datos de los fabricantes de los equipos.

Esta figura debe tomarse sólo como guía. La soldabilidad específica puede depender de varios factores, entre ellos la composición de las aleaciones específicas, la variación del proceso que se aplique, el diseño de los componentes y los requisitos de servicio.

1.10. SOLDABILIDAD

La soldabilidad se define como la capacidad de un metal a ser soldado, bajo las condiciones impuestas por el diseño y la fabricación de la estructura, para que desempeñe satisfactoriamente el servicio para el cual ha sido proyectado.

En principio, casi cualquier material que se pueda forjar en caliente y no sea apropiado para aplicaciones de lubricación seca se puede soldar por fricción. Algunos metales pueden requerir un tratamiento térmico después de la soldadura para eliminar los efectos de la deformación severa o el endurecimiento por templeado de la zona de soldadura. Las aleaciones del tipo de maquinado libre se deben soldar con cautela porque la redistribución de inclusiones puede crear planos de debilidad en la zona de soldadura. Estas uniones tienen resistencia mecánica baja, menor ductilidad y menor tenacidad.

Las estructuras metalúrgicas producidas en la soldadura por fricción generalmente son las que resultan de la deformación a altas temperaturas. El tiempo a esas temperaturas es corto, y los niveles que se alcanzan generalmente están por debajo del punto de fusión.

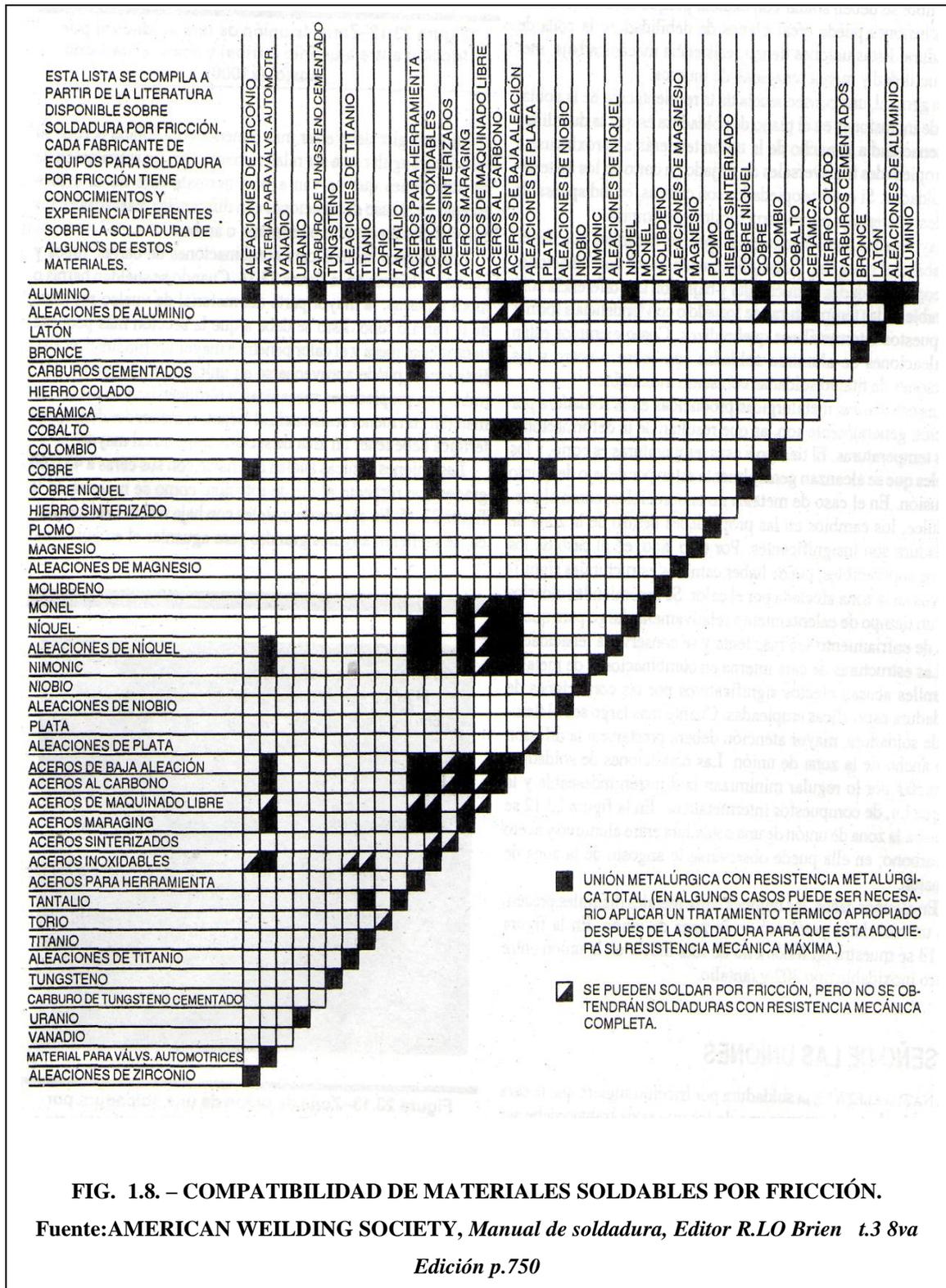


FIG. 1.8. – COMPATIBILIDAD DE MATERIALES SOLDABLES POR FRICCIÓN.

Fuente: AMERICAN WELDING SOCIETY, Manual de soldadura, Editor R.LO Brien t.3 8va

Edición p.750

“En el caso de metales no endurecibles, como el acero dulce, los cambios en las propiedades dentro de la zona de soldadura son insignificantes. Por otro lado, en el caso de los aceros endurecibles, puede haber cambios estructurales significativos en la zona afectada por el calor. Se recomienda soldarlos con un tiempo de calentamiento relativamente largo para que la tasa de enfriamiento sea más lenta y se conserve la tenacidad.”³

A continuación se detalla algunas de las propiedades de los materiales a ser utilizados en las prácticas posteriores como son el acero, el cobre y el aluminio.

1.10.1. PROPIEDADES DE MATERIALES

1.10.1.1. ACEROS DE BAJO CARBONO.

Tienen relativamente alta resistencia eléctrica y baja resistencia mecánica, por lo que se les puede soldar en una amplia gama de procesos.

Estos aceros contienen un porcentaje de 0.25% de carbono, se sueldan bien mediante todos los tipos de soldadura de contacto. Este grupo de metales se caracteriza por su pequeña rebaja de resistencia mecánica debido al calentamiento generado por la soldadura, buena ductilidad de las juntas soldadas y pequeña propensión a la formación de las grietas.

En las soldaduras de contacto están propensos al templado a causa de las velocidades relativamente altas de calentamiento y enfriamiento que se utilizan en esta operación. Las estructuras de templado elevan la fragilidad y reducen la ductilidad de las uniones.

Los aceros de bajo contenido de carbono tienen buena soldabilidad en el proceso de soldadura por fricción, gracias al elevado contenido de carbono se reduce la oxidación del metal y se facilita la obtención de uniones exentas de óxidos. La ductilidad de las uniones se eleva por medio de un calentamiento térmico, en relación con gran resistencia mecánica del metal en presencia de altas temperaturas, así como para evitar

³AMERICAN WEILDING SOCIETY, Op. Cit. p.751

defectos de contracción en la zona de unión se aplican elevadas presiones de recalado.

1.10.1.2. LAS ALEACIONES DE COBRE (LATONES, BRONCES).

Poseen altas conductibilidades eléctrica y térmica, por baja resistencia mecánica durante el calentamiento, por lo que se usan grandes corrientes de corta duración de circulación para soldar estas aleaciones. En la soldadura por puntos y de costura del latón, la intensidad de la corriente es de 2 a 2,5 veces mayor que al realizar la soldadura del acero pobre en carbono en presencia de presiones prácticamente iguales. En la soldadura del bronce las corrientes de soldadura son algo menores puesto que este tiene resistencia eléctrica más alta. Tanto el latón, como el bronce se sueldan bien por medio de la soldadura a tope por fusión. La soldadura del cobre puro representa ciertas dificultades y depende del grado de su pureza.

El aumento de impurezas en el cobre conduce al crecimiento de la fragilidad de la junta soldada.

1.10.1.3. LAS ALEACIONES DE ALUMINIO

Poseen electroconductibilidad muy alta. En la soldadura por puntos y de costura de estas aleaciones se usan impulsos eléctricos de corta duración y de una magnitud muy grande (de 3 a 3,5 veces mayor que para soldar el acero pobre en carbono). Al realizar la soldadura de las aleaciones de aluminio y de magnesio dúctiles (no endurecidas) las presiones prácticamente son las mismas que en la soldadura de acero pobre en carbono. Las aleaciones de aluminio de gran resistencia mecánica en la soldadura por puntos son propicias a la formación de defectos a causa de contracción (poros, cavidades, grietas), por lo que éstas se sueldan con el empleo del esfuerzo forjador que se aplica en el proceso de cristalización del metal fundido de núcleo.

El considerable ensuciamiento de las superficies de puntos y costuras reduce la resistencia del metal contra la corrosión.

“La soldadura a tope de las aleaciones de aluminio se realiza empleando grandes velocidades y presiones de recalcado (mayores que 150 mm/s y 50 kg/mm^s, respectivamente), se emplea para unir alambre y varillas de 3 a 10 mm de diámetro.”⁴

Con el fin de evitar las exfoliaciones y sectores incoherentes en la unión y, por consiguiente, para elevar la calidad de las juntas soldadas se emplean unas mordazas especiales que sirven para formar la costura.

1.11. VENTAJAS Y LIMITACIONES

La soldadura por fricción, como cualquier proceso de soldadura, tiene ventajas y desventajas específicas.

1.11.1. VENTAJAS

Éstas son algunas de las ventajas de la soldadura por fricción:

- No se requiere metal de aporte.
- No hace falta fundente ni gas protector.
- El proceso es limpio desde el punto de vista ambiental; no hay arcos, chispas, humos vapores generados cuando las piezas están limpias.
- La limpieza superficial no es tan crítica, en comparación con otros procesos de Soldadura, ya que la soldadura por fricción tiende a romper y desplazar las películas superficiales.
- Las zonas térmicamente afectadas son angostas.

⁴AMERICAN WEILDING SOCIETY, Op. Cit. p.759

- La soldadura por fricción es apropiada para soldar la mayor parte de los materiales de ingeniería y se presta para la unión de muchas combinaciones de metales disímiles.
- En la mayor parte de los casos, la resistencia mecánica de la soldadura es equivalente o superior a la del más débil de los dos materiales que se unen.
- No es necesario que los operadores tengan habilidades de soldadura manual.
- El proceso es fácil de automatizar para la producción en masa.
- Las soldaduras se efectúan con rapidez en comparación con otros procesos de soldadura.

1.11.2. LIMITACIONES

Éstas son algunas de las limitaciones del proceso:

- En general, una de las piezas de trabajo debe tener un eje de simetría y poder girar alrededor de ese eje.
- La preparación y alineación de las piezas de trabajo puede ser crucial para que el frotamiento y el calentamiento sean uniformes, sobre todo cuando los diámetros exceden los 50 mm (2 pulg).
- Los costos de capital por equipo y herramental son elevados.
- No es posible soldar materiales de lubricación seca ni no forjables.
- Si las dos piezas tienen más de 1 m (3 pies) de longitud, se requieren máquinas especiales.
- Las aleaciones de maquinado libre son difíciles de soldar.

1.12. PREPARACIÓN PARA LA SOLDADURA

1.12.1. PREPARACIÓN DE LAS SUPERFICIES Y EMBONAMIENTO

La calidad y la consistencia de las soldaduras serán óptimas si las superficies están libres de suciedad, óxidos o incrustaciones, grasa, aceite y otros materiales ajenos, además las superficies de empalme deben embonar con un mínimo de separación.

En las aplicaciones no críticas puede tolerarse un cierto grado de contaminación y falta de uniformidad en el contacto entre las superficies de empalme. Se pueden usar superficies cortadas con cizalla, flama o sierra si el acortamiento axial es apropiado y siempre que las superficies sean prácticamente perpendiculares al eje de rotación. Si no es así, podría haber desalineación de la unión. Lo mejor es que la perpendicularidad en la práctica esté cuando más a 0.01 mm/mm (0.010 pulg/pulg) del diámetro de la unión.

Las capas gruesas de incrustaciones deben eliminarse de las piezas de trabajo de acero antes de soldarlas, a fin de evitar un calentamiento inestable. Una capa delgada de óxido probablemente no sea perjudicial si el acortamiento axial es suficiente.

Las proyecciones centrales dejadas por herramientas de corte no son perjudiciales, pero los agujeros piloto o las superficies cóncavas deben evitarse porque pueden atrapar aire o impurezas en la zona de unión.

1.12.2. HERRAMENTAL Y FIJACIÓN

Los dispositivos de sujeción empleados para sostener las piezas de trabajo deben ser confiables debido a que el deslizamiento de una pieza de trabajo relativo al mandril producirá una soldadura deficiente, un daño al dispositivo de sujeción o a la pieza de trabajo.

El mecanismo de sujeción (mandriles) debe ser rígidos y resistir el empuje aplicado. El diámetro de sujeción debe ser por lo menos tan grande como el diámetro de la interfaz de soldadura, pues de lo contrario la pieza de trabajo puede sufrir cizallamiento en el

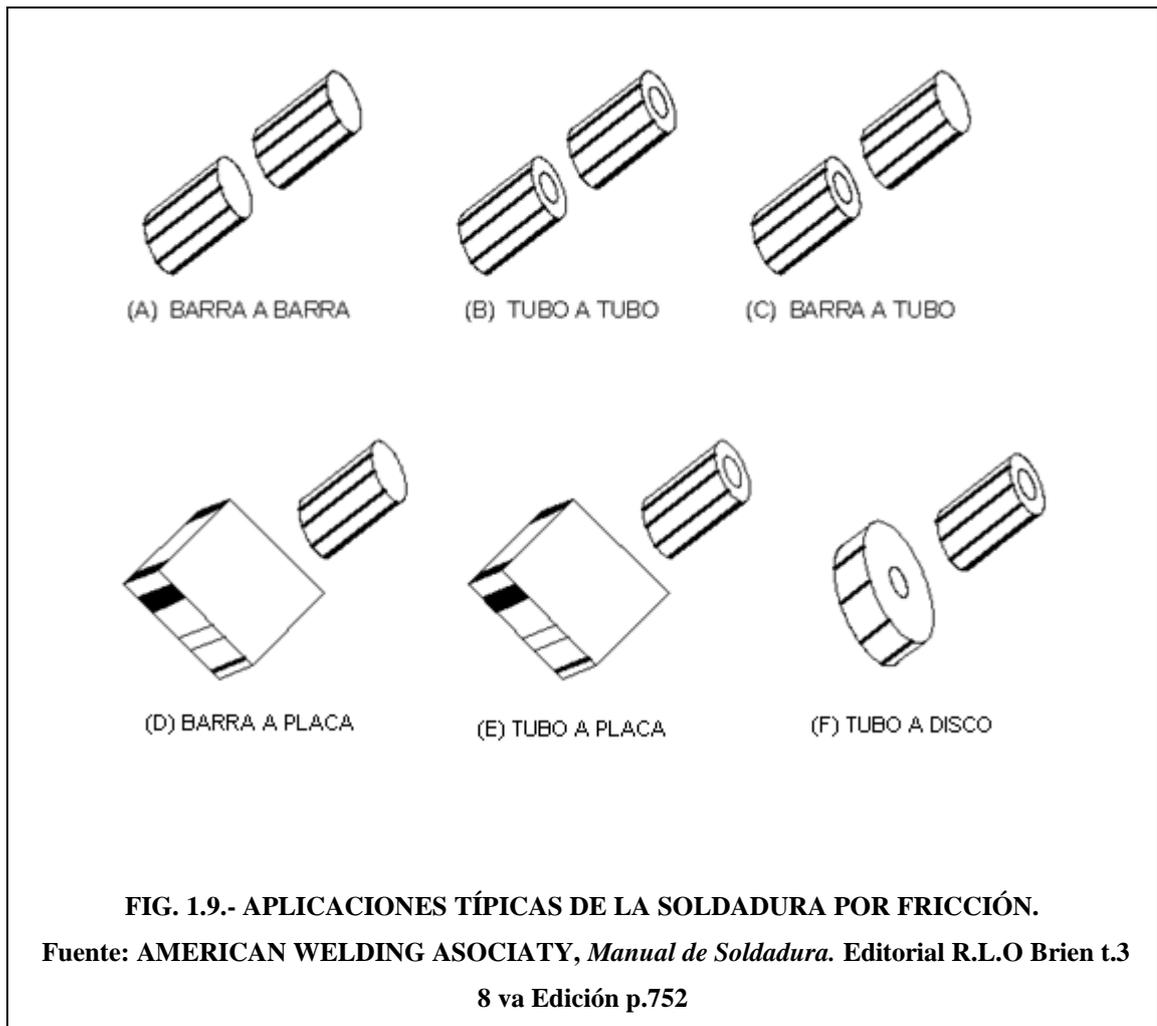
punto de sujeción. El herramental giratorio debe estar bien balanceado, tener elevada resistencia mecánica y sujetar con mucha firmeza. Los mandriles de mordazas satisfacen estos requisitos y son los que se usan con mayor frecuencia.

El dispositivo de sujeción no giratorio de uso más común es una fijación tipo prensa con un mecanismo para absorber el empuje. Este dispositivo tolera variaciones razonables en el diámetro de la pieza de trabajo estacionaria sin perder la concentricidad con la otra pieza que está en el mandril.

1.12.3. DISEÑO DE LAS UNIONES

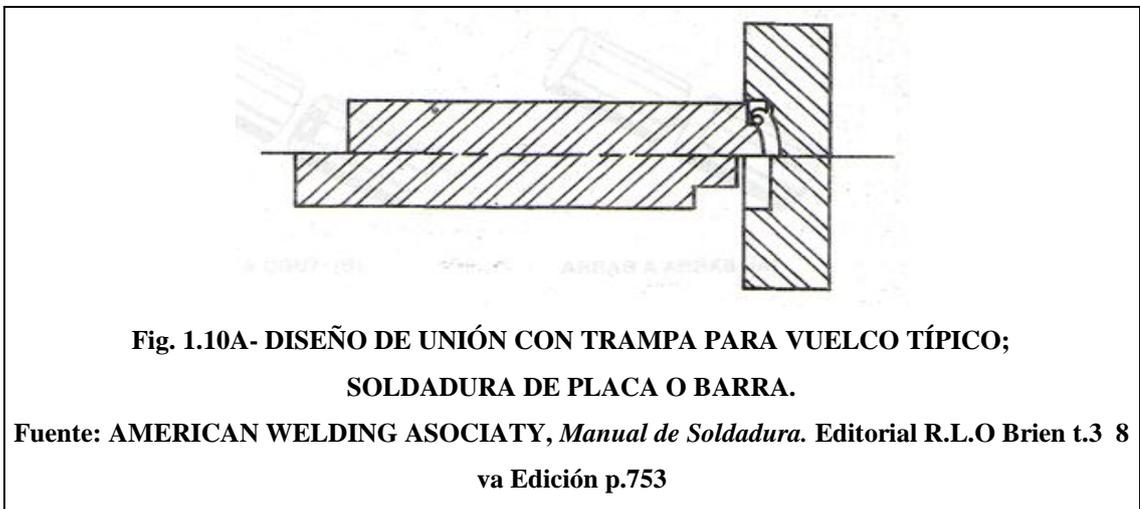
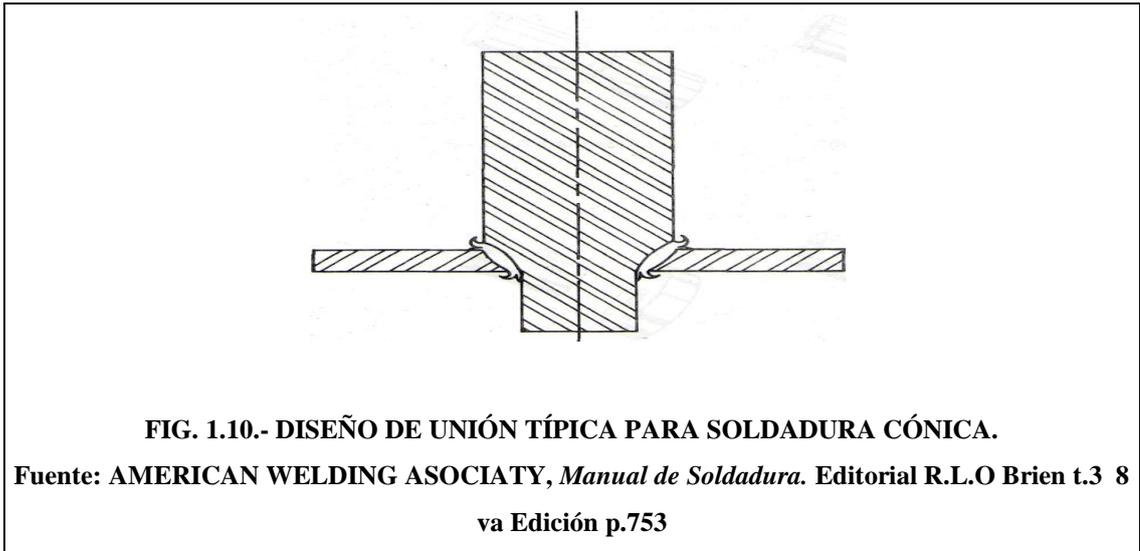
La naturaleza de la soldadura por fricción sugiere que la cara de unión de por lo menos una de las piezas de trabajo debe ser básicamente redonda, excepto cuando se usa soldadura por fricción recíproca orbital o lineal.

Los diseños básicos para combinaciones de barras, tubos y placas se ilustran en la figura 1.9. Cuando se sueldan barras o tubos a placas, la mayor parte del material de vuelco proviene de la barra o tubo. Esto se debe a que la sección más pequeña tiene menos masa y el calor penetra a mayor profundidad en ella. El material con menor resistencia al forjado o menor conductividad térmica debe tener un área de sección transversal mayor.



Las uniones cónicas suelen diseñarse con sus caras a 45 o 60 grados con respecto al eje de rotación, como se muestra en la figura 1.10. En el caso de metales con baja resistencia mecánica, se prefieren ángulos grandes para aguantar el empuje axial necesario para producir una presión de calentamiento adecuada.

En aplicaciones en las que el material de vuelco no puede eliminarse pero debe aislarse por razones cosméticas o funcionales, se pueden incluir espacios para él en una de las piezas de trabajo o en ambas (trampas para vuelco). En las figuras 1.10. A y 1.10. B se ilustra dos configuraciones de trampas para vuelco.



1.12.4. TRATAMIENTO TÉRMICO

El tratamiento térmico previo de las piezas de trabajo afecta muy poco la capacidad de soldar por fricción aleaciones específicas, pero puede alterar las propiedades mecánicas de la zona por el calor y la sujeción de las piezas de trabajo.

Con frecuencia se emplea tratamiento térmico posterior a la soldadura para dar las propiedades deseadas al metal base, la unión soldada o ambas, por ejemplo un recocido posterior a la soldadura puede servir para ablandar la unión o liberar las tensiones. Este tratamiento térmico mejora la ductilidad.

1.13. CALIDAD DE LA SOLDADURA

La calidad de la soldadura depende de la selección correcta de materiales, es posible obtener buenas soldaduras dentro de un intervalo amplio de velocidades, presiones y tiempos.

La calidad de las juntas soldadas depende de los siguientes requisitos generales:

- 1) El metal de las zonas fundida y transitoria de la unión debe ser denso, de estructura homogénea y sin alteraciones perceptibles en su integridad.
- 2) En la unión no debe haber una caída considerable de la resistencia mecánica del Metal, ni formación de las estructuras frágiles, sobre todo en la zona transitoria.
- 3) No ha de reducirse la resistencia a la corrosión del metal en la zona de soldadura.
- 4) Las deformaciones de las piezas después de la soldadura tienen que estar dentro de Los límites admisibles.

Si se cumple la mayoría de los requisitos indicados, al usar un equipo no complicado y una gama amplia de parámetros del régimen, se considera que el metal posee buena soldabilidad. Si la junta soldada puede obtenerse solamente en un intervalo muy

estrecho de parámetros del régimen o si ésta tiene baja resistencia mecánica, se considera que el metal tiene mala soldabilidad.

En la soldabilidad intervienen propiedades del metal como las conductibilidades eléctrica y térmica, la resistencia mecánica a altas temperaturas, la temperatura de fusión, el coeficiente de dilatación lineal, la dureza y la sensibilidad al ciclo térmico de la soldadura (cambio de las propiedades bajo la acción del calentamiento). Para soldar los metales que poseen alta dureza es necesario utilizar esfuerzos elevados o calentamiento previo al metal.

Con el aumento del coeficiente de dilatación lineal aumenta la contracción del metal en el proceso de cristalización y pueden producirse grandes tensiones internas, lo que conduce a la formación de cavidades y grietas en metal fundido.

1.14. DISCONTINUIDADES DE UNIÓN

Las discontinuidades características de las soldaduras SMAW, como la porosidad por gas y las inclusiones de escoria, no ocurren con la soldadura por fricción. Sin embargo, pueden presentarse otros tipos de discontinuidades, asociados a una preparación incorrecta de las superficies, condiciones de soldadura inadecuadas, materiales defectuosos o combinaciones de lo anterior.

Las discontinuidades en el centro de una soldadura pueden ocurrir por varias razones, como que las condiciones de soldadura no generaron suficiente calor en el centro para que hubiera coalescencia. La falta de adhesión en el centro también puede ocurrir en soldaduras por fricción de impulso directo cuando la velocidad, el tiempo de calentamiento o la presión de calentamiento son insuficientes.

Las superficies de empalme cóncavas que impiden un contacto uniforme durante las etapas iniciales de la soldadura pueden limitar el calentamiento en el centro y atrapar óxidos

1.15. VIGILANCIA DEL PROCESO

Entre los factores que deben ser vigilados en el proceso se encuentran las presiones de fricción y forjado, velocidad, vuelco y tiempo. En casos especiales también pueden vigilarse otros parámetros, como par de torsión y energía.

1.16. INSPECCIÓN Y PRUEBA

La inspección y las pruebas se aplican tanto a los materiales originales como a los ensamblajes soldados resultantes. En vez de depender de las pruebas destructivas para garantizar la calidad, cada vez se está usando más la vigilancia dentro del proceso y la inspección no destructiva. Dependiendo del nivel de calidad requerido, esto puede consistir en una simple inspección visual acompañada de pruebas mecánicas hasta los últimos avances en materia de pruebas no destructivas.

1.17. APLICACIONES

Los componentes soldados por fricción se encuentran en las industrias aeroespacial, agrícola, automotriz, de defensa, marina y petrolera. Se sueldan en producción todo tipo de objetos, desde asas para tenazas en lingotes para forjado hasta componentes críticos de motores de aeronaves.

En vehículos la soldadura por fricción se observan en engranes, válvulas del motor, tubos de ejes, componentes de la línea de transmisión, varillas de suspensión y amortiguadores.

En equipos agrícolas se encuentran en vástagos de pistones hidráulicos, rodillos guía, engranes, bujes, ejes y componentes similares. En la industria eléctrica se emplean muchas uniones aluminio/cobre soldadas por fricción. Los aceros inoxidable se sueldan por fricción a acero al carbono en diversos tamaños para usarse en sistemas de impulso marinos y en bombas de agua para uso doméstico e industrial. Es común sustituir colados y forjados costosos por ensamblajes soldados por fricción.

1.18. SEGURIDAD

Se recomienda tomar las prácticas seguras para tornos y prensas de potencia como guía para el diseño y operación de las máquinas soldadoras de fricción. Entre los riesgos típicos están los niveles altos de ruido, las velocidades rotacionales elevadas y las partículas que salen despedidas por lo que se debe tomar las precauciones adecuadas para evitar tener contacto con el equipo mientras se encuentra en funcionamiento, esto se debe prevenir equipando a las máquinas con guardas y escudos mecánicos apropiados, así como interruptores de operación de dos manos e interbloqueos eléctricos. Estos dispositivos se deben diseñar de manera que impidan con toda seguridad la operación de la máquina cuando el área de trabajo, la transmisión giratoria o el sistema de fuerzas está accesible para el operador u otro personal.

Los operadores deberán usar protección ocular y auditiva apropiada y la vestimenta de seguridad que suele usarse para operar máquinas herramienta. La protección auditiva debe bloquear los altos niveles de ruido que se producen durante la soldadura por fricción.

CAPITULO II

2. ESTUDIO DE ALTERNATIVAS

Los parámetros principales de soldadura por fricción a utilizarse para el estudio de alternativas son los siguientes:

- Velocidad de soldadura (m/seg).
- Tiempo de soldadura (seg).
- Presión de soldadura (MPa).

Estos son los que determinan la calidad de la soldadura.

Los parámetros para el equipo de soldadura por fricción para el laboratorio de de la Universidad Politécnica Salesiana se han seleccionado de acuerdo a los diámetros de las probetas y a los materiales que se van a utilizar. Los parámetros se analizará en base a los requerimientos más exigentes que son los necesarios para el acero, ya que este necesita velocidades, presiones y temperaturas relativamente altas de calentamiento en relación a otros materiales.

2.1. VELOCIDAD DE SOLDADURA

“Para probetas de acero de hasta 15mm de diámetro la velocidad tangencial que se debe utilizar está en un rango de 1.27 m/s a 1.78 m/s”⁵

2.2. TIEMPO DE SOLDADURA

Este parámetro depende de las velocidades y presión que se aplique al material a soldar como se indica en la figura 1.4 del capítulo 1 (está entre 10 y 14 seg).

⁵AMERICAN WEILDING SOCIETY, Op. Cit. p.746

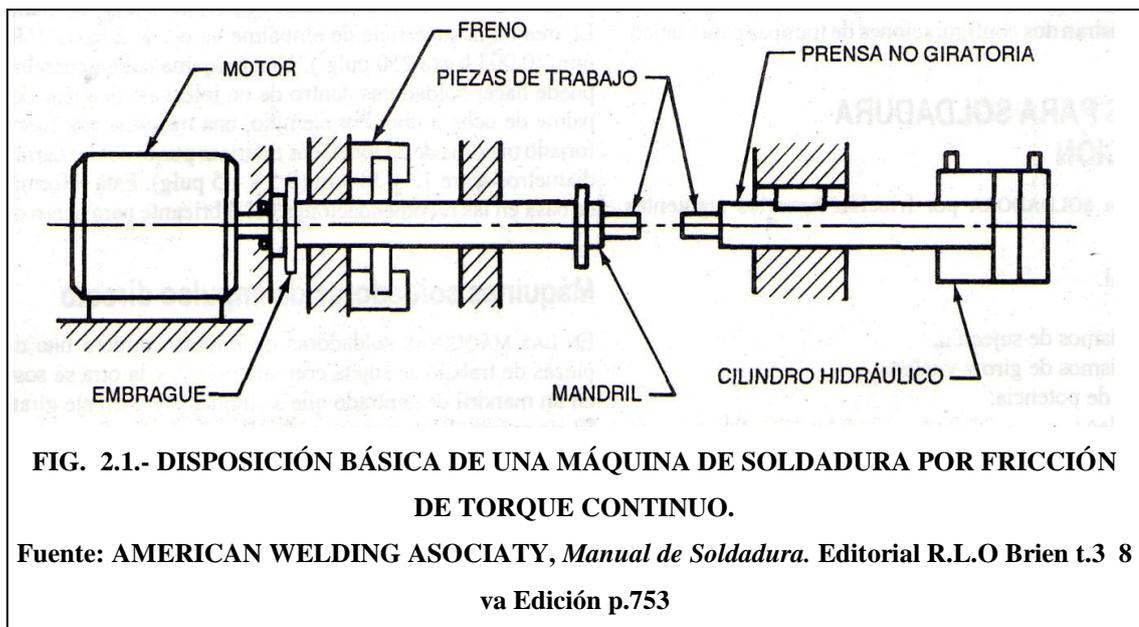
2.3. PRESIÓN DE SOLDADURA

“Para probetas de hasta 15mm la presión de calentamiento se encuentra entre 3.17 y 6.13 kg/mm² y la presión de forja que se requiere va desde 7.75 a 15.5 kg/mm²”⁶

2.4. MÁQUINAS PARA SOLDADURA POR FRICCIÓN

A continuación se hará un análisis de las ventajas y desventajas que existen para construir las máquinas soldadoras por fricción por los dos métodos descritos en el capítulo I.

2.4.1. MAQUINAS SOLDADORAS DE TORQUE CONTINUO



Este tipo de máquina soldadora por fricción de torque continuo trabaja bajo los siguientes parámetros:

2.4.1.1. VELOCIDAD DE SOLDADURA

Las máquinas de producción normalmente se diseñan para trabajar a velocidades de 300 a 650 rpm. Por ejemplo, se puede usar una velocidad de eje de 600 rpm para

⁶AMERICAN WEILDING SOCIETY, Op. Cit. p.747

soldar productos de acero hasta 100 mm de diámetro con velocidades de 1.6m/s a 3.2 m/s.

2.4.1.2. TIEMPO DE SOLDADURA

La máquina no tiene tiempos específicos de soldadura, estos van a depender de la velocidad y presión que se aplique a la soldadura como se indica en la figura 1.6 del capítulo 1 (está entre 10 y 12 seg).

2.4.1.3. PRESIÓN DE SOLDADURA

Para el acero dulce, son aceptables presiones de calentamiento de 31 a 60 MPa y presiones de forjado de 76 a 152 MPa. Los valores de uso más común son de 55 y 138 MPa, respectivamente. Las aleaciones de altas resistencia mecánica en caliente, como los aceros inoxidables y las aleaciones con base de níquel, requieren presiones de forjado más altas.

Existen otros parámetros que se debe tener en cuenta para el diseño de una máquina soldadora por fricción.

2.4.1.4. CONSTRUCCIÓN.

- **Motor.-** Debe alcanzar una velocidad tangencial máxima de 3.2 m/s necesario para soldar acero de hasta 100 mm de diámetro.
- **Sistema Hidráulico.-** Proporciona una presión de calentamiento y forja de 152 MPa necesaria para la unión del material.

- **Freno.-** Permite frenar el proceso para luego producir el empuje y lograr la soldadura.
- **Mandriles.-** El equipo está compuesto por un mandril fijo y uno móvil lo cuales producirán la fricción en las probetas.
- **Bancada.-** Es el soporte del equipo.
- **Sistema de cambio de velocidades.-** Permite modificar las velocidades según el material que se desee soldar.

2.4.1.5. OPERACIÓN

El uso de la máquina es muy fácil; se debe montar las probetas entre los mandriles (estos se ajustan a cualquier diámetro mientras no sobrepase la capacidad del equipo), una vez seleccionado la presión y velocidad se enciende la máquina. La fricción entre las probetas produce el vuelco, una vez fundido el material se aplica un freno para detener la máquina y finalmente la presión de forjado hasta soldar el material.

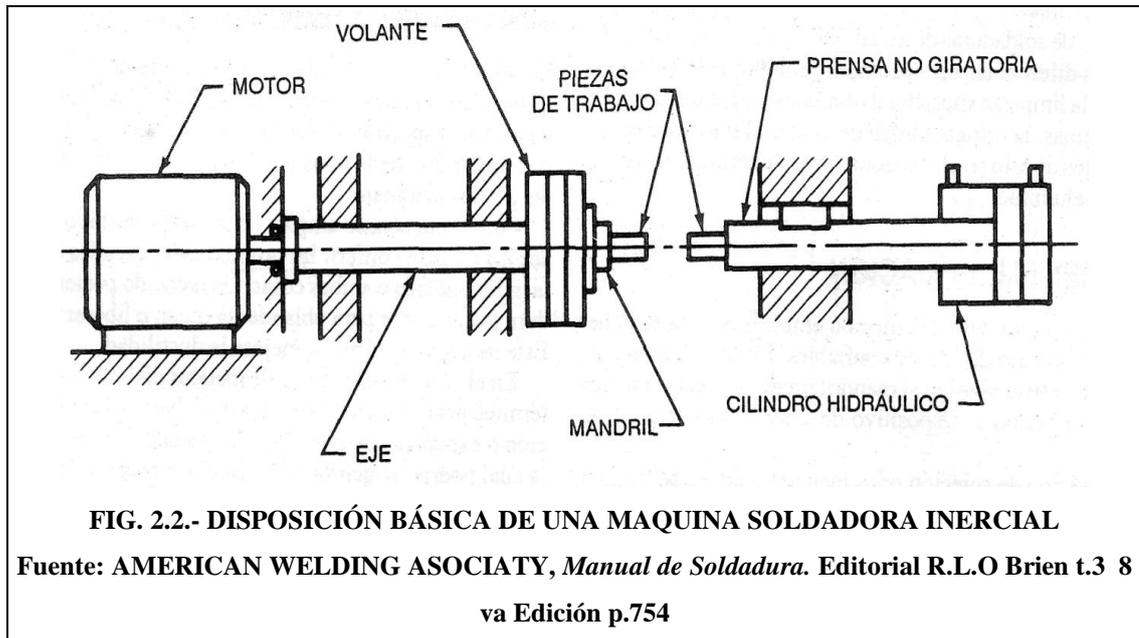
2.4.1.6. CAPACIDAD DE SOLDADURA.

La capacidad de la máquina soldadora está definida por la presión y la velocidad de la misma. Para una presión de 152 MPa y una velocidad de 3,2 m/s la capacidad de soldadura es para probetas de hasta 100 mm de diámetro.

2.4.1.7. SEGURIDAD EN LA OPERACIÓN DE LA MAQUINARIA.

Para la realización de este tipo de soldadura no se requiere de muchos implementos de seguridad, se debe tomar las mismas normas de seguridad para el trabajo frente a un torno.

2.4.2. MÁQUINA SOLDADORA INERCIAL



En la mayor parte de las aplicaciones de la soldadura por fricción inercial se usa un solo empuje axial para producir el calentamiento y la fuerza de forjado, pero las máquinas normalmente pueden aplicar más de un nivel de empuje.

2.4.2.1. VELOCIDAD DE SOLDADURA

“Para soldar barras solidas de acero la velocidad inicial de la pieza de trabajo recomendada es de 2.5 a 7.5 m/s, sin embargo puede soldarse a velocidades tan bajas como 1.5 m/s, pero si la velocidad es demasiado baja el calentamiento en el centro será insuficiente para lograr la unión en toda la cara interna”⁷

2.4.2.2. TIEMPO DE SOLDADURA

Es similar a la máquina soldadora por torque continuo el tiempo va a variar según la velocidad y presión que se aplique en el proceso (está entre 5 y 7 seg.).

⁷: AMERICAN WELDING ASOCIATY, Op. Cit. p.749

2.4.2.3. PRESIÓN DE SOLDADURA

“En esta máquina soldadora el rango de calentamiento efectivo para una barra solida de acero es de 152 a 207 MPa un exceso de presión produce una soldadura con unión deficiente en el centro y una gran cantidad de vuelco”⁸

Existen otros parámetros que se debe tener en cuenta para el diseño de una máquina soldadora por fricción.

2.4.2.4. CONSTRUCCIÓN.

- **Motor.-** debe alcanzar velocidades de 7.5 m/s para la soldadura por fricción de impulso inercial en acero.
- **Volante.-** este deberá almacenar la energía necesaria para realizar la soldadura por fricción. El volante deberá cambiarse según el diámetro de la probeta que se va a soldar.
- **Sistema Hidráulico.-** proporciona las presiones de calentamiento y de forjado entre 152 a 207 MPa.
- **Bancada.-** es el soporte del equipo.
- **Mandril fijo.-** sostiene una de las probetas que va a ser soldada.

2.4.2.5. OPERACIÓN.

Este tipo de maquinaria es muy segura y de fácil manipulación es importante tomar en cuenta la selección del volante de inercia ya que este cambia según el diámetro de la probeta que se va a soldar este almacenara un cierto nivel de energía que se utilizara en la soldadura.

⁸: AMERICAN WELDING ASOCIATY, Op. Cit. p.749

Se debe montar el volante junto con el mandril móvil, luego se debe montar las probetas en los mandriles, una vez asegurada las piezas se procede a encender el motor a cierta velocidad que será escogida a través de los catálogos de fabricantes, después se juntan las probetas y se apaga el motor para que la energía almacenada en el volante se transfiera a la interfaz de soldadura y se convierta en calor en este ciclo luego de pasados pocos segundos se aplica la presión de forjado hasta que la velocidad se reduzca a cero y se forme el vuelco de soldadura.

2.4.2.6. CAPACIDAD DE SOLDADURA.

Al igual que en la soldadora de torque continuo la capacidad de la máquina está definida por la presión y la velocidad de la misma. Para una presión de *152 a 207 MPa* y una velocidad de *2.5 a 7.5 m/s* la capacidad de soldadura es para productos de diámetros mayores a 100 mm por lo que este tipo de máquina es más utilizada en la industria.

2.4.2.7. SEGURIDAD EN LA OPERACIÓN DE LA MAQUINARIA.

Al igual que la soldadora de torque continuo no se requiere de muchos implementos de seguridad, se debe tomar las mismas normas de seguridad que para el trabajo frente a un torno.

2.5. PARÁMETROS DE SELECCIÓN.

Los parámetros que se han escogido para la comparación y selección de la alternativa más adecuada se muestran a continuación:

- Velocidad de soldadura.
- Tiempo necesario de soldadura.
- Presión de soldadura.
- Dificultad para la construcción.
- Facilidad de operación.
- Capacidad de soldadura.

- Seguridad en la operación de la maquinaria.

En las tablas 2.1 y 2.2 se detalla la calificación de cada uno de los parámetros con un número entre 1 y 5 los mismos que mostrará el nivel de cumplimiento de las especificaciones requeridas para la selección de la mejor alternativa.

A continuación se detalla la equivalencia de la calificación y el nivel de aceptación de los parámetros escogidos.

Calificación 1: La maquinaria no cumple con las especificaciones requeridas para su construcción.

Calificación 2: Cumple con mínimas especificaciones requeridas para su construcción.

Calificación 3: Tiene la mitad de las especificaciones requeridas para su construcción.

Calificación 4: Cumple con la mayoría de las especificaciones requeridas para su construcción.

Calificación 5: El equipo cumple con las especificaciones requeridas para su construcción.

2.6. FACTOR DE PONDERACIÓN

Señala la importancia del parámetro evaluado respecto a los otros, para el análisis se ha determinado los siguientes factores.

10.- Muy importante

9.- Importante

8.- Menos importante

7.- No importante

MAQUINA SOLDADORA DE TORQUE CONTINUO							
PARÁMETRO	FACTOR DE PONDERACIÓN	CALIFICACIÓN					Puntuación
		1	2	3	4	5	
Velocidad de soldadura.	10					x	50
Tiempo necesario de soldadura.	10				x		40
Presión de soldadura	10					x	50
Dificultad para la construcción	9					x	45
Facilidad de operación	8					x	40
Capacidad de soldadura	8				x		32
Seguridad en la operación de la maquinaria	7				x		28
TOTAL							285

TABLA 2.1. CALIFICACIÓN DE LA MÁQUINA SOLDADORA DE TORQUE CONTINUO

Fuente: LOS AUTORES

MAQUINA SOLDADORA INERCIAL							
PARÁMETRO	FACTOR DE PONDERACIÓN	CALIFICACIÓN					Puntuación
		1	2	3	4	5	
Velocidad de soldadura.	10				x		40
Tiempo necesario de soldadura.	10				X		40
Presión de soldadura	10					X	50
Dificultad para la construcción	9			x			27
Facilidad de operación	8			x			24
Capacidad de soldadura	8				x		32
Seguridad en la operación de la maquinaria	7				x		28
TOTAL							241

TABLA 2.2. CALIFICACIÓN DE LA MÁQUINA SOLDADORA INERCIAL

Fuente: LOS AUTORES

2.7. CONCLUSIÓN

Se pudo comprobar que la mejor alternativa para construir un equipo de soldadura por fricción para nuestro laboratorio es la máquina soldadora por torque continuo ya que tiene más facilidades en cuanto a la construcción, operación y la velocidad requerida es más lenta.

La soldadora por inercia es utilizada más en la industria debido a su manejo en aplicaciones de gran tamaño además la manera de operar de esta máquina depende de la energía que se pueda almacenar para cada proceso y esto implica la construcción de diferentes volantes para cada proceso, por lo que el uso de este equipo ocasionaría problemas para la enseñanza en el laboratorio.

El objetivo del equipo es observar el comportamiento de los materiales al soldarse y la soldadura por torque continuo al tener varias velocidades y presiones permite variar estas variables e ir comparando. Además este equipo puede soldar por inercia simulando su mandril como un volante el cual almacenar la energía necesaria para poder realizar soldadura.

Por esta razón la mejor opción es construir el equipo de soldadura por torque continuo ya que este proporciona todo lo necesario para la enseñanza en el laboratorio y partiendo de este se podrán realizar investigaciones posteriores.

CAPITULO III.

3. DISEÑO

De acuerdo a los datos obtenidos en las tablas 2.1. y 2.2. sobre el estudio de alternativas, el proceso de soldadura por fricción de torque continuo es el que da mejor facilidades para la construcción, funcionamiento y en el cual se puede realizar las prácticas que requiere el laboratorio de soldadura.

Los propósitos de diseño que se utilizó para diseñar la máquina constan en el capítulo anterior.

- Velocidad tangencial: Entre 1.27 m/s a 1.78 m/s.
- Presión de calentamiento: Entre 3.17 a 6.13 kg/mm²
- Presión de forja: Entre 7.75 a 15.5 kg/mm²
- Tiempo: Se puede obtener de la figura 1.4. Mediante los datos de velocidad y presión.

Estos parámetros corresponden a los requeridos para la soldadura del acero A-36 que son los más exigentes que para otros materiales como el bronce y el aluminio.

Para el diseño de la máquina se realizó el estudio de los siguientes elementos.

3.1. SISTEMA MOTRIZ

Para el diseño del motor se parte de los datos investigados en el capítulo I para soldar acero por fricción:

Velocidad tangencial: Entre 1.27 m/s a 1.78 m/s.

Presión de calentamiento: Entre 3.17 a 6.13 kg/mm²

Presión de forja: Entre 7.75 a 15.5 kg/mm²

Diámetro de probeta: 15mm.

3.1.1. FUERZA DE CALENTAMIENTO.

$$F = P * A \quad (\text{Ec. 3.1})$$

F = Fuerza axial necesaria.

P = Presión de calentamiento.

A = Área de contacto de la probeta.

$$A = \frac{\pi d^2}{4} \quad (\text{Ec. 3.2})$$

$$A = \frac{\pi(15\text{mm})^2}{4}$$

$$A = 176.714\text{mm}^2$$

Presión de calentamiento: Entre 3.17 a 6.13 kg/mm²

Para el diseño del equipo se tomará los valores más altos.

Por lo tanto:

$$F = 6.13 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2} * 176.714 \text{ mm}^2$$

$$F = 1083.25 \text{ kgf.}$$

3.1.2. FUERZA DE CONTACTO

$$F_c = \mu * F \quad (\text{Ec. 3.3})$$

Dónde:

F_c: Fuerza de contacto

μ: Coeficiente de rozamiento dinámico acero-acero

“**μ = 0.1**”⁹ (VER ANEXO A)

$$F_c = 0.1 * 1083.25 \text{ kgf}$$

$$F_c = 108.325 \text{ kgf}$$

3.1.3. POTENCIA DEL MOTOR.

$$P = F_c * v \quad (\text{Ec. 3.4})$$

Dónde:

v: velocidad tangencial.

$$P = 108.325 \text{ kgf} * 1.78 \text{ m/s}$$

$$P = 192,8185 \frac{\text{kg} * \text{m}}{\text{s}} * \frac{1 \text{ Kw}}{101.988 \frac{\text{kg} * \text{m}}{\text{s}}}$$

$$P = 1.89 \text{ Kw} \frac{1 \text{ Hp}}{0.746 \text{ Kw}}$$

$$P = 2.53 \text{ Hp}$$

⁹ ARRIZABALAGA. Nicolás- *Prontuario de Máquinas y Herramientas*, p134

3.1.3.1. NUMERO DE REVOLUCIONES DEL EQUIPO DE SOLDADURA

$$n_2 = \frac{v}{r_{\text{probeta}}} \quad (\text{Ec. 3.5})$$

$$n_2 = \frac{1.78 \frac{m}{s}}{7.5 \times 10^{-3} m}$$

$$n_2 = 237.33 \frac{\text{rad}}{s} \times \frac{\text{rev}}{2\pi \text{rad}} \times \frac{60 s}{1 \text{ min}}$$

$$n_2 = 2266.33 \text{ rpm}$$

Según especificaciones del mercado se utilizará un motor trifásico con potencia de 3 Hp y 3490 rpm.

3.2. CALCULO PARA SELECCIÓN DE BANDAS Y POLEAS

Con datos de potencia y número de revoluciones del equipo escogemos el tipo de banda.

$$P = 3 \text{ Hp}$$

$$N_2 = 2266.33 \approx 2300 \text{ rpm}$$

“Se escoge la banda trapecial Tipo A”¹⁰ (Ver Anexo B).

3.2.1. RELACIÓN DE TRANSMISIÓN:

$$i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{D}{d} \quad (\text{Ec. 3.6})$$

Dónde:

n1= Número de revoluciones del motor.

n2 = Número de revoluciones del equipo.

D= Diámetro de paso de la polea mayor.

d= Diámetro de paso de la polea menor.

$$i = \frac{3490 \text{ rpm}}{2300 \text{ rpm}}$$

$$i = 1.52$$

¹⁰ Catalogo Roflex de Correas Trapezoides

Selección del diámetro de la polea motriz.

Por lo tanto:

Según banda trapezoidal tipo A

“ $d = 3 \text{ plg} = 76.2 \text{ mm}$ ”¹¹ (Ver Anexo C).

“ $d = 80 \text{ mm normalizado}$ ”¹² (Ver Anexo D)

Diámetro de polea dirigida.

$$i = \frac{D}{d}$$

$$D = ixd$$

$$D = 1.52 \times 80 \text{ mm}$$

$$D = 121.6 \text{ mm}$$

$D = 125 \text{ mm normalizado}$ Según Catálogo de Poleas (Ver Anexo D)

3.2.2. DISTANCIA ENTRE CENTROS

$$C < 3(D + d) \quad (\text{Ec. 3.7})^{13}$$

$$C < 3(125 + 80) \text{ mm}$$

$$C < 615 \text{ mm}$$

Para el diseño se escoge una medida inicial de: $C = 400 \text{ mm}$

3.2.3. LONGITUD DE LA BANDA.

$$Lp = 2C + 1.57(D + d) + \frac{(D-d)^2}{4C} \quad (\text{Ec. 3.8})^{14}$$

¹¹ SHINGLEY, Joseph Edward, *Diseño en Ingeniería Mecánica*. Libros Mc GRAW Hill 3ta Edición 1985 p.805

¹² Catálogo de Poleas

¹³ MARTINEZ, Pablo y PRECIADO Luis, *Diseño y Construcción de una Máquina Transformadora y Clasificadora de Humus de Lombriz de Capacidad de 1500 kg/h*, Tesis UPN Quito Julio 2011

¹⁴ Idem. p. 808

Dónde:

Lp = longitud de paso de la banda.

C = Distancia entre centros.

$$Lp = 2(400mm) + 1.57(125 + 80)mm + \frac{(125 - 80)^2 mm^2}{4(400)mm}$$

$$Lp = 1123.11 mm$$

3.2.4. PERÍMETRO INTERIOR DE LA BANDA.

“Según la sección de la banda en este caso tipo A el factor de aumento de longitud es 1.3 plg $\approx 33.02 mm$ ”¹⁵(Ver Anexo E).

$$Li = Lp - 33.02mm \quad (\text{Ec. 3.9})^{16}$$

Dónde:

Li = Longitud interior de la banda.

$$Li = 1123.11 mm - 33.02mm$$

$$Li = 1090.09mm$$

$$Li \approx 1090 mm = 42.91plg$$

Por lo tanto:

“Se escoge la banda Tipo Trapecial A 46, con Li=1168mm”¹⁷ (Ver Anexo F).

3.2.5. ANGULO DE CONTACTO DE LA BANDA.

$$\theta_s = 2 \cos^{-1} \left(\frac{D-d}{2c} \right) \quad (\text{Ec. 3.10})^{18}$$

Dónde:

θ_s = Angulo de contacto de la banda.

$$\theta_s = 2 \cos^{-1} \left(\frac{125 - 80mm}{2(400)mm} \right)$$

$$\theta_s = 173.55^\circ$$

¹⁵ SHINGLEY, Joseph Edward, Op. Cit. p 807

¹⁶ Ídem. p. 814

¹⁷ Catálogo de Bandas Roflex

¹⁸ Ídem. p. 801

3.2.6. NÚMERO DE BANDAS,

$$N^{\circ} = \frac{P}{Hr'} \quad (\text{Ec. 3.11})^{19}$$

Dónde:

Hr' = Potencia corregida.

P= Potencia del motor (3hp)

3.2.6.1. POTENCIA NOMINAL

$$Hr = \left[c1 - \frac{c2}{d} - c3(rxd)^2 - c4 \log(rxd) \right] (rxd) + c2 xr \left(1 - \frac{1}{k_A} \right) \quad (\text{Ec. 3.12})^{20}$$

Dónde:

Hr: Potencia nominal.

d = Diámetro de la polea menor (d = 80 mm ≈ 3.14plg).

“C1, C2, C3, C4 = constantes”²¹ (Ver Anexo G).

$$C1 = 0.8542$$

$$C2 = 1.342$$

$$C3 = 2.436 \times 10^{-4}$$

$$C4 = 0.1703$$

$$re = \frac{\text{Numero derevoluciones del eje del motor}}{1000} \quad (\text{Ec. 3.13})^{22}$$

¹⁹SHINGLEY, Joseph Edward, Op. Cit p. 814

²⁰ Idem. p. 814

²¹ Idem p. 809

²² Idem. p. 809

Dónde:

re = Número de revoluciones / 1000

$$re = \frac{3490rpm}{1000rpm}$$

$$re = 3.5$$

Con D/d se escoge el factor de relación de velocidades K_A .

$$\frac{D}{d} = \frac{125 mm}{80 mm} = 1.56$$

“ $K_A = 1.0972$ ”²³ (Ver Anexo H).

Entonces:

$$Hr = \left[0.8542 - \frac{1.342}{3.14} - 2.436 \times 10^{-4} (3.5 \times 3.14)^2 - 0.1703 \log(3.5 \times 3.14) \right] (3.5 \times 3.14) + 1.342 \times 3.5 \left(1 - \frac{1}{1.0972} \right)$$

$$Hr = 2.84$$

3.2.6.2. POTENCIA CORREGIDA

$$Hr' = K_1 \times K_2 \times Hr \quad (\text{Ec. 3.14})^{24}$$

Dónde:

Hr' = Potencia corregida.

K_1 = Factor de corrección para ángulos de contacto de hasta 180°

K_2 = Factor de corrección por longitud

²³ SHINGLEY, Joseph Edward, Op. Cit . p. 810

²⁴ Idem.. p. 811

Se determina k_1 con el Tipo de banda (A) y ángulo de contacto.

$$\theta_s = 173.55^\circ$$

$$k_1 = 0.98^{25} \text{ (Ver Anexo I).}$$

Se determina K_2 con la longitud interior de la banda (L_i) y con el tipo de banda (A).

$$L_i = 1090 \text{ mm} = 42.91 \text{ plg}$$

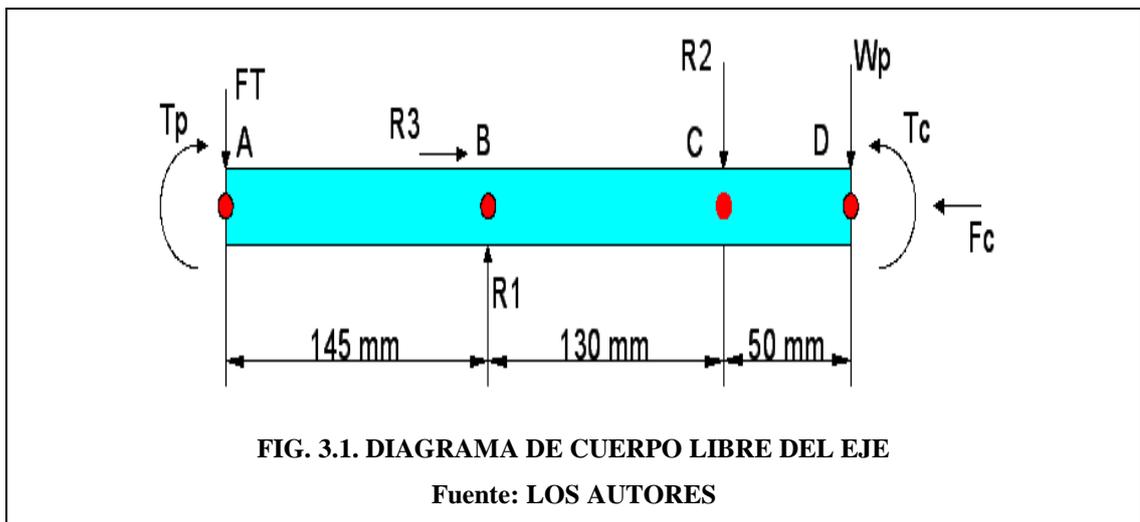
$$K_2 = 0.89^{26} \text{ (Ver Anexo J).}$$

Entonces el número de bandas es:

$$N^\circ = \frac{3}{2.477}$$
$$N^\circ = 1.211 = 2 \text{ bandas}$$

3.3. DISEÑO DEL EJE MOTRIZ

El eje está dimensionado en base a la distribución de las cargas y su facilidad de construcción.



²⁵ SHINGLEY, Joseph Edward, Op. Cit . p. 807

²⁶ Idem. p. 811

Dónde:

F= Fuerza axial necesaria.

FT= Fuerza de tensión de la banda.

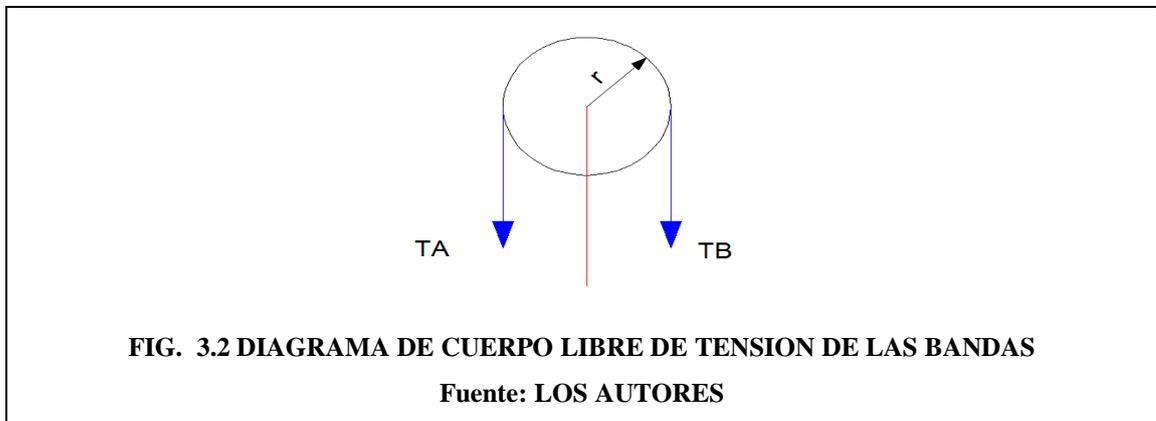
Tp= Torque originado por el motor.

Tc= Torque originado por la soldadura.

Wp= Peso del mandril $Wp = 6 \text{ Kg}$.

R1, R2, R3= Reacciones de las fuerzas aplicadas.

3.3.1. FUERZA GENERADA POR LA BANDA.



Dónde:

TA, TB = Tensiones generadas por la banda.

Ft = Fuerza total generada por la banda

Si $TA > TB$

"Según el análisis de Firbank, se presentará un estudio simplificado en forma de un análisis convencional que ha sido empleado durante muchos años. Se supone que la fuerza de fricción o rozamiento sobre la banda es uniforme sobre todo el arco de contacto y que las fuerzas centrífugas que aparecen en la correa pueden ser despreciadas. Entonces la relación entre la tensión en el lado tirante TA y la tensión en el lado flojo TB es la misma que en el caso de los frenos de cinta y es: "²⁷

²⁷SHINGLEY, Joseph Edward, Op. Cit. p. 824

$$\frac{TA}{TB} = e^{Vxfx\theta} \quad (\text{Ec. 3.15})^{28}$$

Dónde:

V= Factor correctivo para bandas de sección trapezoidal

f= Coeficiente de rozamiento acero – caucho

θ= Angulo de contacto de la banda

$$V = \frac{1}{\sin 17^\circ}$$

*"Los coeficientes de fricción para el caso de cuero, caucho (o hule) y lona de algodón, sobre acero, son de 0.40, 0.35, 0.30, respectivamente."*²⁹

f= 0.35

Entonces:

$$\frac{TA}{TB} = e^{\frac{1}{\sin 17^\circ} \times 0.35 \times 0.96\pi \text{rad}}$$

$$\frac{TA}{TB} = 36.9803$$

$$TA = 36.9803TB \quad (\text{Ec. 3.16})$$

3.3.2. DETERMINACIÓN DEL MOMENTO DE LA POLEA.

$$T = F \times d \quad (\text{Ec. 3.17})$$

$$T = (TA \times rp) - (TB \times rp)$$

$$T = (TA - TB) \times rp$$

Se reemplaza la Ec. 3.15 (TA) en la Ec. 3.16

$$\frac{T}{rp} = 36.9803 TB - TB \quad (\text{Ec. 3.18})$$

$$\frac{T}{rp} = 35.9803TB$$

²⁸ SHINGLEY, Joseph Edward, Op. Cit p. 824

²⁹ Idem. p. 804

Dónde:

T= Torque producida por la máquina.

rp = Radio de la polea motriz $r_p = 62.5 \text{ mm}$

r= radio de la probeta

$$T = \frac{2}{3} \mu x F x r \quad (\text{Ec. 3.19})^{30}$$

$$T = \frac{2}{3} 0.1 x 1083.25 \text{ Kgf} x 7.5 \text{ mm}$$

$$T = 541.63 \text{ Kgf} - \text{mm}$$

Por lo tanto:

$$\frac{541.63 \text{ Kgf} - \text{mm}}{62.5 \text{ mm}} = 35.9803 \text{ TB}$$

$$TB = 0.24 \text{ kgf}$$

Entonces remplazo TB en **Ec. 3.15**

$$TA = 36.9803TB$$

$$TA = 36.9803 x 0.24 \text{ Kgf}$$

$$TA = 8.88 \text{ kgf}$$

Dónde:

$$FT = TA + TB \quad (\text{Ec. 3.20})$$

$$FT = 8.88 + 0.24$$

$$FT = 9.11 \text{ Kgf}$$

³⁰PYTEL Andrew y SINGER Ferdinand, *Resistencia de Materiales*, Edición: 4ta, 1994, p 479.

3.3.3. CARGAS APLICADAS EN EL EJE

Entonces del diagrama de cuerpo libre del eje:

$$\sum Fy=0$$

$$FT + Wp - R1 + R2 = 0$$

$$R1 - R2 = 9.11 + 6$$

$$R1 - R2 = 15.11 \text{ kg} \quad (\text{Ec. 3.21})$$

Momento respecto al punto C.

$$\sum MC = 0$$

$$(FT \times 275 \text{ mm}) - (R1 \times 130 \text{ mm}) - (Wp \times 50 \text{ mm}) = 0$$

$$(9.11 \times 275) - (R1 \times 130) - (6 \times 50) = 0$$

$$R1 = \frac{2505.25 - 300}{130}$$

$$R1 = 16.96 \text{ kg}$$

Remplazando R1 en la Ec. 3.20.

$$R2 = R1 - 15.11 \text{ kg}$$

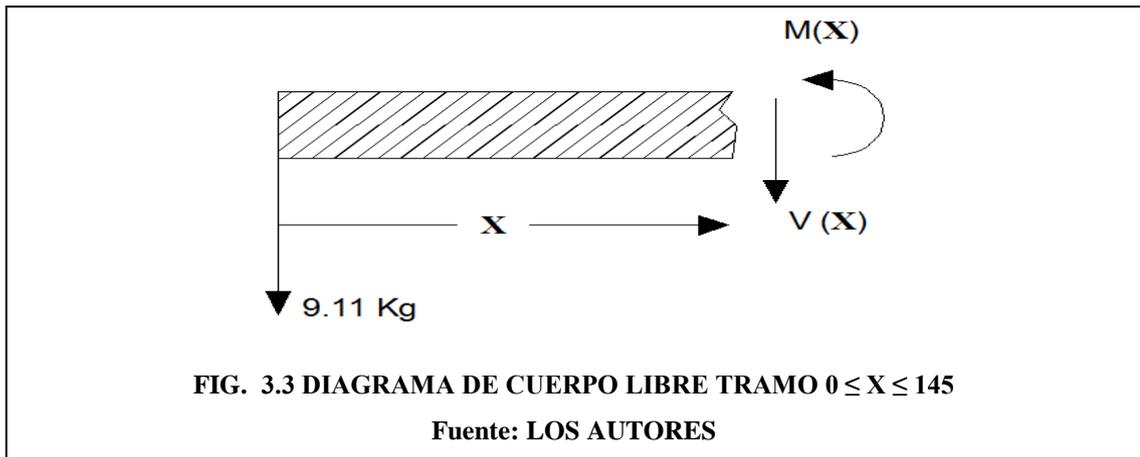
$$R2 = 16.96 \text{ kg} - (15.11 \text{ Kg})$$

$$R2 = 1.85 \text{ kg}$$

3.3.4. FUERZAS CORTANTES Y MOMENTOS FLEXIONANTES.

En la FIG. 3.3; 3.4; 3.5; se muestra el diagrama de cuerpo libre del eje motriz para el cálculo de Fuerzas cortantes y momentos flexionantes.

Tramo $0 \leq X \leq 145$



$$\sum FV=0$$

$$9.11+V(x)=0$$

$$V(x)=-9.11 \text{ Kg}$$

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

$$M(x)+9.11x=0$$

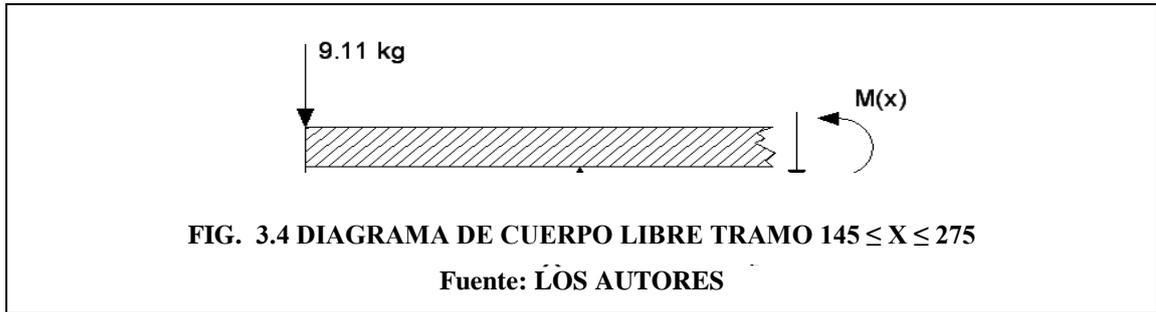
$$M(x)=-9.11x$$

Entonces:

$$\text{Para } X=0 \quad M(x) = 0$$

$$\text{Para } X= 145 \text{ mm} \quad M(x) = - 1320.95 \text{ kg- mm}$$

Tramo $145 \leq X \leq 275$



$$\sum FV=0$$

$$9.11+V(x)-16.96\text{Kg}=0$$

$$V(x)=16.96-9.11$$

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

$$9.11x - 16.96(x-145) + M(x) = 0$$

$$M(x)=-9.11x+16.96x-2459.2$$

$$M(x)=7.85x-2459.2$$

Entonces:

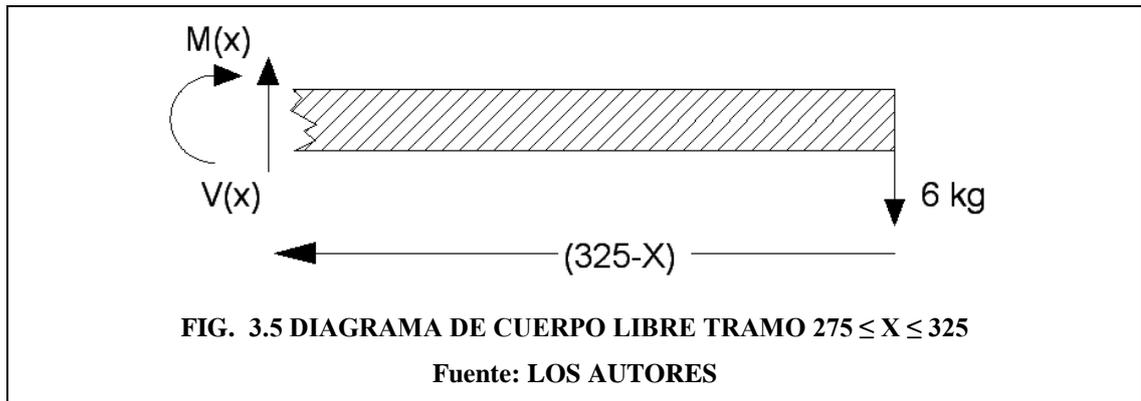
Para $X= 145$

$$M(x) = - 1320.95 \text{ kg- mm}$$

Para $X= 275 \text{ mm}$

$$M(x) = - 300 \text{ kg- mm}$$

Tramo $275 \leq X \leq 325$



$$\sum FV=0$$

$$V(x)-6=0$$

$$V(x)=6 \text{ Kg}$$

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

$$M(x)+6(325-x)=0$$

$$M(x)+1950-6x=0$$

$$M(x)=6x-1950=0$$

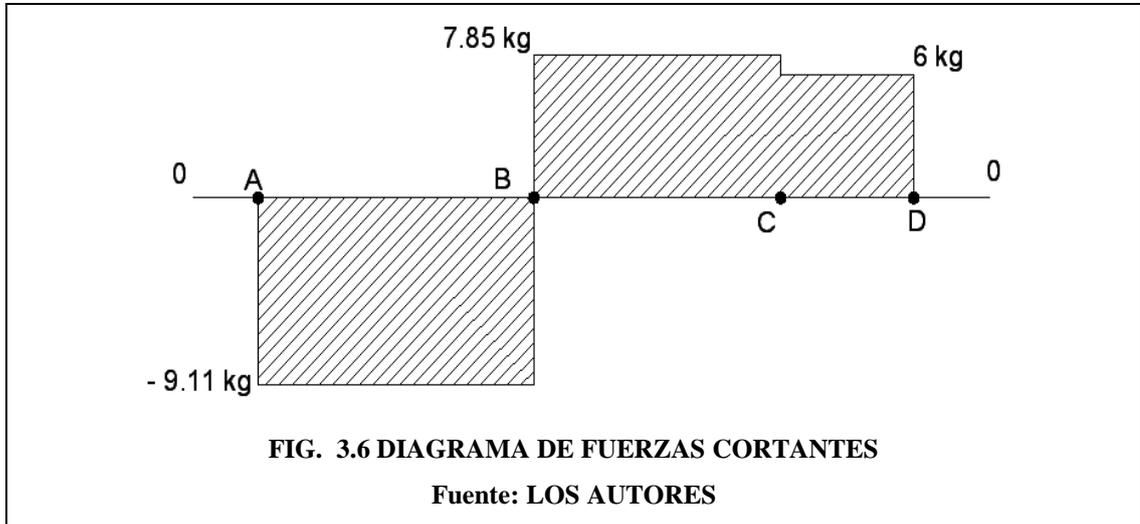
Entonces:

$$\text{Para } X= 275 \text{ mm} \quad M(x) = - 300 \text{ Kg-mm}$$

$$\text{Para } X= 325 \text{ mm} \quad M(x) = 0$$

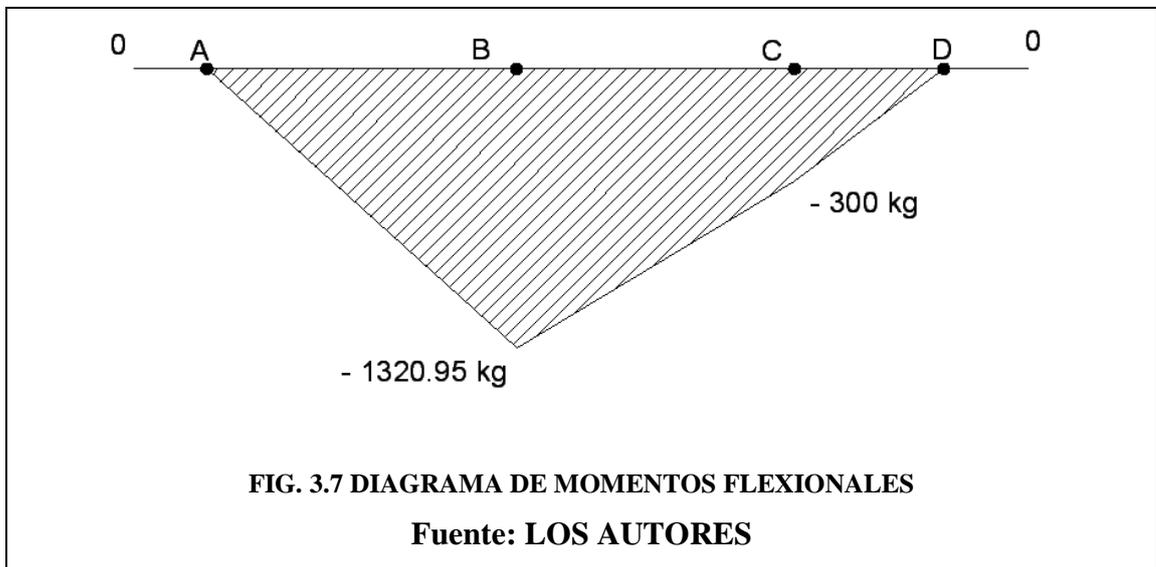
3.3.4.1. DIAGRAMA DE FUERZAS CORTANTES.

En la FIG. 3.6 se muestra el diagrama de fuerzas cortantes.



3.3.4.2. DIAGRAMA DE MOMENTOS FLEXIONANTES.

En la FIG. 3.7 se muestra el diagrama de momento flector máximo.



3.3.4.2.1. ESFUERZOS DEL DIAGRAMA DE MOMENTOS.

Como se puede observar en los diagramas la sección crítica se encuentra en el punto B.

$$\sigma_f = \frac{Mxc}{I} \quad (\text{Ec. 3.22})^{31}$$

Dónde:

σ_f = Esfuerzo de flexión.

M = Momento máximo del eje.

c = Distancia desde el eje neutro hasta el punto donde se producen los máximos esfuerzos.

I = Inercia de la sección.

$$\sigma_f = \frac{1320.95 (Kg - mm)x \frac{d}{2}}{\frac{\pi x d^4}{64}}$$

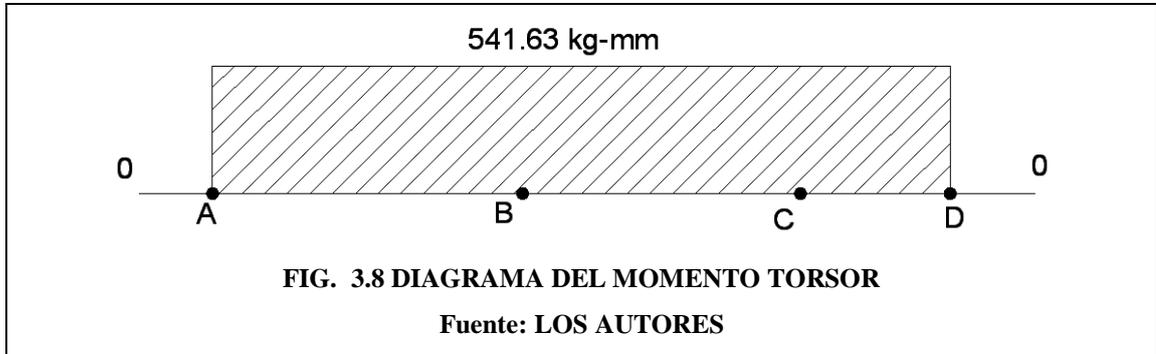
$$\sigma_f = \frac{1320.95 (Kg - mm)x \frac{d}{2}}{\frac{\pi x d^4}{64}}$$

$$\sigma_f = \frac{13455.09 Kg - mm}{d^3 mm^3}$$

³¹SHINGLEY, Joseph Edward, Op. Cit. p. 337

3.3.4.3. DIAGRAMA DEL MOMENTO DEBIDO AL TORQUE.

En la FIG. 3.8 se muestra el diagrama del momento debido al torque.



3.3.4.3.1 ESFUERZOS A TORSIÓN.

$$\tau_t = \frac{Txc}{J} \quad (\text{Ec. 3.23})^{32}$$

Dónde:

τ_t = Esfuerzo de torsión.

J = Momento polar de inercia.

T = Momento torsor.

$$\tau_t = \frac{541.63 (Kg - mm) x \frac{d}{2}}{\frac{\pi x d^4}{32}}$$

$$\tau_t = \frac{2758.498}{d^3} (Kg/mm^2)$$

“La evidencia experimental indica que la resistencia a la fatiga por flexión no es afectada por la existencia del esfuerzo medio por torsión hasta que la resistencia de fluencia a la tensión se exceda aproximadamente en 50 %”³³

³²SHINGLEY, Joseph Edward, Op. Cit. p. 353

³³Idem.p. 732

Entonces se puede decir que si: $\tau \leq 0.5\sigma$

Se tiene:

$$De = \left(\frac{32 Mn}{\pi x Se}\right)^{\frac{1}{3}} \quad (\text{Ec. 3.24})^{34}$$

Dónde:

M= Momento máximo en el eje.

n= Factor de seguridad.

De= Diámetro del eje.

3.3.5. DISEÑO A FATIGA PARA EL EJE DEL MATERIAL.

Si se considera un acero AISI 1018 para ejes de transmisión con las siguientes características:

$$Sy = 240 \text{ N/mm}^2 = 24.49 \text{ Kg / mm}^2$$

$$Sut = 410 \text{ N/mm}^2 = 41.84 \text{ Kg / mm}^2$$

“Dureza = 126 HB”³⁵ (Ver Anexo K)

Se asume un factor de seguridad (n=3) porque el comportamiento del material en el lugar de la soldadura es incierto.

El material recomendado para las características del eje es AISI 1018 de las siguientes características:

$$Sy = 240 \text{ N/mm}^2 = 24.49 \text{ Kg / mm}^2$$

$$Sut = 410 \text{ N/mm}^2 = 41.84 \text{ Kg / mm}^2$$

³⁴ SHINGLEY, Joseph Edward, Op. Cit p. 732

³⁵ Catálogo de BOHLER e IBCA

La ecuación para el límite a fatiga está dada por:

$$Se = Se' \times ka \times kb \times kc \times kd \times ke \times kf \quad (\text{Ec. 3.25})^{36}$$

Dónde:

Se = Límite de resistencia a la fatiga del elemento mecánico.

Se' = Límite de resistencia a la fatiga de la muestra de viga rotatoria.

ka = Factor de superficie.

kb = Factor de tamaño.

kc = Factor de confiabilidad.

kd = Factor de temperatura.

ke = Factor de modificación por concentración de esfuerzos.

kf = Factor de efectos diversos.

Sut = Resistencia última a la tracción.

$$Se' = 0.5 Sut \quad (\text{Ec. 3.26})^{37}$$

$$Se' = 0.5 \times 41.84 \text{ Kg} / \text{mm}^2$$

$$Se' = 20.92 \text{ Kg} / \text{mm}^2$$

“El k_a se encuentra con el acabado superficial y el Sut ”³⁸ (Ver Anexo L).

Con $Sut = 410 \text{ MPa} = 0.41 \text{ GPa}$ y maquinado se obtiene:

$$ka = 0.78$$

³⁶SHINGLEY, Joseph Edward, Op. Cit. p. 307

³⁷Idem. p. 294

³⁸ Idem. P 308

Para un eje que se encuentre a flexión y torsión se utiliza la siguiente ecuación:

$$k_b = 0.869 d^{-0.097} \quad (\text{Ec. 3.27})^{39}$$

Esta ecuación está dada para cuando el diámetro del eje se encuentra en un rango entre:

$$0.3 \text{ pulg} < d \leq 10 \text{ pulg}$$

$$k_b = 0.869 \times 1.25^{(-0.097)}$$

$$k_b = 0.85$$

$$k_c = 0.897^{40} \quad (\text{Ver Anexo M})$$

“Se determina que para hallar (kd) se utiliza una de las siguientes expresiones según el uso del eje”⁴¹

$$k_d = \begin{cases} 1.0 & T \leq 450 \text{ }^\circ\text{C} \\ 1 - 5.8(10)^{-3}(T - 450) & 450 \text{ }^\circ\text{C} < T \leq 550 \text{ }^\circ\text{C} \\ 1 - 3.2(10)^{-3}(T - 840) & 840 \text{ }^\circ\text{F} < T \leq 1020 \text{ }^\circ\text{F} \end{cases}$$

Como la temperatura a la que trabaja el eje tiene una variación de temperatura despreciable:

$$k_d = 1.0$$

Para calcular el Factor de modificación por concentración de esfuerzos se utiliza la siguiente ecuación:

³⁹SHINGLEY, Joseph Edward, Op. Cit. p. 313

⁴⁰ Idem. p. 319

⁴¹ Idem. p. 313

Para estimar el factor K_e se supone un radio de entalladura de $r = 2\text{mm}$

$$k_e = \frac{1}{k_f} \quad (\text{Ec. 3.28})^{42}$$

$$q = \frac{k_f - 1}{k_t - 1} \quad (\text{Ec. 3.29})^{43}$$

Dónde:

K_f = Factor de reducción de resistencia para fatiga.

q = Sensibilidad a las ranuras o muescas.

K_t = Factor de concentración de esfuerzos, teórico o geométrico.

“El valor de q suele estar entre cero y la unidad la ecuación 3.27 indica que, si $q=0$ entonces $K_f=1$, el material no tiene sensibilidad a las ranuras. Por otra parte si $q=1$ entonces $K_f = K_t$ y el material es completamente sensible”.⁴⁴

“Se determina K_t ingresando con los valores de (D/d) y (r/d) ”⁴⁵ (Ver Anexo N).

Entonces se asume los siguientes datos:

$$D = 31.75 \text{ mm} \quad d = 25.4 \text{ mm}$$

$$r = 2 \text{ mm}$$

Entonces:

$$D/d = 1.25$$

$$r/d = 0.0787$$

⁴²SHINGLEY, Joseph Edward, Op. Cit p. 322

⁴³Idem. p.322

⁴⁴Idem. p. 322

⁴⁵ Idem. p. 886

Sección circular a tracción $K_t = 1.8$

Sección circular a torsión $K_t = 1.5$

Sección circular a flexión $K_t = 1.7$

$$k_e = \frac{1}{K_t' \times K_t'' \times K_t'''} \quad (\text{Ec. 3.30})$$

$$k_e = \frac{1}{1.8 \times 1.5 \times 1.7} = 0.22$$

Entonces si $K_t = K_f$

$$K_t = K_t' \times K_t'' \times K_t'''$$

$$K_t = 4.59$$

$$k_f = 4.59$$

Por lo tanto se calcula el valor de S_e :

$$S_e = 20.92 \times 0.78 \times 0.85 \times 0.897 \times 1 \times 0.22 \times 4.59 \left(\frac{Kg}{mm^2} \right)$$

$$S_e = 12.56 \left(\frac{Kg}{mm^2} \right)$$

Debido a que la torsión y la flexión intervienen en los cálculos es necesario calcular la resistencia de fluencia al cortante del eje, mediante la Teoría de la Energía de distorsión, donde:

$$S_{sy} = 0.577 S_y \quad (\text{Ec. 3.31})^{46}$$

⁴⁶SHINGLEY, Joseph Edward, Op. Cit. p. 352

Dónde:

S_{sy} = Resistencia de fluencia al cortante.

S_y = Resistencia de fluencia.

$$S_{sy} = 0.577 \times 24.49 \text{ Kg} / \text{mm}^2$$

$$S_{sy} = 14.13 \left(\frac{\text{Kg}}{\text{mm}^2} \right)$$

3.3.5.1. LIMITE DE FATIGA A LA CORTADURA CORREGIDA

$$S_{se} = 0.577 S_e \quad (\text{Ec. 3.32})^{47}$$

Dónde:

S_{se} = Limite de fatiga a la cortadura corregida.

S_e = Límite de resistencia a la fatiga del elemento mecánico

$$S_{se} = 0.577 \times 12.56 \left(\frac{\text{Kg}}{\text{mm}^2} \right)$$

$$S_{se} = 7.25 \left(\frac{\text{Kg}}{\text{mm}^2} \right)$$

3.3.6. DIÁMETRO

$$D_e = \left(\frac{32 M_n}{\pi x S_e} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$D_e = \left(\frac{32 \times 1320.95 \text{ Kg} - \text{mm} \times 3}{\pi \times 12.56 \text{ Kg/mm}^2} \right)^{\frac{1}{3}}$$

⁴⁷ SHINGLEY, Joseph Edward, Op. Cit p. 352

$$De = 14.75 \text{ mm}$$

Verificación del diámetro según el método de SODERBERG.

$$De = \left\{ \frac{32n}{\pi} \left[\left(\frac{T}{Sy} \right)^2 + \left(\frac{M}{Se} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right\}^{\frac{1}{3}} \quad (\text{Ec. 3.33})^{48}$$

Dónde:

n = Factor de seguridad. (n = 3)

De = Diámetro del eje

T= Torque (T = 541.63 kg-mm)

M = Momento máximo en el eje (M = 1320.95 Kg-mm)

Se = Límite de resistencia a la fatiga del elemento mecánico (12.56 $\frac{\text{Kg}}{\text{mm}^2}$)

Sy = Resistencia de fluencia (Sy = 24.49 Kg / mm²)

$$De = \left\{ \frac{32 \times 3}{\pi} \left[\left(\frac{541.63 \text{ kg} - \text{mm}}{24.49 \text{ Kg} / \text{mm}^2} \right)^2 + \left(\frac{1320.95 \text{ Kg} - \text{mm}}{12.56 \left(\frac{\text{Kg}}{\text{mm}^2} \right)} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right\}^{\frac{1}{3}}$$

$$De = 14.86 \text{ mm}$$

Se asume un diámetro d= 20 mm por facilidad de construcción y montaje.

3.3.7. FUERZA AXIAL MÁXIMA

La fuerza axial máxima se obtiene al aplicar la presión de forja cuyo valor se encuentra entre 7.75 y 15.50 Kg /mm², la cual debe ser considerada en el cálculo.

$$F_{max} = P \times A_{probeta} \quad (\text{Ec. 3.34})$$

⁴⁸SHINGLEY, Joseph Edward, Op. Cit. p. 736

Considerando el valor máximo de presión de forja se obtiene:

$$F_{max} = 15.5 \frac{Kg}{mm^2} \times \frac{\pi \times (15 \text{ mm})^2}{4}$$

$$F_{max} = 2739.07 \text{ Kg}$$

La fuerza se aplica con el motor apagado.

3.3.8 FACTOR DE SEGURIDAD DEL EJE.

$$\sigma = \frac{F_{max}}{A} \quad (\text{Ec. 3.35})^{49}$$

Dónde:

Fmax= Fuerza máxima de forja.

A= Área de la sección del eje.

$$\sigma = \frac{2739.07 \text{ Kg}}{\frac{\pi \times (20 \text{ mm})^2}{4}}$$

$$\sigma = 8.72 \frac{Kg}{mm^2}$$

Dónde:

Fs= Factor de seguridad.

Sy=Límite de fluencia del material

σ = Esfuerzo permisible

$$F_s = \frac{S_{y_{mat.}}}{\sigma} \quad (\text{Ec.3.36})^{50}$$

$$F_s = \frac{24.49 \frac{Kg}{mm^2}}{8.72 \frac{Kg}{mm^2}} = 2.8$$

⁴⁹SHINGLEY, Joseph Edward, Op. Cit. p. 335

⁵⁰Idem. p. 346

3.4. CHAVETAS

Se diseñará dos chavetas para diámetros de 20 mm y 30 mm.

Parámetros de la chaveta:

- **Material de la chaveta:** Acero A37
- **Resistencia a la fluencia:** $S_y = 23.5 \text{ Kg/mm}^2$
- **Factor de seguridad** ($F_s = 3$).
- **Momento torsor** $T = 541.63 \text{ Kg} - \text{mm}$.
- **Fuerza de corte de la chaveta** F_{cc}

3.4.1. Diámetro 20 mm.

$$F_{cc} = \frac{2T}{d} \quad (\text{Ec.3.37})^{51}$$

$$F_{cc} = \frac{2 \times 541.63 \text{ Kg} - \text{mm}}{20\text{mm}}$$

$$F_{cc} = 54.16 \text{ Kg}$$

3.4.1.1. ESFUERZO ADMISIBLE DE FLEXIÓN.

$$\sigma_{adm} = \frac{0.577 \times S_y}{F_s} \quad (\text{Ec. 3.38})^{52}$$

$$\sigma_{adm} = \frac{0.577 \times 23.5 \text{ Kg/mm}^2}{3}$$

$$\sigma_{adm} = 4.52 \text{ Kg/mm}^2$$

⁵¹SHINGLEY, Joseph Edward, Op. Cit. p. 422-425

⁵²Ídem. p. 422-425

3.4.1.2. CÁLCULO DE LA LONGITUD DE LA CHAVETA.

$$\sigma_{adm} = \frac{F_{cc}}{A}$$

$$\sigma_{adm} = \frac{F_{cc}}{L \times b}$$

$$L = \frac{54.16 \text{ Kg}}{4.52 \text{ Kg/mm}^2 \times 6 \text{ mm}}$$

$$L = 1.99 \text{ mm}$$

Como L es muy pequeño se elige un L= 6 mm.

Volviendo a calcular:

$$\sigma_{adm} = \frac{F_{cc}}{L \times b}$$

$$\sigma_{adm} = \frac{54.16 \text{ Kg}}{6 \text{ mm} \times 6 \text{ mm}}$$

$$\sigma_{adm} = 1.5 \text{ Kg/mm}^2$$

$$\sigma_{adm} = \frac{0.577 \times S_y}{F_s}$$

$$F_s = \frac{0.577 \times 23.5 \text{ Kg/mm}^2}{1.5 \text{ Kg/mm}^2}$$

$$F_s = 9.03$$

Por lo tanto, la chaveta con una longitud L=6mm y un ancho b=6 mm tiene un Fs = 9.03.

3.4.2. Diámetro 30 mm.

$$F_{cc} = \frac{2T}{d}$$

$$F_{cc} = \frac{2 \times 541.63 \text{ Kg} - \text{mm}}{30\text{mm}}$$

$$F_{cc} = 36.1 \text{ Kg}$$

3.4.2.1. ESFUERZO ADMISIBLE DE FLEXIÓN.

$$\sigma_{adm} = \frac{0.577 \times S_y}{F_s}$$

$$\sigma_{adm} = \frac{0.577 \times 23.5 \text{ Kg/mm}^2}{3}$$

$$\sigma_{adm} = 4.52 \text{ Kg/mm}^2$$

$$\sigma_{adm} = \frac{F_{cc}}{A}$$

3.4.2.2. CÁLCULO DE LA LONGITUD DE LA CHAVETA.

$$\sigma_{adm} = \frac{F_{cc}}{L \times b}$$

$$L = \frac{36.1 \text{ Kg}}{4.52 \text{ Kg/mm}^2 \times 6 \text{ mm}}$$

$$L = 1.33 \text{ mm}$$

Por facilidad de construcción se elige un $L=6\text{ mm}$.

Volviendo a calcular:

$$\sigma_{adm} = \frac{F_{cc}}{L \times b}$$

$$\sigma_{adm} = \frac{36.1\text{ Kg}}{6\text{ mm} \times 6\text{ mm}}$$

$$\sigma_{adm} = 1\text{ Kg/mm}^2$$

$$\sigma_{adm} = \frac{0.577 \times S_y}{F_s}$$

$$F_s = \frac{0.577 \times 23.5\text{ Kg/mm}^2}{1\text{ Kg/mm}^2}$$

$$F_s = 13.55$$

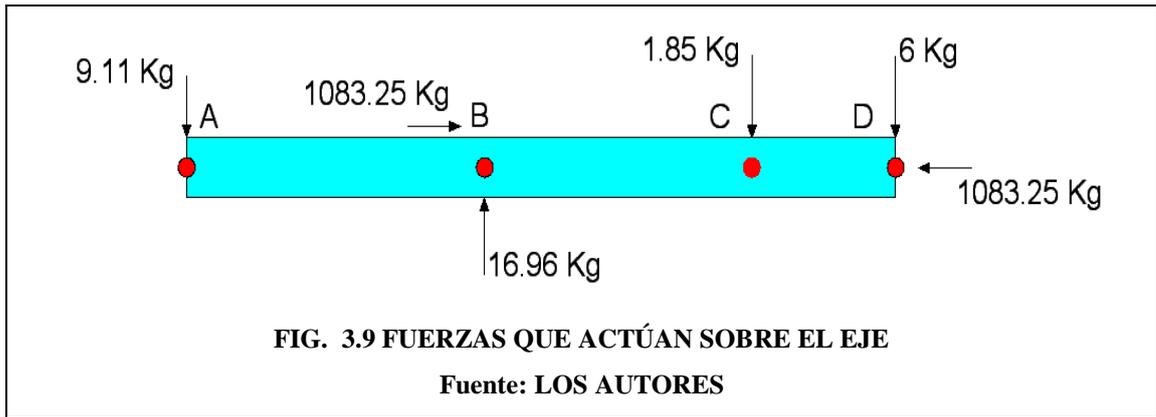
Por lo tanto, la chaveta con una longitud $L=6\text{mm}$ y un ancho $b=6\text{mm}$ tiene un $F_s = 15.55$.

3.5. RODAMIENTOS.

Los rodamientos van a estar girando a 2300 rpm por lo que se seleccionan considerando la capacidad de carga dinámica.

Debido a que los rodamientos absorben cargas radiales y axiales se recomienda para la construcción rodamientos de rodillos cónicos o rodamientos de bolas con contacto angular.

Para el diseño se considerara rodamientos de rodillos cónicos por su bajo costo y fácil montaje. En la figura 3.9 se muestra las fuerzas que actúan en el eje.



Como se puede observar en el punto B de la figura 3.9 es donde mayor fuerza tanto radial como axial estará soportando el eje.

Para calcular la carga equivalente dinámica se utiliza la formula:

$$P_o = x Fr + y Fa \quad (\text{Ec.39})^{53}$$

Dónde:

P_o = Carga equivalente.

F_r = Carga radial = 16.96 Kg.

F_a = Carga axial = 1083.25 Kg.

X = Factor radial.

Y = Factor axial.

Para calcular la carga equivalente dinámica se utiliza la formula:

$$\frac{Fa}{fr} \leq e \quad \text{Entonces } X = 1; Y = 0$$

$$\frac{Fa}{fr} > e \quad \text{Entonces } X = 0.4; Y = Y_2$$

⁵³ Catalogo NTN p.162

Los valores de e , Y_2 y Y_0 se muestran en la tabla del Catalogo NTN (**Ver Anexo O**).

En el catalogo se encuentra que el valor de $e=0.35$ (**4T-33205**), debido a que el diámetro del eje se lo considerará de 25 mm, se calcula la siguiente relación.

$$\frac{1083.263}{16.96} = 63.87 > e$$

$$Y_2 = 1.71$$

$$Y_0 = 0.94$$

Carga dinámica equivalente radial

$$P_o = (0.4 \times Fr) + (1.71 \times Fa)$$

$$P_o = (0.4 \times 16.96) + (1.71 \times 1083.263)$$

$$P_o = 1859.16 \text{ kg}$$

Carga estática equivalente radial

$$P_{or} = (0.5 \times Fr) + (Y_0 \times Fa)$$

$$P_{or} = (0.5 \times 16.96) + (0.94 \times 1083.263)$$

$$P_{or} = 1026.74 \text{ kg}$$

3.5.1. VIDA NOMINAL BÁSICA.

$$L_{10h} = \frac{10^6}{60xn} \times \left(\frac{Cd}{Po}\right)^p \quad (\text{Ec. 3.40})^{54}$$

Dónde:

L_{10h}: Duración nominal en horas de servicio.

N: Velocidad de rotación en rpm.

Cd: Capacidad de carga dinámica.

p: exponente de la formula de duración; siendo p= 10/3 para los rodamientos de rodillos.

“Se toma $L_{10h} = 4000$, para equipos que se utiliza durante tiempos cortos e intermitentes pero con requerimiento de alta confiabilidad”⁵⁵ (Ver Anexo O).

$$Cd = \sqrt[10]{P^{10} \times \sqrt[3]{\frac{60 \times n \times L_{10h}}{1000000}}}$$

$$Cd = \sqrt[10]{(1857.103)^{10} \times \sqrt[3]{\frac{60 \times 2300 \times 4000}{1000000}}}$$

$$Cd = 2292.102 \text{ kg}$$

La selección la realizamos en base al diámetro del eje del Catalogo (**Ver Anexo O**).

Denominación: 4T-32005x

Cd: 2830 kg

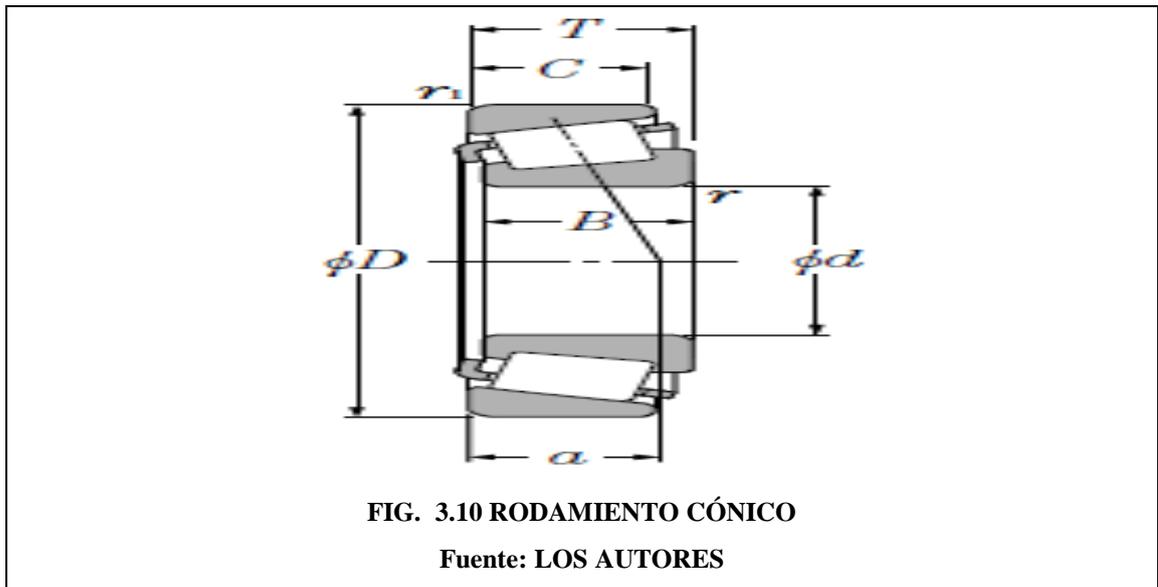
D: 47 mm

d: 25 mm

⁵⁴ Catálogo SKF. P 358

⁵⁵ Catalogo General de NTN.

En la figura 3.10 se muestra la simbología de las dimensiones del rodamiento cónico.



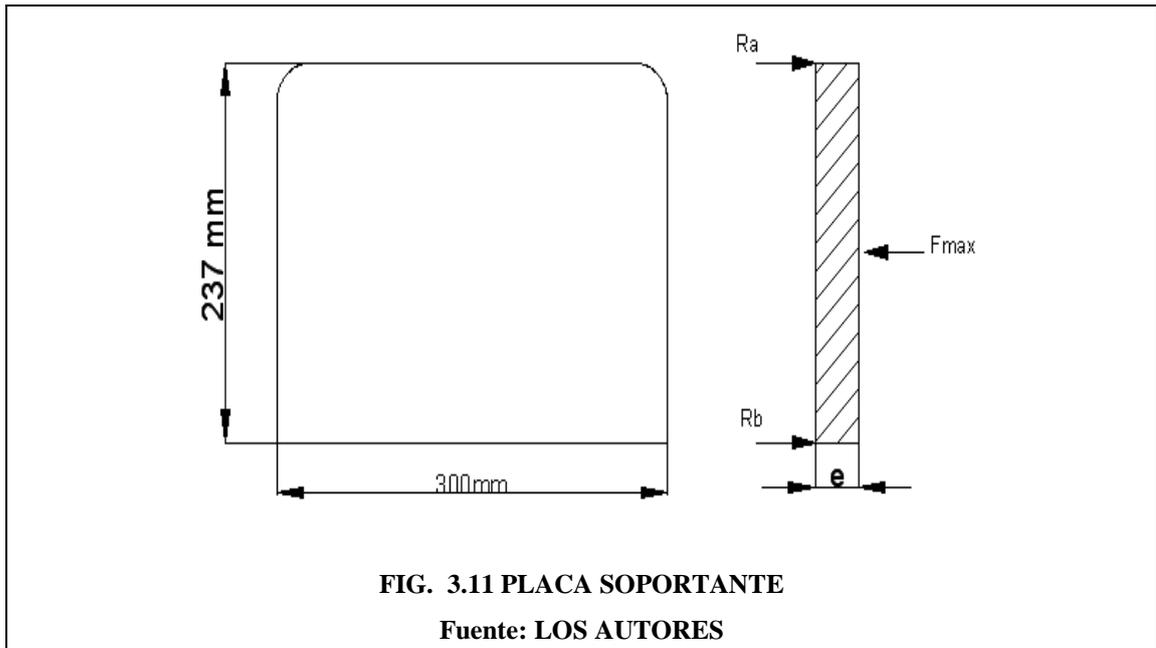
Nota: Con la finalidad de evitar cambios bruscos en las dimensiones del eje se decidió colocar rodamientos del mismo tipo en los apoyos del eje.

Según catálogos de rodamientos se utilizará $d= 25$ mm en la sección crítica del eje, esto proporcionará mayor seguridad del equipo al momento de la soldadura.

3.6. PLACAS SOPORTANTES.

Consideraciones de diseño.

- En la figura 3.11 se puede observar que las 4 placas que conforman la máquina están sometidas a cargas similares por lo que se realizará el cálculo de una de las placas en las condiciones propuestas.
- A la placa se la considera como un elemento continuo que no posee agujeros de las medidas mostradas en la figura 3.11.



- Para el diseño se considera una placa rectangular apoyada en sus extremos.
- Se usará acero ATSM A 36 con un ($S_y = 25.34 \text{ Kg/mm}^2$).

$$S_m = k \frac{F_{\max}}{e^2} \quad (\text{Ec. 3.41})^{56}$$

Dónde:

S_m= Esfuerzo máximo.

F_{max}= Fuerza axial máxima sobre la placa ($F_{\max} = 2739.07 \text{ Kg}$).

e= Espesor de la placa.

“k= Coeficiente para placas rectangulares (Ingresando con R_1/r_2)”⁵⁷ (Ver Anexo P).

Dónde:

⁵⁶BAUMEISTER, Theodore y AVALONE Eugene, *MANUAL DEL INGENIERO MECÁNICO*, Segunda Edición Vol. 1, MCGRAW-HILL, P. 5.51

⁵⁷ BAUMEISTER, Theodore y AVALONE Eugene., Op. Cit. p.551

R_1 = dimensión más larga de la placa.

r_2 = dimensión más corta de la placa.

$$\frac{R_1}{r_2} = \frac{300 \text{ mm}}{237 \text{ mm}} = 1.27$$

$$k = 0.387$$

Entonces:

$$e = \sqrt[2]{k \frac{F_{\max}}{S_m}}$$

$$e = \sqrt[2]{0.387 \frac{2739.07 \text{ Kg}}{25.34 \frac{\text{Kg}}{\text{mm}^2}}}$$

$$e = 6.46 \text{ mm}$$

Para el diseño se elige un $e = 12 \text{ mm}$ para evitar flexión en la placa, por facilidad de construcción y montaje.

Entonces se verifica el S_m con espesor de 12 mm :

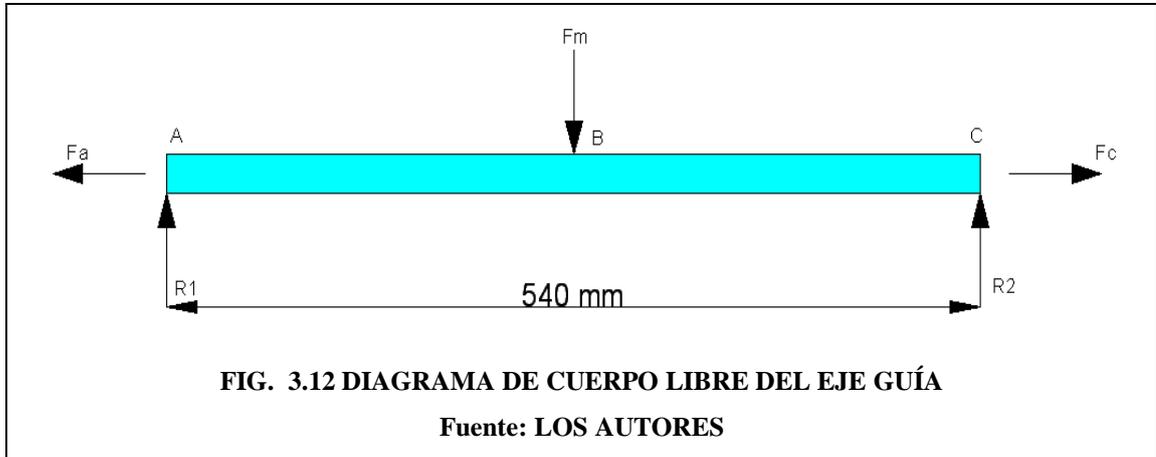
$$S_{md} = 0.387 \frac{2739.07 \text{ Kg}}{(12 \text{ mm})^2}$$

$$S_{md} = 7.36 \frac{\text{Kg}}{\text{mm}^2}$$

Por lo tanto el espesor elegido es el correcto ya que el $S_{md} \leq S_y$ del material.

3.7. EJES GUÍAS DE LAS PLACAS.

El eje soportara el peso del mandril y el torque que se produce durante el calentamiento como se indica en la figura 3.12.



La carga más crítica se produce cuando el mandril móvil se ubica en la mitad del eje.

$$\sum Fv = 0$$

$$R1 + R2 - Fm = 0 \quad (c)$$

$$\sum M_{R1} = 0$$

$$540 \text{ mm} \times R2 - Fm(270 \text{ mm}) = 0$$

$$R2 = \frac{Fm(270 \text{ mm})}{540 \text{ mm}}$$

$$R2 = \frac{Fm}{2}$$

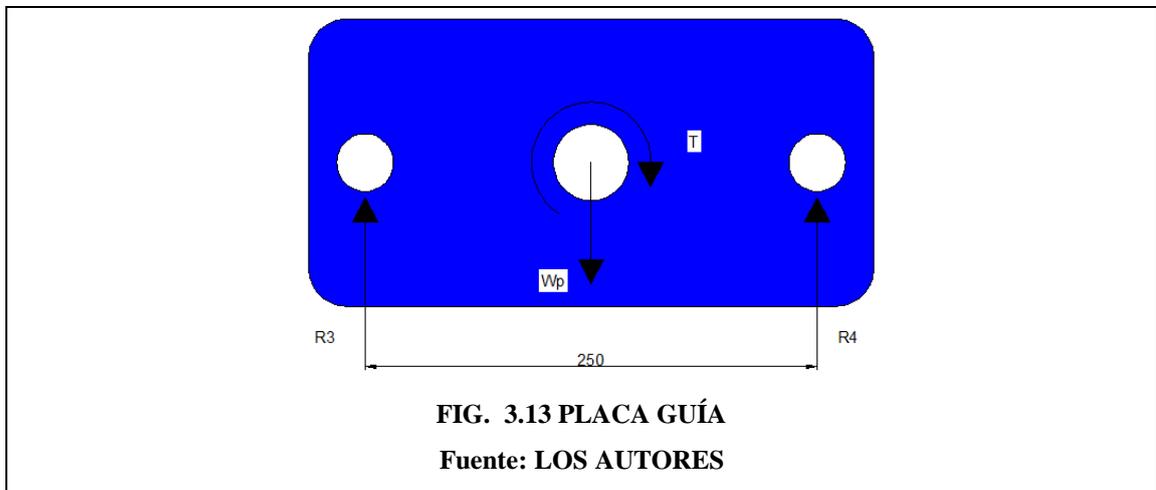
Remplazando en (c)

$$R1 = Fm - \frac{Fm}{2}$$

$$R1 = \frac{Fm}{2}$$

3.7.1. CÁLCULO DINÁMICO

En la figura 3.13 se muestra las fuerzas que actúan sobre los ejes guías.



Dónde:

$$Wp = 6 \text{ Kg}$$

$$T = 541.63 \text{ Kg} \cdot \text{mm}$$

$$\sum Fv = 0$$

$$R3 + R4 = Wp \quad (d)$$

$$\sum M_{R3} = 0$$

$$T - 300 \text{ mm} \times R4 + Wp(150 \text{ mm}) = 0$$

$$R4 = \frac{6 \text{ Kg}(150 \text{ mm}) + 541.63 \text{ Kg} \cdot \text{mm}}{300 \text{ mm}}$$

$$R4 = 4.8 \text{ Kg}$$

Remplazando en (d)

$$R3 = Wp - R4$$

$$R3 = 6 \text{ Kg} - 4.8 \text{ Kg}$$

$$R3 = 1.2 \text{ Kg}$$

Para el cálculo del eje se considera el valor máximo de reacción (R4) que es igual a F_m el cual producirá la flexión máxima en el medio del eje.

Entonces:

$$R4 = F_m = 4.8 \text{ Kg}$$

$$R1 = \frac{F_m}{2}$$

$$R1 = \frac{4.8 \text{ Kg}}{2}$$

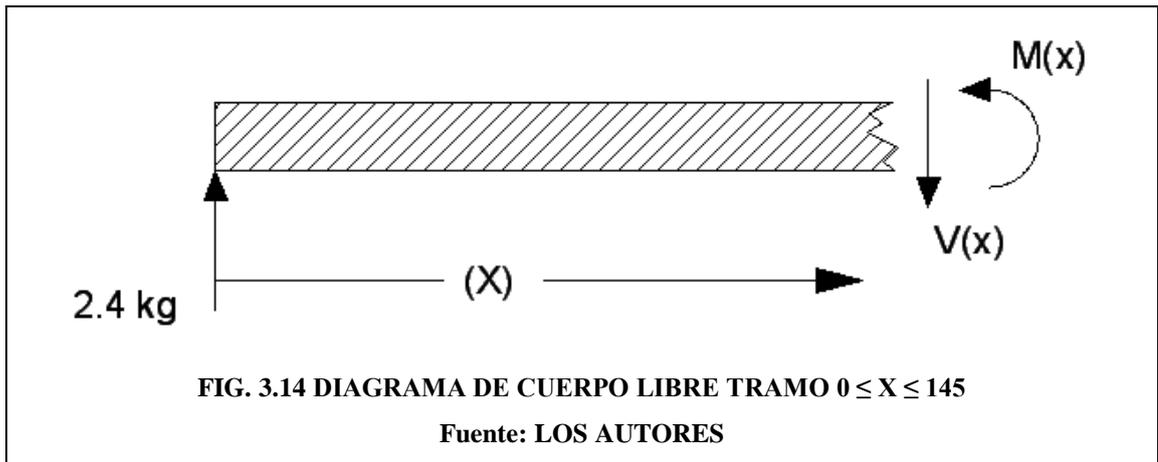
$$R1 = 2.4 \text{ Kg}$$

$$R2 = 2.4 \text{ Kg}$$

3.7.2. CÁLCULO DE FUERZAS CORTANTES Y MOMENTOS FLEXIONANTES DEL EJE GUÍA.

En la figura 3.14 se muestra el diagrama de cuerpo libre del eje guía para el cálculo de fuerzas cortantes y momentos flexionantes.

Tramo $0 \leq X \leq 150$



$$\sum FV=0$$

$$V(x)-2.4 \text{ Kg}=0$$

$$V(x)=2.4 \text{ Kg}$$

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

$$M(x)-2.4(x)=0$$

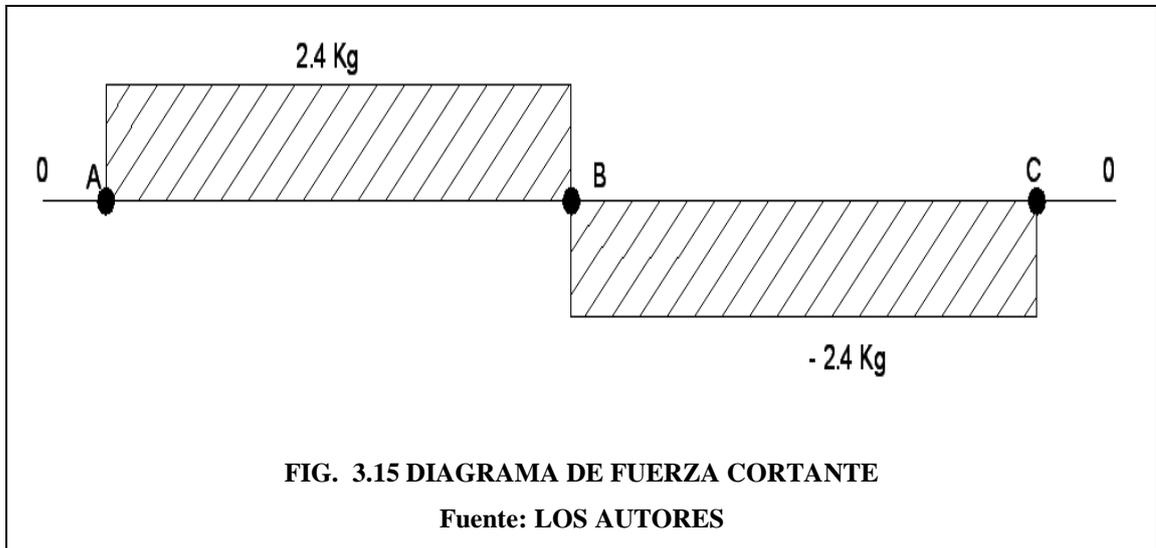
$$M(x)=2.4 x$$

Entonces:

Para $X= 0 \text{ mm}$	$M(x) = 0$
Para $X= 150 \text{ mm}$	$M(x) = 360 \text{ Kg-mm}$

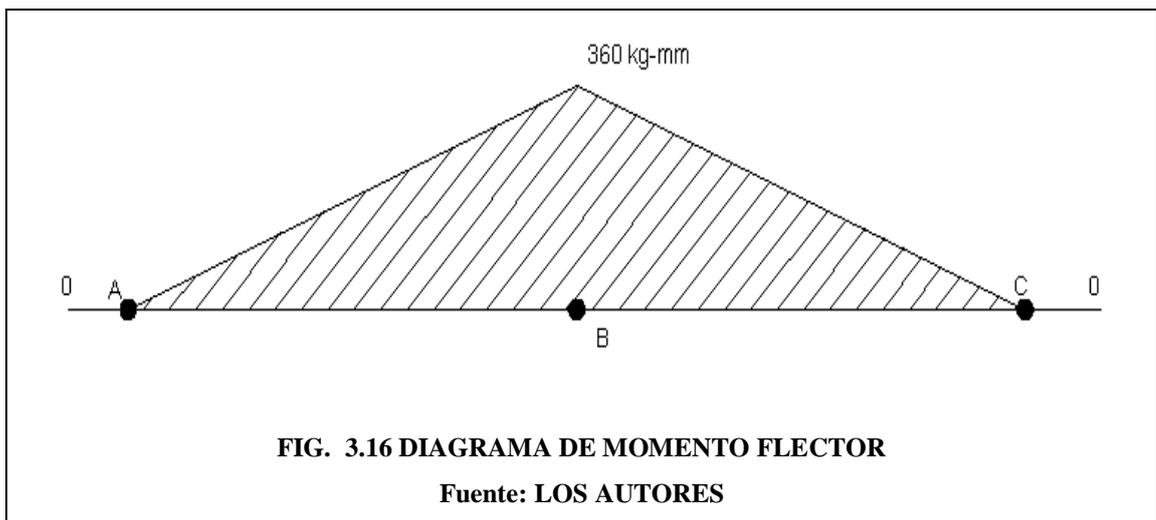
3.7.2.1. DIAGRAMA DE FUERZA CORTANTE.

En la figura 3.15 se muestra la máxima fuerza cortante producida en el eje guía.



3.7.2.2. DIAGRAMA DE MOMENTO FLECTOR.

En la figura 3.16 se muestra el máximo momento flector producido en el eje guía.



Para el cálculo dinámico el esfuerzo máximo admisible se debe considerar la suma del esfuerzo producido por el torque y el esfuerzo producido por la fuerza de calentamiento que son los que van a actuar cuando el equipo se encuentra accionado.

$$\sigma_{max} = \sigma_T + \sigma_f \quad (\text{Ec 3.42})^{58}$$

$$\sigma_{max} = \frac{Mx C}{I} + \frac{\frac{F}{2}}{A}$$

$$\sigma_{max} = \frac{Mx \frac{d}{2}}{\frac{\pi x d^4}{64}} + \frac{\frac{F}{2}}{\frac{\pi x d^2}{4}}$$

$$\sigma_{max} = \frac{360 \text{ Kg} - \text{mm} x \frac{d}{2}}{\frac{\pi x d^4}{64}} + \frac{\frac{1083.25 \text{ Kg}}{2}}{\frac{\pi x d^2}{4}}$$

$$\sigma_{max} = \frac{3666.92 \text{ Kg} - \text{mm}}{d^3} + \frac{689.62 \text{ Kg}}{d^2}$$

Si se considera un acero AISI 1018 para ejes de transmisión con las siguientes características:

$$\mathbf{Sy} = 240 \text{ N/mm}^2 = 24.49 \text{ Kg} / \text{mm}^2$$

$$\mathbf{Sut} = 410 \text{ N/mm}^2 = 41.84 \text{ Kg} / \text{mm}^2$$

$$\mathbf{Dureza} = 126 \text{ HB}$$

$$\mathbf{D} = 25.4 \text{ mm}$$

⁵⁸SHINGLEY, Joseph Edward, Op. Cit. p. 353

$$\sigma_{max} = \frac{3666.92 \text{ Kg} - \text{mm}}{(25.4 \text{ mm})^3} + \frac{689.62 \text{ Kg}}{(25.4 \text{ mm})^2}$$

$$\sigma_{max} = 1.29 \frac{\text{Kg}}{\text{mm}^2}$$

3.7.3. CÁLCULO ESTÁTICO.

Cuando el motor se encuentra apagado el eje de guiado soporta el peso del mandril y la fuerza de forja (Fmax) aplicada a las probetas.

$$M_{max} = \frac{\frac{W_p}{2} \times l}{4} \quad (\text{Ec. 3.43})$$

$$M_{max} = \frac{\frac{6 \text{ Kg}}{2} \times 300 \text{ mm}}{4}$$

$$M_{max} = 225 \text{ Kg} - \text{mm}$$

$$F_{max} = 2739.07 \text{ Kg}$$

Similar al cálculo anterior:

$$\sigma_{max} = \sigma_M + \sigma_f$$

$$\sigma_{max} = \frac{M \times C}{I} + \frac{F}{A}$$

$$\sigma_{max} = \frac{Mx \frac{d}{2}}{\frac{\pi x d^4}{64}} + \frac{\frac{F}{2}}{\frac{\pi x d^2}{4}}$$

$$\sigma_{max} = \frac{225 \text{ Kg} - \text{mm} x \frac{d}{2}}{\frac{\pi x d^4}{64}} + \frac{\frac{2739.07 \text{ Kg}}{2}}{\frac{\pi x d^2}{4}}$$

$$\sigma_{max} = \frac{2291.83 \text{ Kg} - \text{mm}}{d^3} + \frac{1743.74 \text{ Kg}}{d^2}$$

Si se considera un acero AISI 1018 para ejes de transmisión con las siguientes características:

$$S_y = 240 \text{ N/mm}^2 = 24.49 \text{ Kg} / \text{mm}^2$$

$$S_{ut} = 410 \text{ N/mm}^2 = 41.84 \text{ Kg} / \text{mm}^2$$

Dureza = 126 HB

D = 25.4 mm

$$\sigma_{max} = \frac{2291.83 \text{ Kg} - \text{mm}}{(25.4 \text{ mm})^3} + \frac{1743.74 \text{ Kg}}{(25.4 \text{ mm})^2}$$

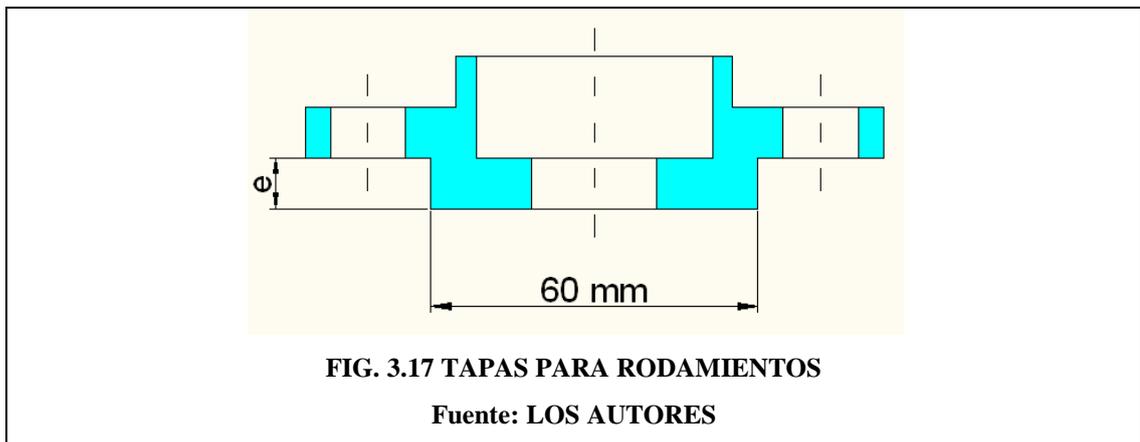
$$\sigma_{max} = 2.84 \frac{\text{Kg}}{\text{mm}^2}$$

Por lo tanto los ejes de guiado serán construidos con un diámetro de 25 mm ya que $\sigma_{max} \leq \sigma_{adm}$ del material elegido.

Estos ejes de guiado se unirán a las placas mediante roscas M20 con sus respectivas tuercas.

3.8. TAPAS PARA RODAMIENTOS.

Debido a la fuerza axial aplicada en el eje que deben soportar los rodamientos se ha optado por construir tapas (ver figura 3.17) que van a estar sostenida por medio de pernos ya que estas no se encuentran en el mercado.



Para la construcción se utilizara un factor de seguridad de 4 debido a las perforaciones que deberá tener el elemento para su sujeción y a que no se considera el esfuerzo a fatiga a que va a ser sometido. El material a utilizarse es un acero ASTM A36.

$$\sigma = \frac{F_{max}}{A}$$

$$\sigma = \frac{F_{max}}{\pi x d x e}$$

Dónde:

F_{max} = Fuerza axial máxima ($F_{max} = 2739.07 \text{ Kg}$)

A = Área del punto crítico de la tapa.

d = diámetro del anillo critico que soporta la carga (d=60mm).

ASTM A36 (Sy= 25.34 Kg/mm²)

$$\sigma = \frac{2739.07 \text{ Kg}}{\pi \times 60 \text{ mm} \times e}$$

$$\sigma = \frac{14.53 \text{ Kg}}{e \text{ mm}} \quad (e)$$

Para obtener el espesor de la placa encontramos el esfuerzo admisible con el factor de seguridad dado.

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

$$\sigma_{adm} = \frac{25.34 \frac{\text{Kg}}{\text{mm}^2}}{4}$$

$$\sigma_{adm} = 6.335 \frac{\text{Kg}}{\text{mm}^2}$$

Como $\sigma_{adm} = \sigma$ remplazo en (e).

$$\sigma_{adm} = \sigma = \frac{14.53 \text{ Kg}}{e \text{ mm}}$$

$$e = \frac{14.53 \frac{\text{Kg}}{\text{mm}}}{6.335 \frac{\text{Kg}}{\text{mm}^2}}$$

$$e = 2.29 \text{ mm}$$

Por facilidad de construcción y montaje se elige un $e = 8\text{mm}$.

$$\frac{14.53 \text{ Kg}}{e \text{ mm}} = \frac{S_y}{F_s}$$

$$F_s = \frac{25.34 \frac{\text{Kg}}{\text{mm}^2} \times 8 \text{ mm}}{14.53 \frac{\text{Kg}}{\text{mm}}}$$

$$F_s = 13.95$$

Como se puede observar el espesor de 8 mm proporciona un mayor factor de seguridad.

3.9. PERNOS DE SUJECIÓN.

El diseño requiere pernos para sujetar las placas principales y las tapas de los rodamientos.

Se realizará el cálculo de un solo perno ya que tanto los pernos de sujeción de la placa como la de las tapas de los rodamientos van a soportar la misma carga axial.

Debido a la fuerza axial ($F_{max} = 2739.07 \text{ Kg}$) que va a soportar el perno se asume un $F_s=2$ para el diseño.

$$\sigma = \frac{F}{A} \times F_s \quad (\text{Ec. 3.44})$$

Dónde:

F= Fuerza axial que soporta cada perno ($F=F_{max}/4$ pernos = 684.77 Kg).

A= Área de la sección del perno.

F_s= Factor de seguridad.

$$\sigma = \frac{684.77 \text{ Kg}}{\frac{\pi \times dn^2}{4}} \times 2$$

$$\sigma = \frac{1743.75 \text{ Kg}}{dn^2}$$

“Se usa un perno SAE grado 1 con un $\sigma_{adm} = 23.2 \text{ Kg/mm}^2$ “⁵⁹ (Ver Anexo Q).

Entonces:

$$dn = \sqrt{\frac{1743.75 \text{ Kg}}{23.2 \text{ Kg/mm}^2}}$$

$$dn = 8.66 \text{ mm}$$

Para la sujeción de las tapas de los rodamientos se utilizaron pernos M10×1.5 (Ver Anexo Q).

$$Fs = \frac{\sigma_{adm}}{\sigma} \quad (\text{Ec. 3.45})$$

$$Fs = \frac{23.2 \text{ Kg/mm}^2}{\frac{871.87 \text{ Kg}}{dn^2}}$$

$$Fs = 2.66$$

Para la sujeción de las placas se utilizaron pernos M12×1.75 para mejorar la estabilidad y seguridad del equipo (Ver Anexo Q).

⁵⁹ SHINGLEY, Joseph Edward, Op. Cit. p.777

$$Fs = \frac{\sigma adm}{\sigma}$$

$$Fs = \frac{23.2 \text{ Kg/mm}^2}{\frac{871.87 \text{ Kg}}{dn^2}}$$

$$Fs = 3.83$$

3.10. FRENOS DE BANDA.

3.10.1. SELECCIÓN DE LA CINTA

Torque necesario de frenado.

$$T_{fre} = I \alpha \quad (\text{Ec. 3.46})^{60}$$

Dónde:

I = Inercia generada por el eje y los elementos sobre el mismo.

α = Aceleración angular promedio del mismo.

En este caso se sumara las inercias generadas por el mandril, las poleas y el eje dándonos una inercia promedio la cual se toma en consideración para el cálculo del torque del freno necesario.

⁶⁰SHINGLEY, Joseph Edward, Op. Cit. p. 779

3.10.1.1. INERCIA DEL MANDRIL.

Se lo considera como un disco sólido.

$$I_m = \frac{m x d^2}{8} \quad (\text{Ec. 3.47})^{61}$$

Dónde:

m = Masa del mandril (6 Kg según fabricante).

d = Diámetro del disco (diámetro mayor del mandril = 120mm).

$$I_m = \frac{6 \text{ Kg} x (120\text{mm})^2}{8}$$

$$I_m = 10800 \text{ kg} - \text{mm}^2$$

3.10.1.2. INERCIA DE LA POLEA.

Se lo considera como un disco sólido.

$$I_p = \frac{m x d^2}{8} \quad (\text{Ec. 3.48})$$

Dónde:

m = Masa del polea (2.4 Kg según fabricante Anexo D).

d = Diámetro del disco (diámetro predominante de la polea = 125mm).

$$I_p = \frac{2.4 \text{ Kg} x (125\text{mm})^2}{8}$$

$$I_p = 4687.5 \text{ kg} - \text{mm}^2$$

⁶¹SHINGLEY, Joseph Edward, Op. Cit. p. 897

3.10.1.3. INERCIA EJE

Se lo considera como una barra sólida.

$$I_e = \frac{m r^2}{2} \quad (\text{Ec. 3.49})^{62}$$

Dónde:

m = Masa del Eje (5 Kg/m según fabricante Anexo K). $L = 300 \approx 1.5 \text{ Kg}$

r = Radio mayor del eje 30 mm

$$I_e = \frac{1.5 \text{ Kg} \times (30\text{mm})^2}{2}$$

$$I_e = 675 \text{ kg} - \text{mm}^2$$

Donde I que será la inercia total generada por los elementos será:

$$I = 0.0197625 \text{ kg} - \text{m}^2$$

La aceleración angular del sistema se la calcula con la siguiente fórmula:

$$W_f = W_i - \alpha \times t \quad (\text{Ec. 3.50})^{63}$$

$$\alpha = \frac{W_i - W_f}{t}$$

Dónde:

W_i = La velocidad angular inicial.

W_f = La velocidad angular final.

t = Tiempo estimado del frenado 2 seg.

⁶²SHINGLEY, Joseph Edward, Op. Cit. p. 897

⁶³SHINGLEY, Joseph Edward, Op. Cit. p. 779

3.10.1.4. VELOCIDAD ANGULAR INICIAL

$$W_i = \frac{v}{r} \quad (\text{Ec. 3.51})$$

Dónde:

v= Velocidad de calentamiento 1.78m/s.

r = Radio (en este caso del elemento de mayor peso en el sistema mandril) 60mm.

$$W_i = \frac{1.78 \text{ m/s}}{0.06 \text{ m}}$$

$$W_i = 29.6667 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

Debido a que el objetivo es detener el eje se considera que $W_o = 0 \text{ rad/s}$

Remplazando los datos en la ecuación se obtiene:

$$\alpha = \frac{W_i - W_f}{t}$$

$$\alpha = \frac{29.667 \frac{\text{rad}}{\text{s}} - 0 \frac{\text{rad}}{\text{s}}}{2 \text{ s}}$$

$$\alpha = 14.83 \frac{\text{rad}}{\text{s}^2}$$

Finalmente se reemplaza los datos de inercia y aceleración angular en la fórmula.

$$T_{fre} = 0.0197625 \text{ kg} - \text{m}^2 \times 14.83 \frac{\text{rad}}{\text{s}^2}$$

$$T_{fre} = 0.293077 \frac{\text{Kg} - \text{m}^2}{\text{s}^2}$$

$$T_{fre} = 0.293077 \text{ N} - \text{m} = 0.029307 \text{ kgf} - \text{m}$$

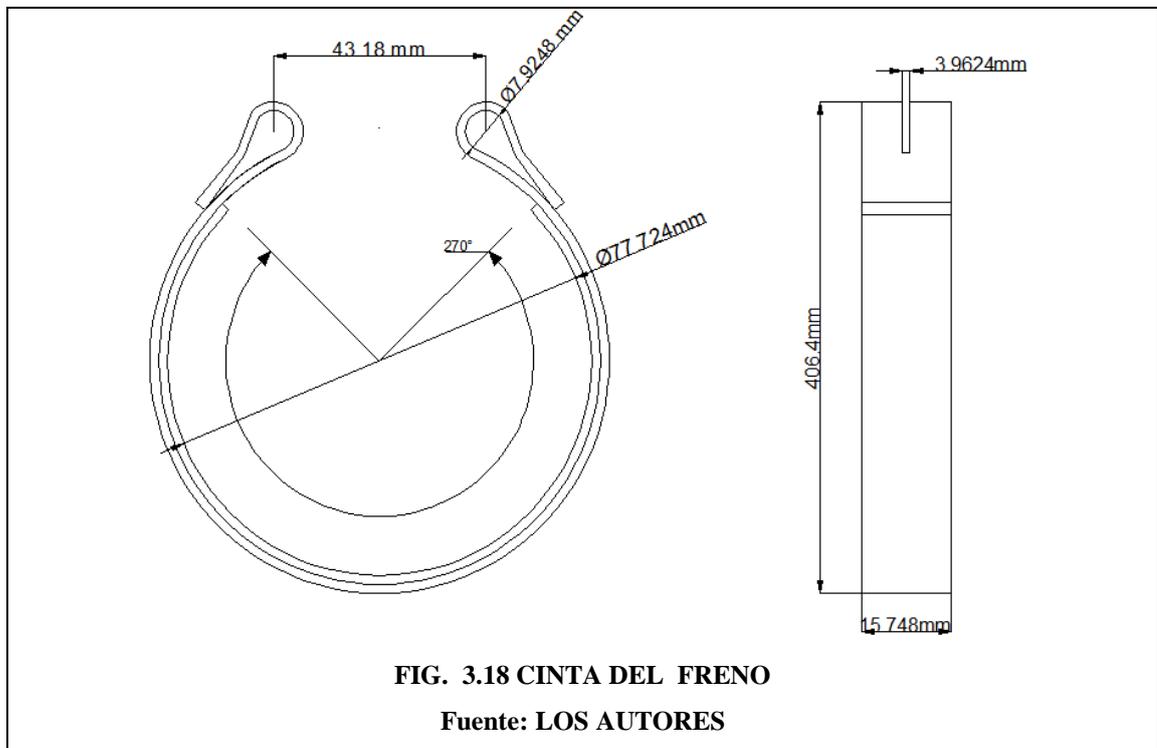
3.10.1.5. CINTA DE FRENO.

“Con el dato anteriormente calculado se selecciona la cinta de frenado”⁶⁴ (Ver Anexo R). en el cual se toma en consideración el torque necesario para el frenado o uno superior para evitar que la cinta falle.

$$T_{fre} = 0.029307 \text{ kgf} - m$$

$$T_{fre} = 2.5384 \text{ lb} - plg$$

Se escoge una cinta de las siguientes características como se muestra en la figura 3.18:



La cinta escogida logra frenar un Torque maximo de 1684 *lb – plg*, que es muy superior al torque antes calculado.

⁶⁴ Catálogo KNOTT BRAKE

3.10.2. TAMBOR.

Como la cinta antes seleccionada se tensa alrededor del tambor se considera el diámetro interior de la cinta como el diámetro del tambor.

$$D_{ex} = 3.04 \text{ plg} \approx 77.216 \text{ mm}$$

El diámetro interior del tambor se lo considera el mismo diámetro del eje donde será montado el disco.

$$D_{in} = 30 \text{ mm}$$

El ancho del tambor se lo considera el mismo ancho de la banda antes seleccionada.

$$e_{tam} = 0.62 \text{ plg} \approx 15.75 \text{ mm}$$

3.10.3. COMPROBACIÓN DE LA SELECCIÓN DE LA CINTA CON TORQUE MÁXIMO GENERADO POR EL MOTOR.

El torque que se necesita detener será el generado por la máquina para el proceso de soldadura.

Entonces:

$$T = 541.63 \text{ Kgf} - \text{mm}$$

$$T = 0.5416 \text{ Kgf} - \text{m} \times \frac{2.2 \text{ lb}}{1 \text{ kgf}} \times \frac{1 \text{ plg}}{0.0254 \text{ m}}$$

$$T = 46.91 \text{ lb} - \text{plg}$$

Se puede observar que el torque necesario para frenar el motor no supera al de la banda antes seleccionada.

3.11. SISTEMA HIDRÁULICO.

Para la selección del sistema hidráulico se toma en consideración el máximo valor de fuerza necesario en el proceso de la soldadura el cual es Presión de forja: 15.5 kg/mm^2

$$F_f = P_f * A_{\text{efec}} \quad (\text{Ec. 3.52})$$

Dónde:

F_f = Fuerza de forja.

P_f = Presión de forja.

A_{efec} = Área efectiva de contacto del cilindro

$$F_f = 15.5 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2} * 176.714 \text{mm}^2$$

$$F_f = 2739.067 \text{ kgf}$$

Por lo que se ha seleccionado una bomba manual P55 y un cilindro C55C del catálogo de acuerdo la fuerza necesaria y la carrera del pistón (**Ver Anexo S**).

3.12. SELECCIÓN DEL RESORTE PARA EL RETORNO DE LA PLACA GUÍA.

El retorno de la placa guía se la realizará por medio de dos resortes exteriores sujetos entre la placa soportante y la placa guía. Para el cálculo partimos de un resorte de las siguientes características mostradas en la figura 3.19:

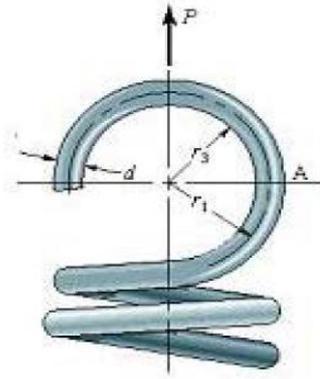


FIG. 3.19 ANILLO DEL RESORTE

Fuente: PIOVA, Marcelo Tulio, *Proyecto Mecánica de Resortes y Elásticos*

Diámetro del alambre $d=0.3$ cm

Longitud del resorte $L= 15$ cm

Diámetro exterior del resorte $D=2.2$ cm

Diámetro interior del resorte $D_i=1.6$ cm

Numero de espiras activas $N_a=36$

$r_1=0.95$ cm

$r_3=0.8$ cm

“Tensión de trabajo admisible para el acero templado $R_c= 1951$ MPa = 19900.2 Kg/cm², módulo de elasticidad por $G= 79.3$ Gpa = 808860 Kg/cm²”⁶⁵ (Ver Anexo T)

La fuerza necesaria para el retorno a la posición inicial se la toma de forma empírica $F_b= 30$ kg

Con el Índice del resorte “Cr” se elige una tensión de precarga en la figura 3.20 entonces:

$$Cr = \frac{D}{d} \quad (\text{Ec 3.53})^{66}$$

$$Cr = \frac{2.2 \text{ cm}}{0.3 \text{ cm}} = 7.3$$

⁶⁵ PIOVA, Marcelo Tulio, Proyecto Mecánica de Resortes y Elásticos.p5

⁶⁶Ídem. p. 6

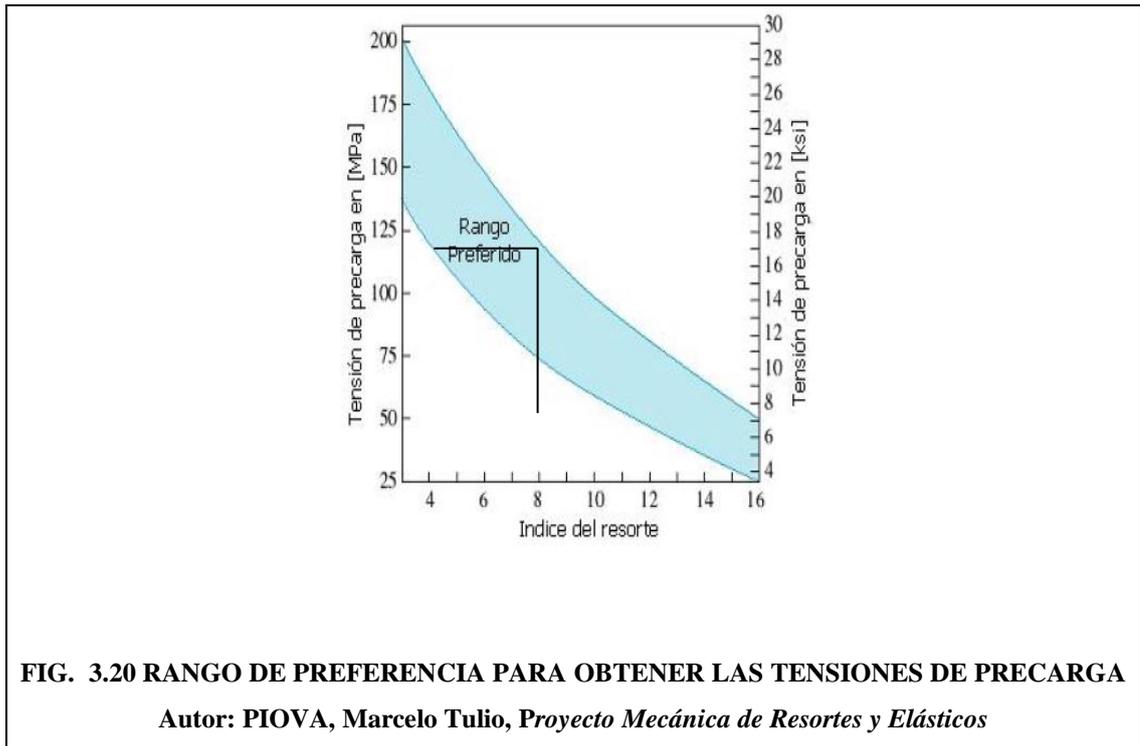


FIG. 3.20 RANGO DE PREFERENCIA PARA OBTENER LAS TENSIONES DE PRECARGA
Autor: PIOVA, Marcelo Tulio, Proyecto Mecánica de Resortes y Elásticos

$$\sigma = 100 \text{ Mpa} = 1020 \frac{\text{Kg}}{\text{mm}^2}$$

Por lo tanto la precarga es:

$$P_i = \frac{\sigma \times \pi \times d^3}{8D} \quad (\text{Ec. 3.54})^{67}$$

$$P_i = \frac{1020 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} \times \pi \times (0.3 \text{ cm})^3}{8 \times 2.2 \text{ cm}}$$

$$P_i = 4.92 \text{ Kg}$$

⁶⁷PIOVA, Marcelo Tulio, Op. Cit. p12

3.12.1. CONSTANTE DEL RESORTE

$$K = \frac{G x (d)^4}{8 x N_a x (D)^3} \quad (\text{Ec. 3.55})^{68}$$

$$K = \frac{808860 \frac{Kg}{cm^2} x (0.3 \text{ cm})^4}{8 x 36x (2.2 \text{ cm})^3}$$

$$K = 2.14 \frac{Kg}{cm}$$

3.12.2. DEFLEXIÓN DEL RESORTE

$$k = \frac{P - P_i}{\delta} \quad (\text{Ec. 3.56})^{69}$$

$$\delta = \frac{P - P_i}{k}$$

$$\delta = \frac{30 \text{ Kg} - 4.92 \text{ Kg}}{2.14 \frac{Kg}{cm}} = 11.71 \text{ cm}$$

3.12.3 TENSIÓN DE DISEÑO

$$Rd = \frac{32 x P x r_1}{\pi x d^3} \left(\frac{r_1}{r_3} \right) + \frac{4 P}{\pi x d^2} \quad (\text{Ec 3.58})^{70}$$

$$Rd = \frac{32 x 30 \text{ Kg} x 0.95 \text{ cm}}{\pi x (0.3 \text{ cm})^3} \left(\frac{0.95}{0.8} \right) + \frac{4 x 30 \text{ Kg}}{\pi x (0.3 \text{ cm})^2}$$

$$Rd = 12767.76 \frac{Kg}{cm^2} + 424.41 \frac{Kg}{cm^2}$$

⁶⁸PIOVA, Marcelo Tulio, Op. Cit. p12

⁶⁹Idem. p.12

⁷⁰Idem. p.13

$$Rd = 13192.173 \frac{Kg}{cm^2} = 1293.3 Mpa$$

Por lo tanto el resorte a utilizar es factible ya que la tensión de diseño Rd es muy inferior a la tensión del material Rc

3.13. SISTEMA ELÉCTRICO.

La máquina cuenta con un sistema eléctrico que nos permite controlar el encendido y apagado del motor, para esto se utiliza un sistema de relé el cual permite encender de manera manual de una forma segura.

El circuito de control manual comanda el motor a través de los siguientes elementos:

Pulsantes $b0$ y $b1$:

$b0$: Pulsante normalmente abierto de paro que detiene totalmente el funcionamiento del motor.

$b1$: Pulsante normalmente abierto de encendido que enciende el motor para cumplir el ciclo de funcionamiento.

$T1$: Temporizador para seleccionar el tiempo de funcionamiento necesario del motor para la realización del proceso de soldadura.

$H1$: Luz piloto que indica el arranque del motor.

$H2$: Luz piloto que indica que se ha cumplido el tiempo programado del temporizador y que el motor dejó de funcionar.

$e1$: Relé térmico mecanismo que sirve como elemento de protección del motor contra las sobrecargas débiles y prolongadas. Su misión consiste en desconectar el circuito evitando que el bobinado del motor se quemara.

$R1$: Relé auxiliar que permite encender o apagar la luz piloto $H1$.

$MS1$: Fin de carrera permite apagar el motor en caso de emergencia.

$M3$: Motor trifásico.

3.13.1. FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA ELÉCTRICO.

Una vez ubicadas las probetas en los mandriles de sujeción, se procede a programar el tiempo necesario de encendido del motor con la perilla del temporizador de acuerdo a los parámetros establecidos para cada tipo de material pudiendo variar entre 0 a 60 segundos.

Luego se procede a encender el motor con el pulsante b1 el cual pondrá en funcionamiento el temporizador T1 y encenderá la luz piloto H1.

Una vez transcurrido el tiempo programado en T1 se encenderá la luz piloto H2 que indicará que el motor se apagó, se debe aplicar el freno para ayudar a detener el motor de manera instantánea.

En la figura 3.21 se muestran los diagramas de fuerza y de mando del sistema eléctrico.

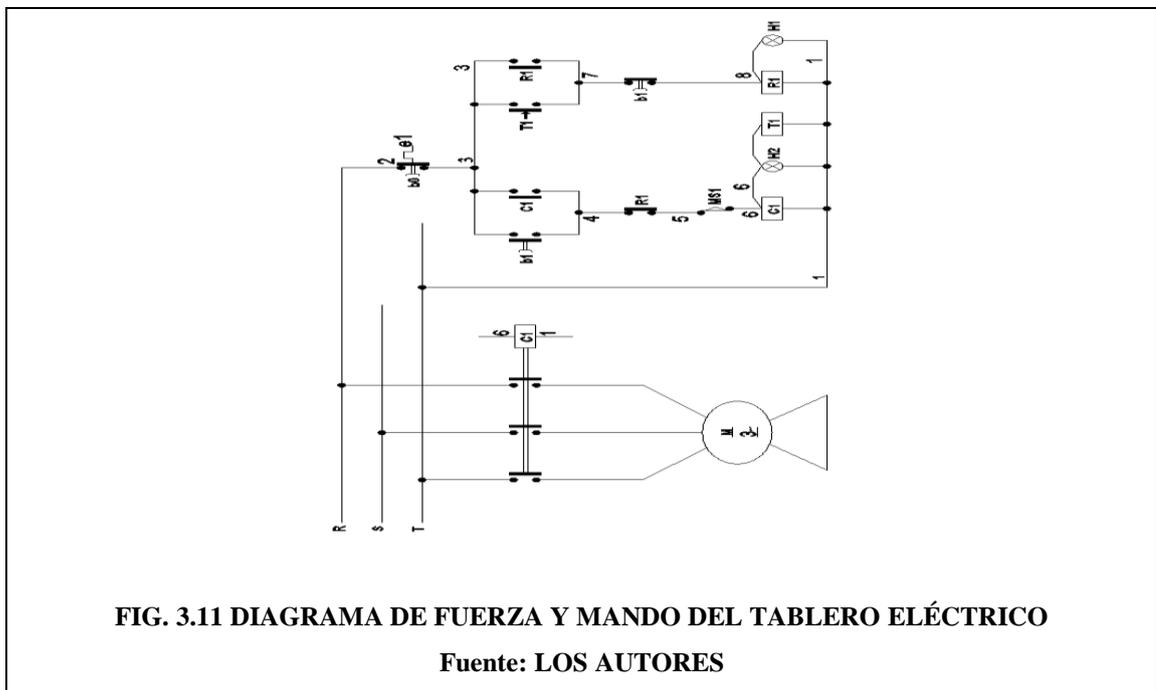


FIG. 3.11 DIAGRAMA DE FUERZA Y MANDO DEL TABLERO ELÉCTRICO

Fuente: LOS AUTORES

CAPÍTULO IV

4. ENSAYOS DE LA MÁQUINA

Después de haber concluido con la construcción de la máquina se realizaron las pruebas de funcionamiento con diversos materiales.

Estos ensayos se realizaron cumpliendo con los parámetros investigados y expuestos en esta tesis, la finalidad del proyecto es la unión de los materiales a través de la soldadura por fricción y la comparación de la resistencia a la tracción del material antes y después de la soldadura.

Para realizar los ensayos de la resistencia a la tracción de las probetas se trabajará en un diámetro de 10 mm.

4.1. VARIABLES DE SOLDADURA.

Como se detalló en el capítulo 3 el análisis de las variables que intervienen en el proceso están relacionadas con el acero ya que este es el material más crítico al momento de soldar por este motivo para realizar los ensayos se partió de los siguientes datos:

- Velocidad tangencial: Entre 1.27 m/s a 1.78 m/s.
- Presión de calentamiento: Entre 3.17 a 6.13 kg/mm²
- Presión de forja: Entre 7.75 a 15.5 kg/mm²

4.2. PRUEBAS DE SOLDADURA

Las pruebas se realizaron en probetas de dos diámetros diferentes, en materiales como acero, cobre y aluminio. La unión se realizó como se indica en las siguientes tablas:

4.2.1. ENSAYO DE ACERO AISI 1018

MATERIAL:	ACERO-ACERO	
DIÁMETRO (mm)	10	12
VELOCIDAD (RPM)	1800	2400
TIEMPO (seg.)	16	16
PRESIÓN DE CALENTAMIENTO (Kg/cm²)	50	100
ENCOGIMIENTO AXIAL (mm)	5	5

TABLA 4.1 SOLDADURA ACERO-ACERO

RESISTENCIA A LA TRACCIÓN		
DIÁMETRO (mm)	ANTES DE LA SOLDADURA (Kg)	DESPUÉS DE LA SOLDADURA (Kg)
10	9800	9700

TABLA 4.2. RESISTENCIA A LA TRACCIÓN ACERO-ACERO

CONCLUSIÓN:

La soldadura entre aceros no presentó ningún problema, la unión se realizó en dos diámetros diferentes de 10 y 12 mm, para determinar la variación de las presiones al aumentar el diámetro y la velocidad.

La probeta de 10 mm se soldó correctamente. El proceso se inicia con la aplicación de la presión de calentamiento produciéndose un poco de vibración entonces el material empieza a fundirse y desaparece la vibración. En el transcurso del tiempo preestablecido se produce un encogimiento axial de las probetas, se aplica el freno para detener totalmente al equipo y se produce la unión de las probetas como se observa en la figura 4.1



FIG. 4.1 PROBETA DE ACERO DE 10 mm
LOS AUTORES

La probeta de 12 mm también se soldó aunque con mayor dificultad. Se produjo mayor vibración debido a que el diámetro era mayor al igual que la presión que se aplicó la causa de esta dificultad se encuentra en el tiempo preestablecido (ver la figura 4.2).



FIG. 4.2 PROBETA DE ACERO 12 mm
LOS AUTORES

Los ensayos de resistencia a la tracción realizados antes de la soldadura nos muestran una fractura totalmente dúctil a una fuerza de 9800 Kg (ver figura 4.3.) en cambio

después de la soldadura se produce una fractura dúctil a una fuerza de 9700 Kg (ver figura4.4). Como se puede observar las propiedades del material durante el calentamiento no se alteran considerablemente.



**FIG. 4.3 ENSAYO DE RESISTENCIA A LA TRACCIÓN ANTES DE LA SOLDADURA DEL
ACERO
LOS AUTORES**



**FIG. 4.4 ENSAYO DE RESISTENCIA A LA TRACCION DESPUES DE LA SOLDADURA
ACERO
LOS AUTORES**

4.2.2. ENSAYO DE COBRE ELECTROLÍTICO

MATERIAL:	COBRE-COBRE	
DIÁMETRO (mm)	10	12
VELOCIDAD (RPM)	1800	2400
TIEMPO (seg)	20	20
PRESIÓN DE CALENTAMIENTO (Kg/cm²)	110	150
ENCOGIMIENTO AXIAL (mm)	2	3

TABLA 4.3 SOLDADURA COBRE-COBRE

CONCLUSIÓN:

Al iniciar la soldadura con cobre se soldó correctamente, la unión se realizó en probetas de 10 y 12 mm de diámetro, para determinar el comportamiento de las variables en el proceso.

Para realizar la soldadura de cobre electrolítico se utilizó tiempos relativamente altos debido a que la capa del material plastificado no se homogenizó a lo largo de toda la interface del material por lo que se dificultó llegar al encogimiento axial, además se tuvo mucha vibración durante el proceso debido a la fuerza de soldadura que se debió utilizar para llegar al punto de fusión del material, finalmente se obtuvo la unión adecuada de las probetas como se ve en la figura 4.5 y la figura 4.6.



FIG. 4.5 PROBETA DE COBRE DE 10 mm
LOS AUTORES



FIG. 4.6 PROBETA DE COBRE DE 12 mm
LOS AUTORES

En la soldadura de los cobres no se realizó los ensayos de resistencia a la tracción ya que se tiene una ductilidad relativamente alta y el material es muy costoso.

4.2.3. ENSAYO DE ALUMINIO DE TIPO DURALUMINIO

MATERIAL:	ALUMINIO-ALUMINIO	
DIÁMETRO (mm)	10	12
VELOCIDAD (RPM)	1800	2400
TIEMPO (seg)	12	12
PRESIÓN DE CALENTAMIENTO (Kg/cm)	100	110
ENCOGIMIENTO AXIAL (mm)	4	5

TABLA 4.4 SOLDADURA ALUMINIO-ALUMINIO

RESISTENCIA A LA TRACCIÓN		
DIÁMETRO (mm)	ANTES DE LA SOLDADURA (Kg)	DESPUÉS DE LA SOLDADURA (Kg)
10	4000	2000

TABLA 4.5 RESISTENCIA A LA TRACCIÓN ALUMINIO-ALUMINIO

CONCLUSIÓN:

Al iniciar la soldadura de las probetas de aluminio se dificultó la unión. Este problema se debía a que el aluminio que se estaba utilizando era demasiado suave y no se generaba el calor necesario para llegar a la unión de las probetas. Se intentó modificar

las variables del proceso en varios ensayos y lo único que se obtenía era la unión en el centro de las probetas.

Por tal razón se buscó un aluminio endurecido del tipo duraluminio con el cual logramos soldar probetas de 10 y 12 mm de diámetro como se puede ver en la figura 4.7 y la figura 4.8.



FIG. 4.7. PROBETA DE ALUMINIO DE 10 mm
LOS AUTORES



FIG. 4.8. PROBETA DE ALUMINIO DE 12 mm
LOS AUTORES

Al realizar los ensayos de resistencia a la tracción se determina que el material antes de ser soldado sufre una fractura totalmente dúctil a una fuerza de 4000 Kg (ver figura 4.9.) en cambio después de la soldadura se produce una fractura en la unión de las probetas a una fuerza de 2000 Kg (ver figura 4.10.). Como se puede observar la zona soldada no es muy resistente a la tracción por lo que se produce una fractura inmediata.



**FIG. 4. 9 ENSAYO DE RESISTENCIA A LA TRACCIÓN ANTES DE LA SOLDADURA DEL ALUMINIO
LOS AUTORES**



**FIG. 4.10. ENSAYO DE RESISTENCIA A LA TRACCIÓN DESPUÉS DE LA SOLDADURA DEL ALUMINIO
LOS AUTORES**

4.3. PROTOCOLO DE PRUEBAS

El protocolo de pruebas el procedimiento en el cual se verifica el buen funcionamiento, dimensiones y desempeño de la maquina, las pruebas se realizan una vez concluida la construcción y de acuerdo a los planos respectivos.

Los aspectos que se van a comprobar en el protocolo de pruebas son los siguientes:

- Apariencia.
- Dimensiones.
- Funcionamiento.

4.3.1. APARIENCIA DE LOS ELEMENTOS DEL EQUIPO.

La verificación de los elementos del equipo se lo realizará de forma visual o a su vez con el tacto.

Ítem	Elemento	Acabado	Método	Aprobado
1	Estructura	pintura electroestática	Visual / Tacto	
2	Ejes	galvanizado electrolítico	Visual / Tacto	
3	Poleas	pintura automotriz	Visual / Tacto	
4	Placas soportantes	pintura electroestática	Visual / Tacto	
5	Placas guías	pintura electroestática	Visual / Tacto	
6	Pernos	galvanizado electrolítico	Visual / Tacto	
7	Tapas de rodamientos	galvanizado electrolítico	Visual / Tacto	
8	Acoples del mandril	galvanizado electrolítico	Visual / Tacto	
9	Arandelas	galvanizado electrolítico	Visual / Tacto	

**TABLA 4.6. VERIFICACIÓN DE LA APARIENCIA DE LOS ELEMENTOS
DEL EQUIPO**

FUENTE: LOS AUTORES

4.3.2. VERIFICACIÓN DE LAS DIMENSIONES DEL EQUIPO.

Las mediciones se realizarán según el elemento del equipo y la facilidad para utilizar el instrumento.

Ítem	Verificación	Instrumento	Elemento	Especificaciones	Dimensiones	Aprobado
1	Lado x Lado x Altura	Flexómetro	Estructura	Tubo cuadrado AISI 1018 40 x 40 mm Ángulo de 1 x 1" AISI 1018	500x 100x 850 mm	
2	Longitud x Diámetro	Calibrador	ejes guías	SAE 1018	545 mm x 1"	
3	Longitud x Diámetro	Calibrador	Ejes	SAE 1018	325 x 20 mm	
4	Lado x Lado x esp.	Calibrador	Placas soportantes 3	ASTM A36	300 x 237 x 10mm	
4	Lado x Lado x esp.	Calibrador	Placas soportantes 1, 2	ASTM A36	300 x 237 x 12mm	
5	Lado x Lado x esp.	Calibrador	Placas guías	ASTM A36	300 x 120 x 10 mm	
6	Diámetro x esp.	Calibrador	Tapas de rodamientos	SAE 1018	100 x 20 mm	
7	Diámetro x esp.	Calibrador	Acoples del mandril	AISI 4140	100 x 55 mm	
9	Placa de datos	S/I	motor	Trifásico 3Hp, 3490 RPM		
10	Presión y recorrido	Manómetro	cilindro hidráulico	5 Toneladas - 8 cm de recorrido		
11	Presión	Manómetro	bomba hidráulica	400 Kg/cm ²		
13	Longitud x Diámetro	Calibrador	acople del cilindro hidráulico	SAE 1018	70 x 40 mm	

TABLA 4.7. VERIFICACIÓN DE LAS DIMENSIONES DE LA MÁQUINA

FUENTE: LOS AUTORES

4.3.3. VERIFICACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE LA MÁQUINA.

La verificación del funcionamiento se hará en base a los ensayos realizados en el equipo.

Ítem	Ensayo	Diámetro (mm)	Presión (Kg/cm ²)	Tiempo (seg.)	velocidad (RPM)	Soldadura		Resistencia a la tracción (kg)	APROBADO
						SI	NO		
1	Acero AISI 1018	10	50	16	1800	X		9700	
2	Acero AISI 1018	12	100	16	2400	X		-----	
3	Aluminio Prodax	10	100	12	1800	X		2000	
4	Aluminio Prodax	12	110	12	2400	X		-----	
5	Cobre electrolítico	10	110	20	1800	X		-----	
6	Cobre electrolítico	12	150	20	2400	X		-----	

TABLA 4.8. VERIFICACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE LA MÁQUINA

FUENTE: LOS AUTORES

CAPÍTULO V

5. COSTOS

5.1. GENERALIDADES

En este capítulo se detalla lo referente al cálculo de costos, se analiza todo lo relacionado a gastos efectuados en el desarrollo de la construcción del equipo didáctico de soldadura de fricción por torque continuo.

Para realizar los cálculos se debe tomar en cuenta varios parámetros como son materia prima directa, costos de maquinado utilizado, costos indirectos de fabricación, mano de obra, etc.

Al ser aprobado el proyecto por el Consejo de Carrera de Ingeniería Mecánica el monto inicial para la construcción de la maquina fue de \$4000 dólares americanos, los cuales cumplieron con el financiamiento del 100% del proyecto. Este proyecto está destinado al Laboratorio de Soldadura de la UPS, con el fin de brindar mayor tecnología e incentivar a los estudiantes a la investigación de equipos similares.

Convencionalmente se ha adoptado un criterio para definir al costo total como la agrupación de tres elementos fácilmente identificables y diferenciados entre sí. Estos elementos son:

- Materia Prima Directa
- Maquinado/ Mano de Obra Directa
- Costos de Fabricación

5.2. MATERIA PRIMA DIRECTA

Este elemento del costo se conoce también como material directo. La materia prima directa constituye los materiales que forman parte integral del producto final y que pueden a simple vista ser identificados y cargados a dicho producto.

5.2.1. COSTOS DE MATERIALES

Nº	DETALLE	CANTIDAD	ESPECIFICACIONES	VALOR	VALOR
			TÉCNICAS	UNITARIO	TOTAL
1	Eje Motriz	1	Ø 25 x 340 mm	7.11	7.11
2	Ejes Guías	2	Ø 25 x 600mm	12.24	24.48
3	Placa Soportantes	2	300 x 240 x 12mm	12.5	25
4	Placa Guía	1	300 x 120 x 10 mm	8.55	8.55
5	Placa Soportantes	1	300 x 240 x 10mm	8.55	8.55
6	Bocines de Bronce	2	Ø 50 x 60mm	25.66	51.32
7	Polea de Hierro Fundido	1	spa 2 canales 80mm	16.13	16.13
8	Polea de Hierro Fundido	1	spa 2 canales 125mm	20.27	20.27
9	Polea de Aluminio	1	2 1/2 x 2"	3.64	3.64
10	Polea de Aluminio	1	3 1/2 x 2"	5.04	5.04
11	Polea de Aluminio	1	4 x 2"	5.6	5.6
12	Polea de Aluminio	1	5 x 2"	6.5	6.5
13	Bushing para Polea	1	14-42mm	8.96	8.96
14	Bushing para Polea	1	12-32mm	7.84	7.84
15	Banda en "V"	2	A-46	2.48	4.96
16	Tapa para Rodamientos	2	Ø 100 X 25mm	7.36	14.72
17	Acople para Mandril	1	Ø 100 X 35mm	7.36	7.36
18	Rodamientos Cónicos	2	32005 JR. KOYO	10.64	21.28
19	Mandriles	2	Ø 100mm 3 mordazas	134.1	268.2
20	Motor Trifásico	1	3450 RPM	239.9	239.9

21	Bomba Hidráulica	1	700 Kg/cm2	290.08	290.08
22	Manguera Hidráulico	1	1.5 m	98.56	98.56
23	Manómetro de Presión	1	30 toneladas	138.88	138.88
24	Adaptador Manómetro	1	30 toneladas	85.12	0
					85.12
25	Cilindro Hidráulico	1	5 toneladas x 3 1/4"	403.96	403.96
26	Acople Rápido	1	Powerteam	34.94	34.94
27	Plancha	1	560 x 1030 x 4mm	41.35	41.35
28	Perfil Cuadrado	2	1 1/2 x 2mm	20.63	41.26
29	Perfil Cuadrado	1	1 1/4 x 4mm	15.39	15.39
30	Kilo de electrodos	1	6013 x 1/8"	3.54	3.54
31	Barra Acero Transmisión	1	1/2 x 800mm	3.15	3.15
32	Regatón Cuadrado	4	1 1/2	1.15	4.6
33	Resorte	1	Ø15mm x 30mm	1.75	1.75
34	Sistema Eléctrico	1		187.04	187.04
35	Seguros de Retenes	10	b10.m8 grande	1.01	10.1
36	Perno hexagonal de Hierro	6	1/4 x 1"	0.07	0.42
37	Arandela Plana	6	1/4"	0.02	0.12
38	Arandela de Presión	6	1/4"	0.01	0.06
39	Tuerca	6	1/4"	0.02	0.12
40	Perno hexagonal de Hierro	4	5/16 x 3/4	0.09	0.36
41	Arandela Plana	4	5/16"	0.02	0.08
42	Arandela de Presión	4	5/16"	0.03	0.12
43	Tornillos Cabeza Redonda	2	3/16 x 1"	0.06	0.12
44	Arandela Plana	2	3/16"	0.02	0.04
45	Arandela de Presión	2	3/16"	0.01	0.02
46	Pernos Hexagonal	8	M10 x 1.5. x 50	0.31	2.48
47	Tuerca	8	M10 x 1.5	0.1	0.8

48	Arandela de Presión	8	M10	0.04	0.32
49	Tuerca	8	M20 x 1.5	0.56	4.48
50	Arandela de Presión	4	M20	0.22	0.88
51	Arandela de Presión	16	M12	0.04	0.64
52	Tuerca	16	M12 x 1.75	0.18	2.88
53	Pernos Allen	2	12.8 X 1.25 X 30	0.18	0.36
54	Acrílico de seguridad	2	200 X 800mm	10	20
55	Disco de Freno	1	Ø 100 x 35mm	7.36	7.36
				Sub-Total	2156.79

TABLA 5.1 COSTO MATERIA PRIMA DIRECTA

El Total de la Materia Prima es de USD 2156.79

5.3. MAQUINADO

Es un proceso de manufactura en el que una herramienta de corte se utiliza para remover el exceso de material de una pieza de forma que el material que quede tenga la forma deseada.

5.3.1. COSTO DE MAQUINADO

	DETALLE	MAQUINA	COSTO HORA MAQUINA			COSTO HORA HOMBRE			COSTO
		HERRAMIENTA	Nº HORAS	V. UNITARIO	V. TOTAL	Nº HORAS	V. UNITARIO	V. TOTAL	TOTAL
1	EJE MATRIZ	Torno	8	10	80	0	1,5	0	80
		Fresadora	1	12	12	1	1,5	1,5	13,5
		Taladro	0	2	0	0	1,5	0	0
		Soldadura Eléctrica	0	5	0	0	1,5	0	0
		Esmeril	0	2	0	0	1,5	0	0
	TOTAL								93,5
Nº	DETALLE	MAQUINA	COSTO HORA MAQUINA			COSTO HORA HOMBRE			COSTO
		HERRAMIENTA	Nº HORAS	V. UNITARIO	V. TOTAL	Nº HORAS	V. UNITARIO	V. TOTAL	TOTAL

2	EJES GUÍAS	Torno	3	10	30	0	1,5	0	30
		Fresadora	0	12	0	0	1,5	0	0
		Taladro	0	2	0	0	1,5	0	0
		Soldadura Eléctrica	0	5	0	0	1,5	0	0
		Esmeril	0	2	0	0	1,5	0	0
	TOTAL								30
Nº	DETALLE	MAQUINA	COSTO HORA MAQUINA			COSTO HORA HOMBRE			COSTO
		HERRAMIENTA	Nº HORAS	V. UNITARIO	V. TOTAL	Nº HORAS	V. UNITARIO	V. TOTAL	TOTAL
1	PLACAS SOPORTANTES 1	Torno	0	10	0	0	1,5	0	0
		Fresadora	5	12	60	5	1,5	7,5	67,5
		Taladro	1	2	2	0	1,5	0	2
		Soldadura Eléctrica	1/2	5	2,5	0	1,5	0	2,5
		Esmeril	1/2	2	1	0	1,5	0	1
	TOTAL								73
Nº	DETALLE	MAQUINA	COSTO HORA MAQUINA			COSTO HORA HOMBRE			COSTO
		HERRAMIENTA	Nº HORAS	V. UNITARIO	V. TOTAL	Nº HORAS	VALOR UNITARIO	V. TOTAL	TOTAL
1	PLACAS	Torno	0	10	0	0	1,5	0	0
		Fresadora	5	12	60	5	1,5	7,5	67,5
		Taladro	1	2	2	0	1,5	0	2
	SOPORTANTES 2	Soldadura Eléctrica	1/2	5	2,5	0	1,5	0	2,5
		Esmeril	1/2	2	1	0	1,5	0	1
	TOTAL								73
Nº	DETALLE	MAQUINA	COSTO HORA MAQUINA			COSTO HORA HOMBRE			COSTO
		HERRAMIENTA	Nº HORAS	V. UNITARIO	V. TOTAL	Nº HORAS	V. UNITARIO	V. TOTAL	TOTAL
1	PLACAS SOPORTANTES 3	Torno	0	10	0	0	1,5	0	0
		Fresadora	5	12	60	5	1,5	7,5	67,5
		Taladro	1	2	2	0	1,5	0	2
		Soldadura	1/2	5	2,5	0	1,5	0	2,5

		Eléctrica							
		Esmeril	1/2	2	1	0	1,5	0	1
	TOTAL								73
Nº	DETALLE	MAQUINA	COSTO HORA MAQUINA			COSTO HORA HOMBRE			COSTO
		HERRAMIENTA	Nº HORAS	V. UNITARIO	V. TOTAL	Nº HORAS	V. UNITARIO	V. TOTAL	TOTAL
	PLACAS GUÍAS	Torno	0	10	0	0	1,5	0	0
		Fresadora	4	12	48	4	1,5	6	54
		Taladro	1/2	2	1	0	1,5	0	1
		Soldadura Eléctrica	0	5	0	0	1,5	0	0
		Esmeril	1/2	2	1	0	1,5	0	1
	TOTAL								56
Nº	DETALLE	MAQUINA	COSTO HORA MAQUINA			COSTO HORA HOMBRE			COSTO
		HERRAMIENTA	Nº HORAS	V. UNITARIO	V. TOTAL	Nº HORAS	V. UNITARIO	V. TOTAL	TOTAL
2	BOCINES DE BROCE	Torno	4	10	40	0	1,5	1,5	41,5
		Fresadora	0	12	0	0	1,5	1,5	1,5
		Taladro	2	2	4	0	1,5	1,5	5,5
		Soldadura Eléctrica	0	5	0	0	1,5	1,5	1,5
		Esmeril	0	2	0	0	1,5	1,5	1,5
	TOTAL								51,5
Nº	DETALLE	MAQUINA	COSTO HORA MAQUINA			COSTO HORA HOMBRE			COSTO
		HERRAMIENTA	Nº HORAS	V. UNITARIO	V. TOTAL	Nº HORAS	V. UNITARIO	V. TOTAL	TOTAL
2	TAPAS DE RODAMIENTOS	Torno	12	10	120	0	1,5	0	120
		Fresadora	5	12	60	5	1,5	7,5	67,5
		Taladro	1	2	2	0	1,5	0	2
		Soldadura Eléctrica	0	5	0	0	1,5	0	0
		Esmeril	0	2	0	0	1,5	0	0
	TOTAL								189.5
	DETALLE	MAQUINA	COSTO HORA MAQUINA			COSTO HORA HOMBRE			COSTO
		HERRAMIENTA	Nº HORAS	V. UNITARIO	V. TOTAL	Nº HORAS	V. UNITARIO	V. TOTAL	TOTAL

1	ACOPLE PARA MANDRIL	Torno	2	10	20	0	1,5	0	20
		Fresadora	1	12	12	1	1,5	1,5	13,5
		Taladro	1	2	2	0	1,5	0	2
		Soldadura Eléctrica	0	5	0	0	1,5	0	0
		Esmeril	0	2	0	0	1,5	0	0
TOTAL									35,5
Nº	DETALLE	MAQUINA	COSTO HORA MAQUINA			COSTO HORA HOMBRE			COSTO
		HERRAMIENTA	Nº HORAS	V. UNITARIO	V. TOTAL	Nº HORAS	V. UNITARIO	V. TOTAL	TOTAL
	PLANCHA DE ACERO PARA MESA	Torno	0	10	0	0	1,5	0	0
		Fresadora	0	12	0	0	1,5	0	0
		Taladro	1	2	2	0	1,5	0	2
		Soldadura Eléctrica	2	5	10	0	1,5	0	10
		Esmeril	0	2	0	0	1,5	0	0
	TOTAL	Oxicorte	2	4	8	2	1,5	3	12
Nº	DETALLE	MAQUINA	COSTO HORA MAQUINA			COSTO HORA HOMBRE			COSTO
		HERRAMIENTA	Nº HORAS	V. UNITARIO	V. TOTAL	Nº HORAS	V. UNITARIO	V. TOTAL	TOTAL
	ESTRUCTURA	Torno	0	10	0	0	1,5	0	0
		Fresadora	0	12	0	0	1,5	0	0
		Taladro	1	2	2	0	1,5	0	2
		Soldadura Eléctrica	12	5	60	12	1,5	18	78
		Esmeril	5	2	10	5	1,5	7,5	17,5
	TOTAL								97,5
Nº	DETALLE	MAQUINA	COSTO HORA MAQUINA			COSTO HORA HOMBRE			COSTO
		HERRAMIENTA	Nº HORAS	V. UNITARIO	V. TOTAL	Nº HORAS	V. UNITARIO	V. TOTAL	TOTAL
	DISCO DE FRENO	Torno	2	10	20	0	1,5	0	20
		Fresadora	1	12	12	1	1,5	1,5	13,5
		Taladro	1/2	2	1	0	1,5	0	1
		Soldadura Eléctrica	0	5	0	0	1,5	0	0

		Esmeril	0	2	0	0	1,5	0	0
	TOTAL								34,5
Nº	DETALLE	MAQUINA	COSTO HORA MAQUINA			COSTO HORA HOMBRE			COSTO
		HERRAMIENTA	Nº HORAS	V. UNITARIO	V. TOTAL	Nº HORAS	V. UNITARIO	V. TOTAL	TOTAL
	SISTEMA DE FRENO	Torno	2	10	20	0	1,5	0	20
		Fresadora	2	12	24	2	1,5	3	27
		Taladro	1	2	2	0	1,5	0	2
		Soldadura Eléctrica	4	5	20	0	1,5	0	20
		Esmeril	1	2	2	0	1,5	0	2
	TOTAL								71
								TOTAL	890

TABLA 5.2. COSTO MAQUINADO

El Total del Maquinado es de USD 890

5.4. COSTOS INDIRECTOS DE FABRICACIÓN

Al conjunto de rubros que conforman este elemento se le conoce también como carga fabril, costos generales de fabricación o gastos de fabricación indirectos. Los costos indirectos de fabricación están conformados por los costos de materiales indirectos, los costos de mano de obra indirecta y otros costos indirectos.

5.4.1. MATERIA PRIMA INDIRECTA

Nº	DETALLE	CANTIDAD	ESPECIFICACIONES	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL USD
1	Guantes	2	De cuero	2,5	5
2	Antiparras	2		1	2
3	Grasa	1	Delvag 601	4	4
4	Lija	3	Nº 100	0,25	0,75
5	Pintura Espray	2	Azul, naranja	2,45	4,90
6	Thinner	1	Litro	1,5	1,5
				TOTAL	18.75

TABLA 5.3 COSTO MATERIA PRIMA INDIRECTA

5.4.2. MAQUINADO INDIRECTO

Nº	DETALLE	ESPECIFICACIONES	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL USD
1	Pintura Electrostática	Pintura Total de la maquina	50.89	50,89
2	Galvanizado	Tratamientos	25	25
3	Sistema Eléctrico	instalaciones	107,14	107,14
4	Doblado de Plancha	3 dobleces	0.60	0,69
			SUB-TOTAL	183.72

TABLA 5.4 COSTO MAQUINADO INDIRECTO

5.4.3. COSTOS DE IMPREVISTOS

Los costos imprevistos son todos aquellos que no están considerados desde un principio para el análisis del costo total, para lo cual aplicaremos un 10% a estos valores

Ítem	DENOMINACIÓN	VALOR TOTAL
		USD
1	MATERIA PRIMA DIRECTA	2156.79
2	Costo de Maquinado	890
3	Costos Indirectos	202.47
	Sub-Total	3249.26
	10% Costos Imprevistos	324.93

TABLA 5.5 COSTO IMPREVISTOS

El total de Costos Imprevistos es de USD 324.93

5.4.3.1. TOTAL COSTOS INDIRECTOS

Ítem	Denominación	Valor USD
	Materia Prima Indirecta	18.75
	Maquinado Indirecto	183.72
	Costos imprevistos	324.93
	Total Costos Indirectos	527.4

TABLA 5.6 TOTAL COSTOS INDIRECTOS

El total de Costos Indirectos de Fabricación es de USD 527.40

5.5. COSTO TOTAL DE LA CONSTRUCCIÓN DE UNA MAQUINA DE SOLDADURA A FRICCIÓN

Nº	ELEMENTOS	VALOR TOTAL USD
1	MATERIA PRIMA DIRECTA	2156.79
2	MAQUINADO	890.00
3	COSTOS INDIRECTOS	527.40
	TOTAL	3574.19

TABLA 5.7 COSTO TOTAL DE LA MAQUINA

El Costo Total de la Maquina es de USD 3574.19

CAPITULO VI

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. CONCLUSIONES

- La construcción del **Equipo Didáctico de Soldadura por Fricción de Torque Continuo** servirá de apoyo para la enseñanza y entendimiento de la transformación que sufren los materiales sometidos a fricción en el Laboratorio de Soldadura de la Universidad Politécnica Salesiana.
- El equipo fue diseñado en base al proceso de soldadura del material más crítico (Acero) por lo cual satisface las expectativas del constructor en uniones de bronce y aluminio.
- En el Guías para Prácticas en el Laboratorio se puede observar las velocidades y presiones recomendables para obtener un funcionamiento óptimo del mismo al momento de realizar la soldadura.
- El diseño de la máquina se realizó de acuerdo al diámetro de las probetas y tipo de materiales que se pretende soldar, la efectividad de la unión dependerá de la fuerza del calentamiento y presión de forja aplicada.
- La variación de velocidades de la máquina permite experimentar la transformación que sufren los diferentes materiales durante el proceso de soldadura por fricción.
- El tiempo de soldadura y frenado de la máquina será controlado por mediode un tablero eléctrico que accionará el encendido y apagado del motor.
- Con este equipo se puede experimentar la unión de materiales disimiles siempre y cuando exista la compatibilidad de necesaria de soldadura entre ellos como se indica en la figura 1.8 del presente documento.

6.2. RECOMENDACIONES

- Antes de la manipulación del equipo se debe leer el Instructivo del funcionamiento del mismo para evitar daños y averías ocasionados por el mal uso.
- Limpiar las probetas que van a ser soldadas ya que la unión del material puede ser afectada debido a la presencia de impurezas.
- El diámetro de la probeta no debe ser mayor a 15mm para evitar daños en el funcionamiento del equipo.
- Si se desea experimentar con materiales disímiles comprobar la compatibilidad de soldadura de estos con la finalidad de obtener una buena unión de las probetas.
- Para medir el encogimiento axial esperar que las probetas soldadas estén frías para evitar quemaduras graves.
- Para soldar aluminio se recomienda usar el tipo prodax (duraluminio) ya que es muy duro y facilita la soldadura en el proceso.

BIBLIOGRAFÍA

- AMERICAN WEILDING SOCIETY, *Manual de soldadura, t.3 8va Edición*
- AISC, *Manual of Steel Construction, 8va edition 1980*
- BAUMEISTER, Theodore y AVALLONE, Eugene, *Manual del Ingeniero Mecánico, 2^{da} Edición Vol.1, MCGRAW-HILL*
- CATALOGO NTN
- ESPINOSA, Rubén, *Tecnología de la Soldadura al Arco Eléctrico, Guayaquil 1979*
- FERNÁNDEZ, Guillermo, *Soldadura y Metalurgia, Editorial Continental S.A. de CV México 10ma edición 1982*
- SKF, CATALOGO GENERAL, Editorial SKF Italia 1982
- HORWITZ, Henry , *Soldadura: aplicación y práctica Ediciones Alfaomega, Grupo Editorial S.A. de CV IRA edición México 1997*
- HOULDCROFT P.T, *Tecnología de los procesos de soldadura, Editorial CEAC, S. A, Primer edición 1980,*
- LARBURU, Nicolás, *Maquinas Prontuario, Editorial Paraninfo, 7ma edición 1995*
- MARTÍNEZ, Pablo y PRECIADO Luis, *Diseño y Construcción de una Máquina Transformadora y Clasificadora de Humus de Lombriz de Capacidad de 1500 kg/h, Tesis UPN Quito Julio 2011*
- SHINGLEY, Joseph Edward, *Diseño en Ingeniería Mecánica. Libros Mc GRAW Hill 3ta Edición 1985*
- PYTEL Andrew y SINGER Ferdinand, *Resistencia de Materiales, Edición: 4ta, 1994.*
- PIOVA, Marcelo Tulio, *Proyecto Mecánica de Resortes y Elásticos*
- PATTON, W.J, *Ciencia Y Técnica de la soldadura, URMO Ediciones España 1982*
- TIMOSHENKO: *Resistencia de Materiales James, Ediciones Paraninfo, S.A., 2004*
- WILDI, Theodore, *Maquinas Eléctricas y Sistemas de potencia, 6ta edición México Pearson Prentice- Hall 2007*

NETGRAFIA

<http://www.frbb.utn.edu.ar/carreras/materias/elementosdemaquinas/cap05-01.pdf>

<http://materias.fcyt.umss.edu.bo/tecno-II/PDF/cap-434.pdf>

<http://www.monografias.com/trabajos82/disenio-sistema-trasmision-poleabanda/disenio-sistema-trasmision-polea-banda2.shtml>

<http://es.scribd.com/doc/22498427/Fundamentos-de-Soldadura-Por-Friccion#source:facebook>

http://www.obtesol.es/index.php?option=com_content&task=view&id=133&Itemid=32

http://es.wikipedia.org/wiki/Soldadura_por_fricci%C3%B3n

<http://es.scribd.com/doc/37752921/soldadura>

<http://es.scribd.com/doc/51543308/trabajo-DE-SOLDADURA>

ANEXO 1

**PLANOS DEL EQUIPO
DIDÁCTICO DE SOLDADURA
POR FRICCIÓN DE TORQUE
CONTINUO**

ANEXO 2

TABLAS DE DISEÑO

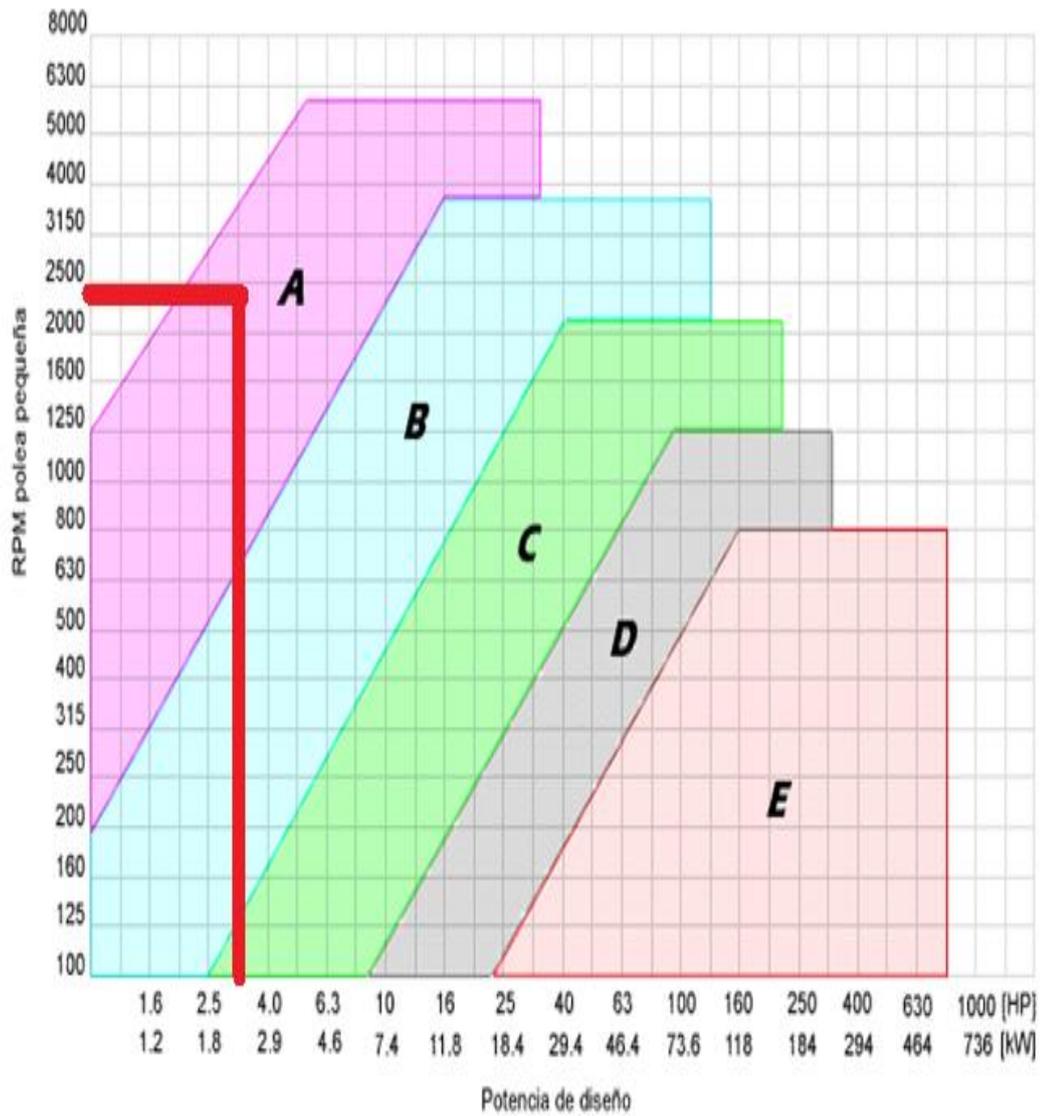
ANEXO A

COEFICIENTES DE ROZAMIENTO

Maquina Simple	COEFICIENTE DE ROZAMIENTO				
MATERIALES EN ROZAMIENTO		Estatico		Dinamico	
		Seco	Lubricado	Seco	Lubricado
Acero sobre acero		0,15	0,1	0,1	0,09-0,08
Acero sobre fundición de hierro		0,19	0,1	0,18	0,08-0,05
Acero sobre bronce		0,19	0,1	0,18	0,08-0,05

ANEXO B

TABLA SELECCIÓN DE TIPO DE BANDA



Catalogo Roflexde correas trapezoides

ANEXO C

DESIGNACION NORMALES PARA BANDAS TRAPECIALES O EN V

TIPO	SECCION	DIAMETRO MINIMO	NORMA
COMUN PARA SERVICIO PESADO	TRANSVERSAL	DE POLEA	
	A	3,0 pulg	ANSI/RMA-IP-20-1977
	B	5,4 pulg	
	C	9,0 pulg	
	D	13, pulg	
	E	21,0 pulg	

ANEXO D

TABLA SELECCIÓN DE TIPO DE POLEAS

Magic-Grip-T 97C2S6Z101 mm	Pulleys with Magic-Grip-T bush	Poulies à douille Magic-Grip-T	Poleas con moyu Magic-Grip-T	MGT
	Grooves section	Section de gorges	Sección de garganta	SPZ
	Number of grooves	Nombre de gorges	Número de canales	1 ▶ 5
	Reference diameter	Diametre de référence	Diametro de referencia	63 ▶ 140

The user is responsible for the provision of safety guards and correct installation of all equipment.

Les dispositifs de protection doivent être prévus par l'utilisateur. Celui-ci est responsable de l'installation correcte de l'ensemble.

El usuario se responsabiliza de la utilización de dispositivos de seguridad y de la correcta instalación de los equipos.

Dimensions in mm and masses in kg are given as a guide only. Certified dimensions upon request.

Dimensions en mm et masses en kg sans engagement. Dimensions définitives sur demande.

Las dimensiones en mm y los pesos en kg son orientativos. Se suministran dimensiones certificadas bajo demanda.

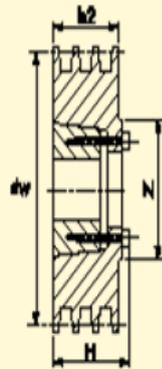


Fig. 1

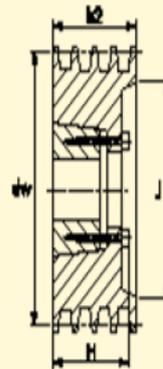


Fig. 2

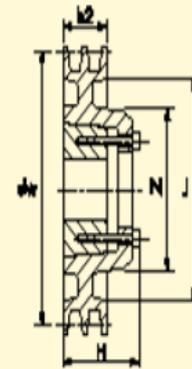


Fig. 3

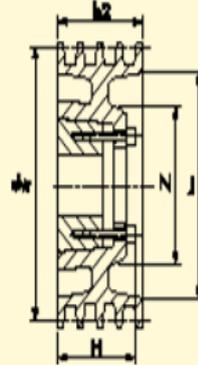


Fig. 4

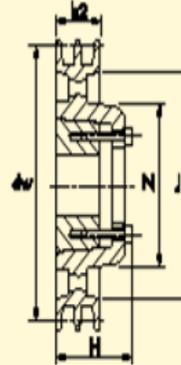


Fig. 5

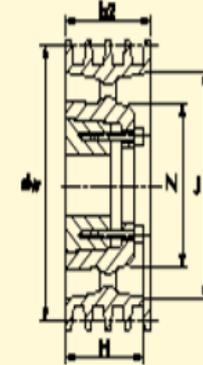


Fig. 6

II

dw	Grooves Gorges Canales	Fig.	 N°	D	D	L	b2	H	J	N	m kg (2)
				min (1)	max (1)						
63	1	1	25	13	25	22,5	16	38	.	49	0,45
	2	1	25	13	25	22,5	28	38	.	49	0,65
	3	2	25	13	25	22,5	40	38	40	.	0,55
71	1	1	25	13	25	22,5	16	38	.	49	0,55
	2	1	25	13	25	22,5	28	38	.	49	0,65
	3	2	25	13	25	22,5	40	38	42	.	0,75
75	1	1	25	13	25	22,5	16	38	.	49	0,6
	2	1	32	12	32	29	28	47	.	61	0,85
	3	1	32	12	32	29	40	47	.	61	0,9
80	1	1	25	13	25	22,5	16	38	.	49	0,65
	2	1	32	12	32	29	28	47	.	61	0,95
	3	1	32	12	32	29	40	47	.	61	1,05
85	1	1	25	13	25	22,5	16	38	.	49	0,7
	2	1	32	12	32	29	28	47	.	61	1,1
	3	1	32	12	32	29	40	47	.	61	1,25
90	1	1	25	13	25	22,5	16	38	.	49	0,75
	2	1	32	12	32	29	28	47	.	61	1,2
	3	1	40	14	40	36	40	57	.	76	1,5
95	1	1	25	13	25	22,5	16	38	.	49	0,75
	2	1	32	12	32	29	28	47	.	61	1,35
	3	1	40	14	40	36	40	57	.	76	1,7
100	1	1	25	13	25	22,5	16	38	.	49	0,85
	2	1	32	12	32	29	28	47	.	61	1,45
	3	1	40	14	40	36	40	57	.	76	1,9
	4	1	40	14	40	36	52	57	.	76	2,1

dw	Grooves Gorges Canales	Fig.	 N°	D	D	L	b2	H	J	N	m kg (2)
				min (1)	max (1)						
106	1	1	32	12	32	29	16	47	.	61	1,25
	2	1	32	12	32	29	28	47	.	61	1,65
	3	1	40	14	40	36	40	57	.	76	2,1
	4	1	40	14	40	36	52	57	.	76	2,4
112	1	1	32	12	32	29	16	47	.	61	1,3
	2	1	40	14	40	36	28	57	.	76	1,3
	3	1	40	14	40	36	40	57	.	76	2,4
	4	1	50	19	50	45	52	72	.	97	3,5
118	1	3	32	12	32	29	16	47	93	61	1,3
	2	1	40	14	40	36	28	57	.	76	2,3
	3	1	45	16	45	40,5	40	62	.	83	2,7
125	1	3	32	12	32	29	16	47	100	61	1,45
	2	1	40	14	40	36	28	57	.	76	2,4
	3	1	40	14	40	36	40	57	.	76	3
	4	1	50	19	50	45	52	72	.	97	4,4
	5	1	50	19	50	45	64	72	.	97	4,1
132	1	3	32	12	32	29	16	47	107	61	1,55
	2	3	40	14	40	36	28	57	107	76	2,3
	3	1	50	19	50	45	40	72	.	97	3,9
140	1	3	32	12	32	29	16	47	115	61	1,65
	2	3	40	14	40	36	28	57	115	76	2,4
	3	1	50	19	50	45	40	72	.	97	4,4
	4	1	50	19	50	45	52	72	.	97	5,5
	5	1	50	19	50	45	64	72	.	97	5,5

ANEXO E

ELEMENTOS MECANICOS FLEXIBLES

Sección	Intervalos de tamaño	Aumentos de longitud
Transversal	pulg	pulg
A	26 a 128	1.3
B	35 a 240	1.8
B	240 o mayor	2.1
C	51 a 210	2.9
C	210 o mayor	3.8
D	120 a 210	3.3
D	210 o mayor	4.1
E	180 a 240	4.5
E	240 o mayor	5.5
Los aumentos de longitud están en pulgadas y han de ser sumadas al perímetro interior para obtener la longitud de paso de una banda de transmisión.		

**AUMENTOS DE LONGITUD PARA BANDAS Y COMUNES
DE SERVICIO PESADO-SERIE EN PULGADAS**

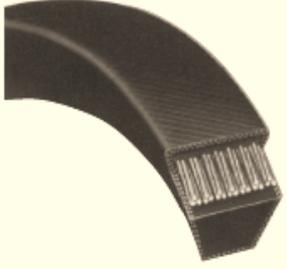
ANEXO F

SELECCIÓN DE BANDA TIPO V

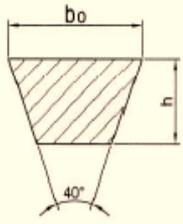
 **CAUSER**

Correas trapeciales clásicas
Classical belts

CORREAS TRAPEZIALES CLÁSICAS
TRAPEZIAL CLASSICAL BELTS



Sección Section	Tamaño aproximado en mm [boxh] Approximate size in mm [boxh]	Rangos disponibles Available range
Z	10x8	10" + 240" (250mm + 6100mm)
A	13x8	15" + 480" (380mm + 12190mm)
B	17x11	19" + 560" (480mm + 14220mm)
C	22x14	31" + 560" (785mm + 14220mm)
D	32x19	70" + 560" (1780mm + 14220mm)
E	38x25	120" + 560" (3050mm + 14220mm)



Tipo	Desarrollo interior (inner length)
Type	"Li" 10x8 [mm]
Z 24	610
Z 25	635
Z 26	660
Z 27	685
Z 28	710
Z 29,5	750
Z 30,5	775
Z 32	815
Z 33	840
Z 34	865
Z 34,5	876
Z 35	890
Z 36	915
Z 37	940
Z 38	965
Z 40	1016
Z 42	1067
Z 44	1118
Z 45	1143
Z 46	1170
Z 48	1220
Z 49	1245
Z 50	1270
Z 51	1295
Z 52	1320
Z 53	1346
Z 54	1371
Z 55	1400
Z 57	1450
Z 59	1500
Z 60	1524

Tipo	Desarrollo interior (inner length)
Type	"Li" 13x8 [mm]
A 24	610
A 26	660
A 31	787
A 35	889
A 42	1067
A 46	1168
A 48	1219
A 51	1295
A 55	1397
A 68	1727
A 75	1925
A 80	2032
A 85	2159
A 90	2286
A 96	2438
A 99	2515
A 100	2540
A 102	2591
A 105	2667
A 112	2845
A 120	3048
A 128	3251
A 133	3378
A 155	3937
A 169	4293
A 180	4572

ANEXO G

CONSTANTES PARA EMPLEAR LA ECUACION DE LA POTENCIA NOMINAL DE TRANSMISIONES DE BANDA

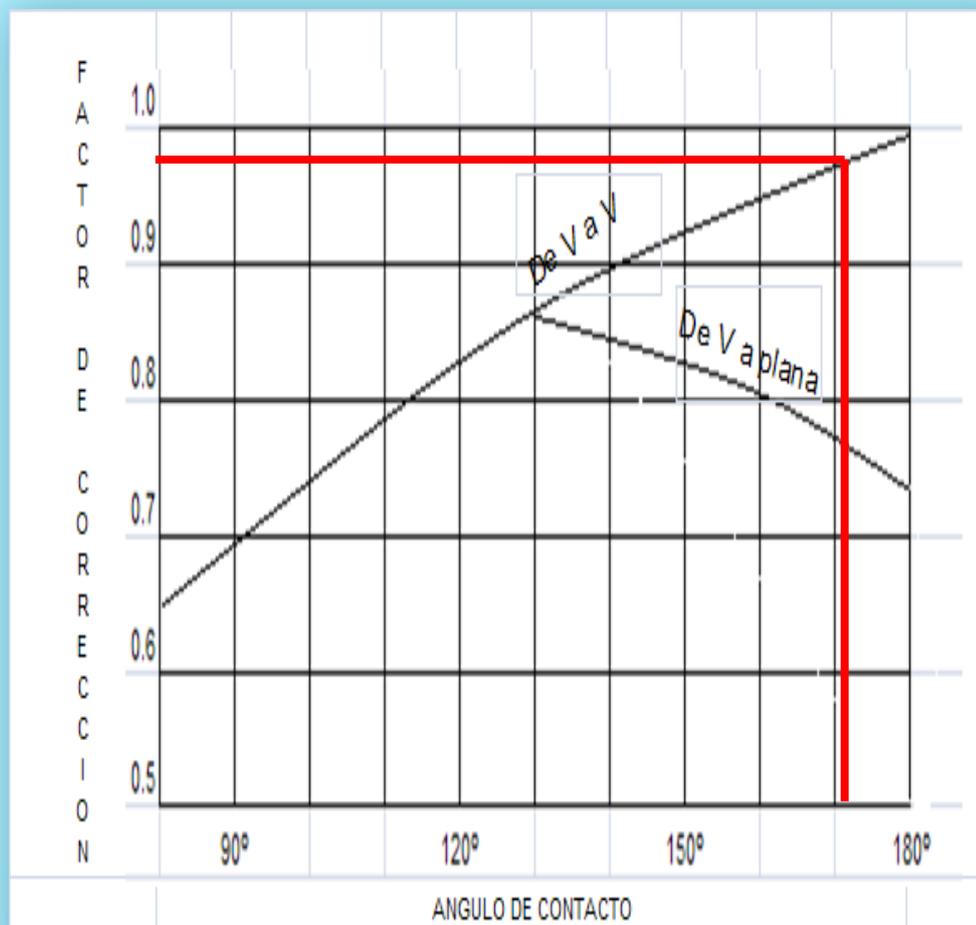
Sección	C1	C2	C3	C4
Transversal				
A	0.8542	1.342	$2.436(10)^{-4}$	0.1703
B	1.506	3.52	$4.193(10)^{-4}$	0.2931
C	2.786	9.788	$7.460(10)^{-4}$	0.5214
D	5.922	34.72	$1.522(10)^{-3}$	1.064
E	8.642	66.32	$2.192(10)^{-3}$	1.532
13C	$3.316(10)^{-2}$	1.088	$1.161(10)^{-8}$	$5.238(10)^{-3}$
16C	$5.185(10)^{-2}$	2.273	$1.759(10)^{-8}$	$7.934(10)^{-3}$
22C	$1.002(10)^{-1}$	7.04	$3.326(10)^{-8}$	$1.500(10)^{-2}$
32C	$2.205(10)^{-1}$	26.62	$7.037(10)^{-8}$	$3.174(10)^{-2}$

ANEXO H
FACTORES DE RELACION DE
VELOCIDAD PARA EMPLEAR EN LA
ECUACION DE LA POTENCIA
NOMINAL DE TRANSMISIONES DE
BANDAS

Intervalo D/ d	KA
1.00 a 1.01	10.000
1.02 a 1.04	10.112
1.05 a 1.07	10.226
1.08 a 1.10	10.344
1.11 a 1.14	10.463
1.15 a 1.20	10.586
1.21 a 1.27	10.711
1.28 a 1.39	1.084
1.40 a 1.64	10.972
mayor que 1.64	11.106

ANEXO I

FACTORES DE CORRECCION K_1 PARA ANGULOS DE CONTACTO HASTA DE 180°



ANEXO J

FACTORES DE CORRECCION K_2 PARA BANDAS V INGLESAS

L_s	A	B	C	D	L_s	B	C	D	E
26	0.78				144	1.10	1.00	0.91	
31	0.82				158	1.12	1.02	0.93	
35	0.85	0.80			173	1.14	1.04	0.94	
38	0.87	0.82			180	1.15	1.05	0.95	0.9
42	0.89	0.84			195	1.17	1.06	0.96	0.9
46	0.91	0.86			210	1.18	1.07	0.98	0.9
51	0.93	0.88	0.80		240	1.22	1.10	1.00	0.9
55	0.95	0.89			270	1.24	1.13	1.02	0.9
60	0.97	0.91	0.83		300	1.27	1.15	1.04	1.0
68	1.00	0.94	0.85		330		1.17	1.06	1.0
75	1.02	0.96	0.87		360		1.18	1.07	1.0
80	1.04				390		1.20	1.09	1.0
81		0.98	0.89		420		1.21	1.10	1.0
85	1.05	0.99	0.90		480			1.13	1.0
90	1.07	1.00	0.91		540			1.15	1.1
96	1.08		0.92		600			1.17	1.1
97		1.02			660			1.18	1.1
105	1.10	1.03	0.94						
112	1.12	1.05	0.95						
120	1.13	1.06	0.96	0.88					
128	1.15	1.08	0.98	0.89					

ANEXO K

CATALOGO BOHLER e IBCA

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/cm³ (0.284 lb/in³)

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 ²	mim.31
Resistencia a la tracción, kg/mm ²	51-71
Elongación, A5	20%
Reducción de área, Z	57%
Dureza	163HB

APLICACIONES

Donde se requiere aplicaciones con cargas mecánicas no muy severas, pero con ciertos grados de tenacidad importantes, como por ej.: pernos y tuercas, piezas de maquinas pequeñas, ejes, bujes, pasadores, grapas, etc. Factible de cementación con buena profundidad de penetración debido a su alto contenido de manganeso. Excelente soldabilidad.

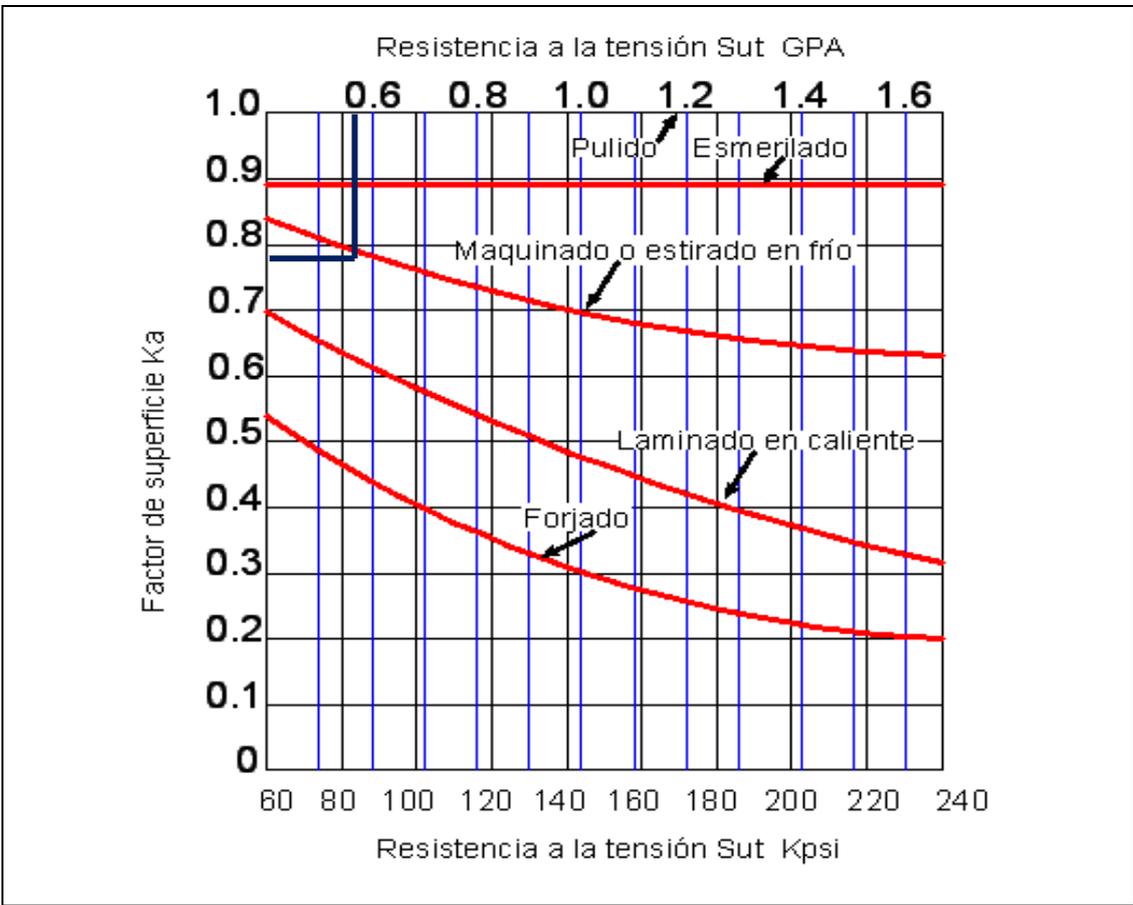
MEDIDAS EN STOCK

REDONDO

PULGADAS	PESO APROX. Kg/m
1/4	0.28
5/16	0.4
3/8	0.6
1/2	1.0
3/4	1.6
5/8	2.2
7/8	3.0
1	4.0
1 1/4	5.0
1 1/8	6.2
1 3/8	7.5
1 1/2	8.9
1 3/4	12.2
2	15.9
2 1/4	20.1
2 1/2	24.8
2 3/4	30.0
3 1/4	35.8
3 1/2	42.0
3 3/4	48.7
4 1/2	55.9
5 1/2	63.6
3	80.5
4	99.4
5	120.2
6	143.1
7	197.0
8	255.0
9	397.0
10	328.5

ANEXO L

FACTORES DE MODIFICACIÓN DE ACABADO SUPERFICIAL PARA EL ACERO (K_a)



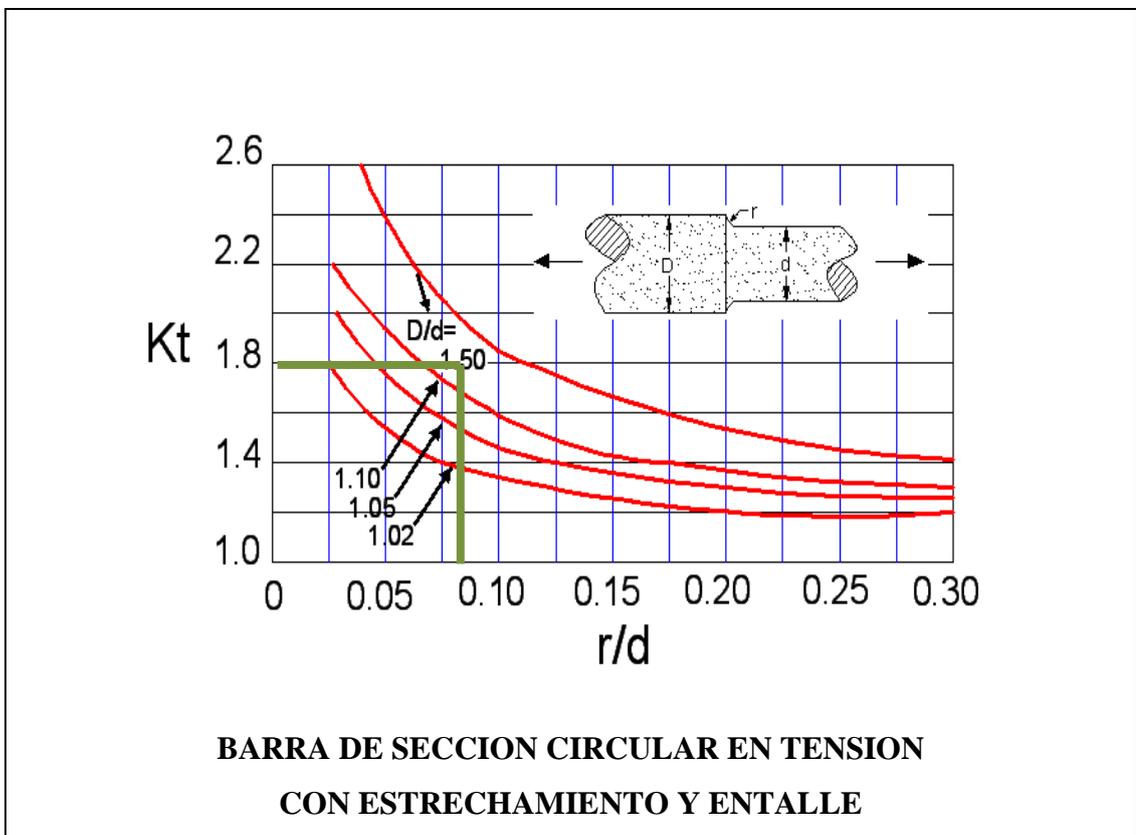
ANEXO M

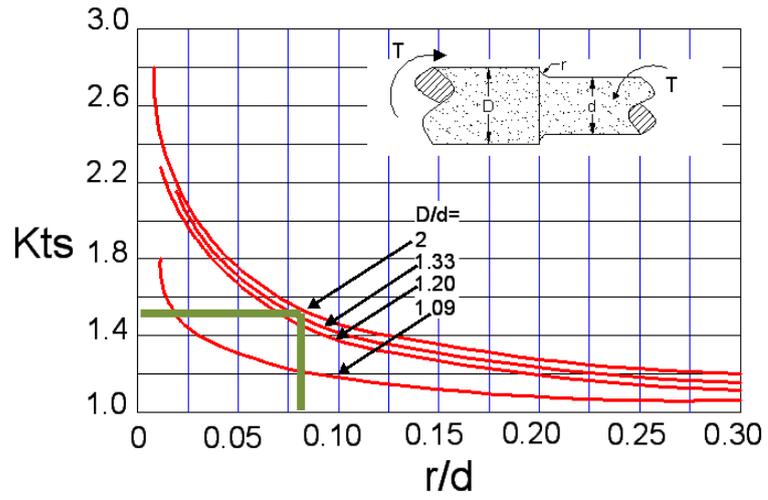
FACTORES DE CONFIABILIDAD K_C

Factores de Confiabilidad k_c . correspondientes a una desviación estándar del 8% del limite de fatiga.		
Confiabilidad R	Variable Estandarizada Z_r	Factor de Confiabilidad k_c
0.50	0	1.000
0.90	1.288	0.897
0.95	1.645	0.868
0.99	2.326	0.814
0.999	3.091	0.753
0.9999	3.719	0.702
0.99999	4.265	0.659
0.999999	4.753	0.620
0.9999999	5.199	0.584
0.99999999	5.612	0.551
0.999999999	5.997	0.520

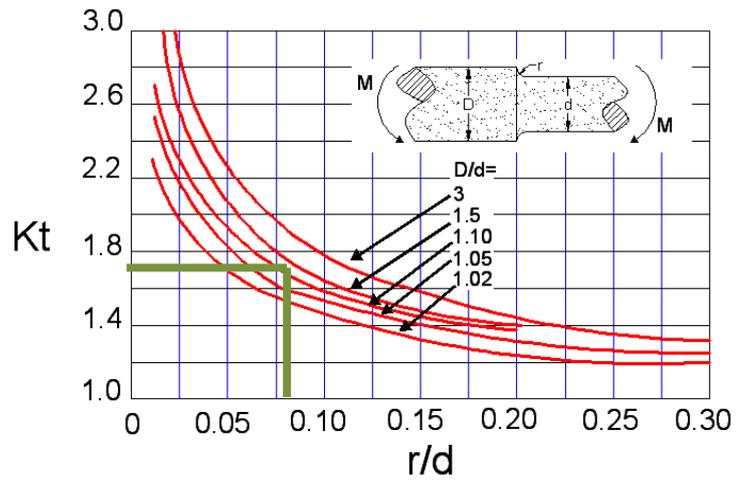
ANEXO N

DIAGRAMAS PARA FACTORES TEÓRICOS DE CONCENTRACIÓN DE ESFUERZO K_1





**BARRA DE SECCIÓN CIRCULAR EN TORSIÓN
CON ESTRECHAMIENTO Y ENTALLE**



BARRA DE SECCION CIRCULAR EN FLEXION

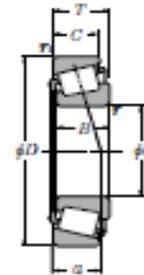
ANEXO O

CATALOGO NTN

Rodamientos de Rodillos Cónicos



Series métricas

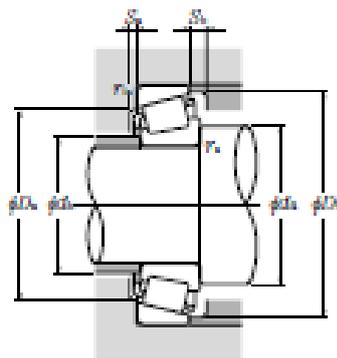


d 15 ~ 30mm

d	Dimensiones principales						Capacidad básica de carga				Velocidades límites		Números de rodamientos
	D	T	B	C	$r_{max}^{(1)}$	$r_{min}^{(1)}$	C_r	C_{or}	C_i	C_{io}	grasa	aceite	
15	42	14.25	13	11	1	1	23.2	20.8	2 370	2 120	9 900	13 000	4T-30302
	40	13.25	12	11	1	1	20.5	20.3	2 090	2 070	9 900	13 000	4T-30203
17	40	17.25	16	14	1	1	27.3	28.3	2 790	2 880	9 900	13 000	4T-32203
	40	17.25	16	14	1	1	26.2	28.2	2 670	2 870	9 900	13 000	4T-32203R ²⁾
	47	15.25	14	12	1	1	28.9	26.3	2 940	2 680	9 900	12 000	4T-30303
20	42	15	15	12	0.6	0.6	24.9	27.9	2 540	2 840	9 500	13 000	4T-32004X
	47	15.25	14	12	1	1	28.2	28.7	2 870	2 930	8 800	12 000	4T-30204
	47	19.25	18	15	1	1	36.5	39.5	3 700	4 000	8 800	12 000	4T-32204
	52	16.25	16	13	1.5	1.5	35.5	34.0	3 600	3 450	8 000	11 000	4T-30304A
	52	16.25	16	12	1.5	1.5	31.0	31.0	3 150	3 150	7 600	10 000	4T-30304CA
52	22.25	21	18	1.5	1.5	46.5	48.5	4 750	4 950	8 000	11 000	4T-32304	
22	44	15	15	11.5	0.6	0.6	27.0	31.5	2 790	3 250	8 900	12 000	4T-320/22X
25	47	15	15	11.5	0.6	0.6	27.8	33.5	2 830	3 450	7 900	11 000	4T-3200sX
	47	17	17	14	0.6	0.6	32.5	40.5	3 300	4 150	8 000	11 000	4T-3300s
	52	16.25	15	13	1	1	31.5	34.0	3 200	3 450	7 300	9 800	4T-3020s
	52	19.25	18	16	1	1	42.0	47.0	4 300	4 800	7 300	9 800	4T-3220s
	52	19.25	18	15	1	1	38.0	43.0	3 850	4 400	7 300	9 800	4T-3220sR ²⁾
	52	19.25	18	15	1	1	38.0	46.5	3 900	4 750	7 100	9 400	4T-3220sC
	52	19.25	18	15	1	1	34.5	42.0	3 500	4 250	7 100	9 400	4T-3220sCB ²⁾
	52	22	22	18	1	1	47.5	57.5	4 850	5 850	7 300	9 800	4T-3320s
	62	18.25	17	15	1.5	1.5	48.5	47.5	4 950	4 850	6 700	8 900	4T-3030s
	62	18.25	17	14	1.5	1.5	41.5	41.5	4 250	4 250	6 400	8 500	4T-3030sC
62	18.25	17	13	1.5	1.5	40.5	43.5	4 150	4 450	5 900	7 800	4T-3030sD	
62	25.25	24	20	1.5	1.5	61.5	64.5	6 250	6 600	6 700	8 900	4T-3230s	
28	52	16	16	12	1	1	33.0	40.5	3 400	4 150	7 300	9 700	4T-320/28X
	58	24	24	19	1	1	58.0	69.5	5 950	7 100	6 700	8 900	4T-332/28
30	55	17	17	13	1	1	37.5	46.0	3 800	4 700	6 900	9 200	4T-3200sX
	55	20	20	16	1	1	42.5	54.0	4 300	5 500	6 900	9 200	4T-3300s
	62	17.25	16	14	1	1	43.5	48.0	4 450	4 900	6 300	8 400	4T-3020s
	62	21.25	20	17	1	1	54.5	64.0	5 600	6 550	6 300	8 400	4T-3220s
	62	21.25	20	17	1	1	50.0	60.0	5 100	6 100	6 100	8 100	4T-3220sC
	62	25	25	19.5	1	1	65.0	77.0	6 600	7 850	6 300	8 400	4T-3320s
72	20.75	19	16	1.5	1.5	60.0	61.0	6 100	6 200	5 700	7 600	4T-3030s	

1) Dimensión mínima permitida para el chafalán r 0.2.

2) Estos rodamientos no tienen incorporadas las dimensiones de las sub-unidades.



Carga radial equivalente del rodamiento dinámico

$$P_d = X_1 F_r + Y_1 F_a$$

$\frac{F_a}{F_r} \leq e$		$\frac{F_a}{F_r} > e$	
X_1	Y_1	X_1	Y_1
1	0	0.4	Y_2

estática

$$P_s = 0.5 F_r + Y_2 F_a$$

Cuando $F_a < C_F$ use $F_a = F_r$

Los valores de e , Y_1 y Y_2 se muestran en la tabla debajo.

Series y dimensiones ISO	Dimensiones de hombros y fillets								Centro de carga mm	Constante de carga	Factores de carga axial		Masa kg (aprox.)	
	d_a min	d_b max	D_a max	D_b min	S_a min	S_b min	$r_{a\max}$	$r_{b\max}$			e	Y_1		Y_2
2FB	20.5	22	36.5	35	38	2	3	1	1	0.5	0.20	2.11	1.16	0.098
2DB	22.5	23	34.5	33	37	2	2	1	1	0.5	0.35	1.74	0.96	0.08
2DD	22.5	23	34.5	33	37	2	3	1	1	11.5	0.31	1.92	1.06	0.102
	22.5	22	34.5	33	36.5	2	3	1	1	11	0.35	1.74	0.96	0.104
2FB	22.5	24	41.5	40	42	3	3.5	1	1	10.5	0.20	2.11	1.16	0.134
3CC	24.5	25	37.5	36	39	3	3	0.8	0.8	10.5	0.37	1.60	0.88	0.097
2DB	25.5	27	41.5	40	44	2	3	1	1	11.5	0.35	1.74	0.96	0.127
2DD	25.5	26	41.5	39	43	2	4	1	1	12.5	0.33	1.81	1.00	0.16
2FB	28.5	28	43.5	42.5	47.5	3	3	1.5	1.5	10.5	0.30	2.00	1.10	0.176
	28.5	27.5	43.5	39.5	48	3	4	1.5	1.5	13.5	0.55	1.10	0.60	0.17
2FD	28.5	27	43.5	43	47	3	4	1.5	1.5	14	0.30	2.00	1.10	0.245
3CC	26.5	27	39.5	38	41	3	3.5	0.8	0.8	11	0.40	1.51	0.83	0.106
4CC	29.5	30	42.5	40	44	3	3.5	0.8	0.8	12	0.43	1.39	0.77	0.114
2CE	29.5	29	42.5	40	43.5	3	3	0.8	0.8	11	0.29	2.07	1.14	0.13
3CC	30.5	31	46.5	44	48	2	3	1	1	12.5	0.37	1.60	0.88	0.154
2CD	30.5	31	46.5	43	48	2	4	1	1	14	0.36	1.67	0.92	0.187
	30.5	31	46.5	43	48	2	4	1	1	13.5	0.37	1.60	0.88	0.181
5CD	30.5	30	46.5	42	49	2	4	1	1	16	0.58	1.03	0.57	0.19
	30.5	30	46.5	42	49	2	4	1	1	16	0.55	1.10	0.60	0.19
2DE	30.5	30	46.5	43	49	4	4	1	1	14	0.35	1.71	0.94	0.217
2FB	33.5	34	53.5	52	57	3	3	1.5	1.5	13	0.30	2.00	1.10	0.272
	33.5	34	53.5	48	58	3	4	1.5	1.5	16	0.55	1.10	0.60	0.264
7FB	33.5	34	53.5	45.5	58.5	3	5	1.5	1.5	20	0.83	0.73	0.40	0.284
2FD	33.5	32	53.5	52	57	3	5	1.5	1.5	16	0.30	2.00	1.10	0.381
4CC	33.5	33	46.5	45	49	3	4	1	1	12.5	0.43	1.39	0.77	0.146
2DE	33.5	34	52.5	49	55	5	5	1	1	15.5	0.34	1.77	0.97	0.293
4CC	35.5	35	49.5	48	52	3	4	1	1	13.5	0.43	1.39	0.77	0.166
2CE	35.5	35.5	49.5	46.5	52	3	4	1	1	13	0.29	2.06	1.13	0.201
3DB	35.5	37	56.5	53	57	2	3	1	1	13.5	0.37	1.60	0.88	0.241
3DC	35.5	37	56.5	52	58	2.5	4	1	1	15.5	0.37	1.60	0.88	0.301
5DC	35.5	35	56.5	49	59.5	2	5	1	1	18.5	0.56	1.07	0.59	0.294
2DE	35.5	36	56.5	53	59	5	5.5	1	1	16	0.34	1.76	0.97	0.344
2FB	38.5	40	63.5	62	66	3	4.5	1.5	1.5	15	0.31	1.90	1.05	0.408

Tabla 3.4 Aplicaciones en maquinarias y vida requerida (Referencia)

Clasificación del servicio	Aplicaciones en maquinarias y vida requerida (referencia) $L_{10h} \times 10^3 h$				
	~4	4~12	12~30	30~60	60~
Máquinas usadas por periodos cortos q utilizadas sólo ocasionalmente.	<ul style="list-style-type: none"> ● Aplicaciones domésticas ● Herramientas de mano eléctricas 	<ul style="list-style-type: none"> ● Maquinaria agrícola ● Equipos de oficina 			
Utilización durante periodos cortos e intermitentemente, pero con requerimientos de alta confiabilidad.	<ul style="list-style-type: none"> ● Equipos médicos ● Instrumentos de medición 	<ul style="list-style-type: none"> ● Motores de acondicionadores de aire residenciales ● Equipos de construcc. ● Elevadores ● Grúas 	<ul style="list-style-type: none"> ● Grúas (Poleas) 		
Máquinas que no se usan constantemente, pero se utilizan por periodos largos.	<ul style="list-style-type: none"> ● Automóviles ● Vehículos de dos ruedas 	<ul style="list-style-type: none"> ● Motores pequeños ● Buses/camiones ● Transmisiones de engranes en general ● Máquinas madereras 	<ul style="list-style-type: none"> ● Husillos de máquinas ● Motores industriales ● Trituradores ● Cribas vibratorias 	<ul style="list-style-type: none"> ● Transmisiones de engranes principales ● Máquinas de caucho/plástico ● Rodillos de calandrias ● Máquinas de impresión 	
Máquinas en constante uso durante las 8 horas del día.		<ul style="list-style-type: none"> ● Laminadores ● Escaleras eléctricas ● Transportadores ● Centrífugas 	<ul style="list-style-type: none"> ● Ejes de vehículos ferroviarios ● Acondicionadores de aire ● Motores grandes ● Centrífugas 	<ul style="list-style-type: none"> ● Ejes de locomotoras ● Motores de tracción ● Elevadores mineros ● Volantes a presión 	<ul style="list-style-type: none"> ● Máquinas de fabricación de papel ● Equipos de propulsión para barcos
24 horas de operación continua, no interrumpible.					<ul style="list-style-type: none"> ● Equipos de abastecimiento de agua ● Bombas de drenaje/ventiladores para minería ● Equipos para generación de potencia

ANEXO P

COEFICIENTES K Y K₁ PARA PLACAS RECTANGULARES Y ELÍPTICAS

R/r	1		1,5		2		2,5		3	
Caso	k	k ₁								
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 Q

Tabla Diámetros y Áreas de Roscas Métricas de Paso FINO Y DE Paso Basto						
(todas las dimensiones están expresados en milímetros)						
		Serie de paso basto			Serie de paso fino	
Diámetro Mayor	Paso p	Área de esfuerzo	Área al diámetro	Paso p	Área de esfuerzo	Área al diámetro
nominal, d		de tensión A	menor, A.		de tensión A	menor, A.
1.6	0.35	1.27	1.07			
2	0.44	2.07	1.79			
2.5	0.45	3.39	2.98			
3	0.50	5.03	4.47			
3.5	0.60	6.78	6			
4	0.70	8.78	7.75			
5	0.80	14.2	12.7			
6	1.00	20.1	17.9			
8	1.25	36.6	32.8	1	39.2	36
10	1.50	58	32.3	1.25	61.2	56.3
12	1.75	84.3	76.3	1.25	92.1	86
14	2.00	115	104	1.5	125	116
16	2.00	157	144	1.5	167	157

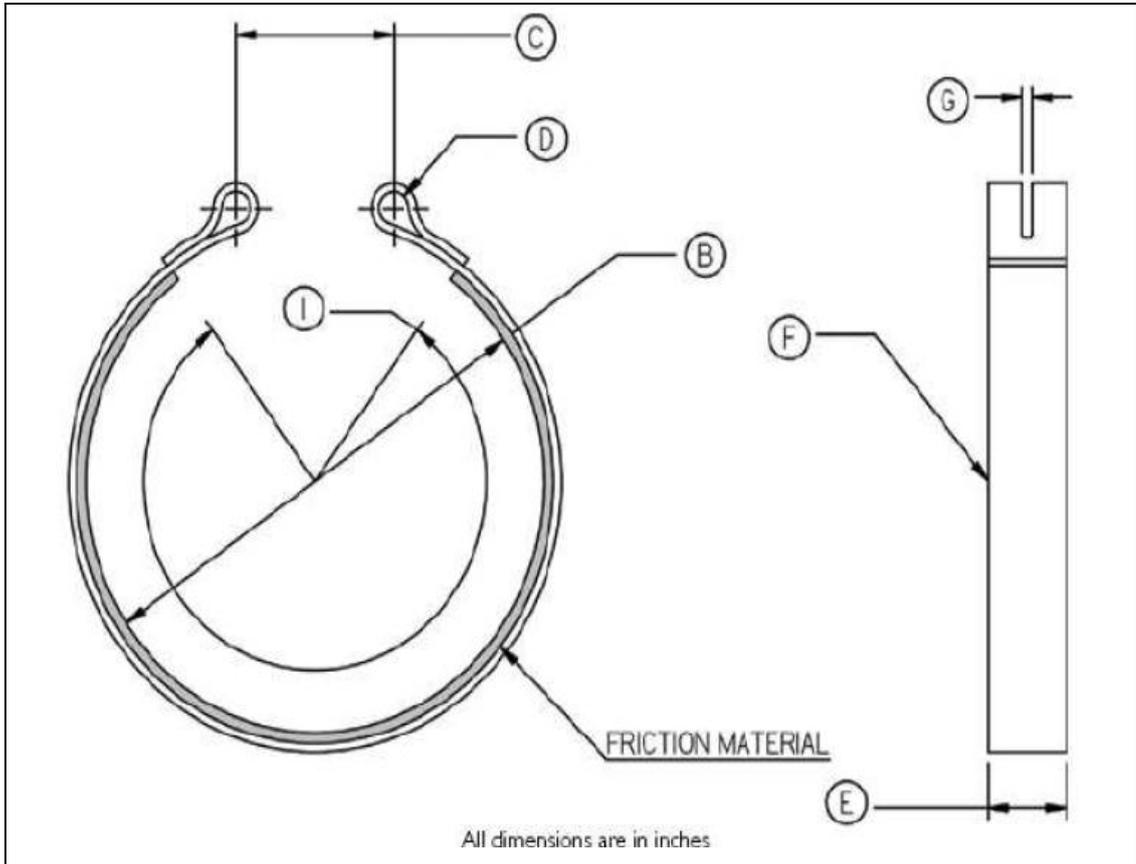
Tabla 8-5 ESPECIFICACIONES Y MARCAS DE IDENTIFICACIÓN PARA PERNOS, TORNILLOS, ESPARRAGOS, SEMS^a Y PERNOS U^b (Multiplique las resistencias en kpsi por 6.89 para obtener valores en MPa.)

Grado SAE	Grado ASTM	Grado métrico	Diámetro nominal pulg	Resistencia a la prueba a la tensión kpsi	Resistencia a la tensión kpsi	Resistencia de fluencia kpsi	Dureza Rockwell del núcleo min/máx	Marca de grado	Productos	Material
1	A307	4.6	$\frac{1}{2}$ a $1\frac{1}{2}$	33	60	36	B70/B100	Ninguna	B, Sc, St	Acero de bajo o mediano carbono
2	...	5.8	$\frac{1}{2}$ a $\frac{3}{4}$	55	74	57	B80/B100	Ninguna	B, Sc, St	Acero de bajo o mediano carbono
4	...	4.6	de $\frac{1}{2}$ a $1\frac{1}{2}$	33	60	36	B70/B100	Ninguna	B, Sc, St	Acero de bajo o mediano carbono
4	...	8.9	$\frac{1}{2}$ a $1\frac{1}{2}$	65	115	100	C22/C32	Ninguna	St	Acero de mediano carbono, estrado en frío
5	A449 o bien A325	8.8	$\frac{1}{2}$ a 1	85	120	92	C25/C34		B, Sc, St	Acero de mediano carbono, Q&T
Tipo 1										
		7.8	de 1 a $1\frac{1}{2}$	74	105	81	C19/C30		B, Sc, St	Acero de mediano carbono, Q&T
		8.6	de $1\frac{1}{2}$ a 3	55	90	58	...		B, Sc, St	Acero de mediano carbono, Q&T
5.1	...	8.8	No. 6 a $\frac{3}{4}$	85	120	...	C25/C40		Se	Acero de bajo o de mediano carbono, Q&T
5.2	A325	8.8	No. 6 a $\frac{3}{4}$	85	120	...	C25/C40		B, Sc, St	Acero de bajo o de mediano carbono, Q&T
Tipo 2										
7.8	...	10.9	$\frac{1}{2}$ a $1\frac{1}{2}$	105	135	115	C28/C34		B, Sc	Acero de mediano carbono y aleación, Q&T
8	A354	10.9	$\frac{1}{2}$ a $1\frac{1}{2}$	120	150	130	C33/C39		B, Sc, St	Acero de mediano carbono y aleación, Q & T
8.1	...	10.9	$\frac{1}{2}$ a $1\frac{1}{2}$	120	150	130	C32/C38	Ninguna	St	Acero de mediano carbono y aleación, Q&T
8.2	...	10.9	$\frac{1}{2}$ a 1	120	150	130	C35/C42		B, Sc	Acero de mediano carbono y aleación, estrado a alta temperatura o bien, acero C15A10
...	A574	12.9	0 a $\frac{1}{2}$	140	180	160	C39/C45	12.9	SHCS	Acero de aleación, Q&T
		12.9	$\frac{1}{2}$ a $1\frac{1}{2}$	135	170	160	C37/C45	12.9	SHCS	Acero de aleación, Q&T

^a Sems = Screw and washer assemblies = Conjunto de tornillo y rondana o arandela.
^b Tomado de ANSI/SAE J429; ANSI B18.3.1 1978; y ASTM A325, A354, A449, y A574.
^c El grado métrico corresponde a xx, donde xx indica aproximadamente el valor 0.015_{ul} en MPa y x es la razón de S_y min. a S_u .
^d La resistencia de fluencia es el esfuerzo al cual se produce una deformación permanente de 0.2% de la longitud calibrada.
^e B = Bolt = perno; SC = screw = tornillo; St = stud = esparrago; Se = sem = conjunto de tornillo y arandela; SHCS = socket head cap screw = tornillo de maquinaria con cabeza de caja o casquillo.
^f A, los pernos y tornillos de grado 7 se les forma roca laminada después del tratamiento térmico.
^g Los pernos y tornillos grado 7 se rosan por rolado después del tratamiento térmico.
 * Q&T = templado y revenido.

ANEXO R

SELECCIÓN DE LA CINTA DE FRENO



LEGEND:

A. Band Part Number	E. Band Width - inches	I. Wrap Angle - degrees
B. Inside Diameter - inches	F. Gauge of Steel Band	J. Torque - lb. in.
C. Loop-to-loop Center Distance - inches	G. Slot Width - inches	K. Dynamic Coefficient of Friction
D. Loop Diameter to fit pin - inches	H. Actuation Force Required - lbs.	L. Static Coefficient of Friction

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
892605-020	2.50	1.50	0.375	0.75	16	0.13	150	270	1375	0.450	0.534
892816-010	3.06	1.70	0.312	0.62	16	0.156	150	270	1684	0.450	0.534
892524-010	4.19	1.75	0.375	1.00	16	Various	150	287	2679	0.450	0.534
892614-010	4.50	1.44	0.375	1.00	16	0.156	150	270	2476	0.450	0.534
892709-010	4.69	2.00	0.375	1.00	16	Various	150	287	2999	0.450	0.534
892612-020	4.75	1.30	0.375	0.75	16	0.25	150	287	3038	0.450	0.534
892642-010	5.78	1.40	0.375	0.75	14	None	150	270	3180	0.450	0.534
892172-010	6.00	2.18	0.375	0.75	14	Various	150	287	3837	0.450	0.534
892429-030	6.00	0.15	0.545	1.25	14	None	150	270	3301	0.450	0.534
892013-010	10.25	1.52	0.375	1.50	14	None	150	300	7342	0.450	0.534

Calculations in the above table are for 250 friction material on a cast iron surface. Each application needs to be reviewed by Knott Brake Company. Actual conditions may be different.

SELECCIÓN DEL BRAZO HIDRÁULICO.

	Altura				Altura			
	Carrera retraído (mm)	(mm)	N° pedido	Página	Carrera retraído (mm)	(mm)	N° pedido	Página
2 Tm Trac.	127	233	RP25	23	260,4	375	C2510C	15
					311,2	425	C2512C	15
					362	476	C2514C	15
5 Tm Trac.	139,7	302	RP55	23	362	543	C2514CBT	16
					362	518	RD2514	25
5 Tm	14,3	41	RLS50	18	12,7	59	RLS300	18
	25,4	111	C51C	15	54	187	RA302	17
	82,6	165	C53C	15	61,9	117	RSS302	19
	133,4	216	C55C	15	63,5	159	RH302	20
	133,4	267	C55CBT	16	63,5	214	RT302	22
	184,2	273	C57C	15	76,2	179	RH303	21
	235	324	C59C	15	104,8	238	RA304	17
10 Tm	11,1	45	RLS100	18	149,2	283	RHA306	20
	25,4	92	C101C	15	152,4	248	RH306	20
	38,1	89	RSS101	19	152,4	281	RH306D	21
	54	121	C102C	15	155,6	289	RA306	17
	63,5	133	RH102	20	257,2	438	RH3010	21
	104,8	172	C104C	15				
	155,6	248	C106C	15	15,9	67	RLS500S	18
	155,6	292	C106CBT	16	60,3	127	RSS502	19
	158,8	297	RD106	25	76,2	181	RH503	20
	203,2	287	RH108	20	76,2	268	RT503	22
12 Tm	206,4	299	C108C	15	50,8	125,4	R552C	26
	254	391	RD1010	25	50,8	162	R552L	29
	257,2	349	C1010C	15	50,8	175	C552C	15
	257,2	394	C1010CBT	16	54	171	RA552	17
	308	400	C1012C	15	104,8	222	RA554	17
	358,8	451	C1014C	15	108	232	C554C	15
					152,4	264	R556C	26
12 Tm	7,9	56	RH120	20	152,4	321	R556L	28
	41,3	122	RH121	20	155,6	273	RA556	17
	41,3	122	RH121T	20	155,6	318	RA556L	28
	76,2	184	RH123	20	158,8	282	C556C	15

Tabla de selección de cilindros

Elección del cilindro adecuado

Tonelaje, carrera y altura (retraído)

	Altura				Altura				
	Carrera retraído (mm)	(mm)	N° pedido	Página	Carrera retraído (mm)	(mm)	N° pedido	Página	
280 Tm	57,2	139,7	RSS1002	19	50,8	191	R2802C	*	
	76,2	254	RH1003	20	50,8	234	R2802D	*	
	123,8	384	RT1004	22	50,8	248	R2802L	29	
	152,4	241,3	R1006C	26	152,4	292	R2806C	*	
	152,4	270	R1006D	27	152,4	335	R2806D	27	
	152,4	286	R1006L	29	152,4	349	R2806L	29	
	152,4	314	RH1006	21	254	394	R28010C	*	
	158,8	298	RA1006	17	254	437	R28010D	27	
	158,8	340	RA1006L	28	254	451	R28010L	29	
	168,3	337	C1006C	15					
	168,3	350	RD1006	25					
	254	342,9	R10010C	*	300 Tm	152,4	439	RD3006	25
	254	372	R10010D	27		330,2	617	RD30013	25
	254	387	R10010L	29	355 Tm	50,8	232	R3552C	26
	260,4	503	RH10010	21		50,8	292	R3552L	27
260,4	429	C10010C	15	50,8		290	R3552D	26	
333,4	515	RD10013	25	152,4		333	R3556C	27	
511,2	718	RD10020	25	152,4		394	R3556L	29	
				152,4		448	R3556D	27	
				254		435	R35510C	26	
14,3	102	RLS1500S	18	254	465	R35510L	*		

ANEXO T

PROPIEDADES DE LOS MATERIALES METÁLICOS PARA RESORTES

Nombre Nomenclatura	Modulo de elasticidad lineal (GPs)	Modulo de elasticidad transversal en (GPs)	Resistencia mínima a la tracción (MPA)	Temperatura de servicio máxima(°c)	Densidad (Kg/m2)	Método de fabricación Usos Principales
ASTM A227 (C>0.45º)	206.8	79.3	1951	121	7833	Estirado en frio. Resortes de bajo costo
ASTM A679 (C>0.65º)	206.8	79.3	1951	121	7750	Estirado en frio. Resortes de calidad superior
ASTM A229 (C>0.55º) revenido en aceite	206.8	79.3	2020	121	7833	Estirado en Frio con Tratamiento térmico previo. Resortes de usos generales
ASTM A230 (C>0.60º) revenido en aceite	206.8	79.3	1482	121	7833	Estirado en Frio con Tratamiento térmicoprevio. Resortes de tension uniforme
Aleación ASTM A231	206.8	79.3	1310	219	7750	Estirado en Frio con Tratamiento térmico usado para cargas de impacto.
Aleación ASTM A401	206.8	79.3	1620	246	7750	Estirado en Frio con Tratamiento térmico

ANEXO U

AJUSTES MECÁNICOS

Tipo de Ajuste	Agujero Único		Eje Único		Clase	Características	Ejemplos de Aplicación			
	Ag.	Ej.	Ag.	Ej.						
Preciso o Fino	H7	s6/r6	S7/R7	h6	Prensado	Montaje a presión sin necesidad de seguro de giro	Casquillos y coronas de bronce, acoplamientos en extremos de ejes, engranajes de máquinas			
		n6	N7		Muy forzado. Montaje a martillo	Montaje complicado Necesidad de seguro de giro	Casquillos de bronce, manguitos en cubos			
		k6	K7		Forzado medio. Montaje a martillo	Necesita seguro de giro y de deslizamiento	Rodamientos, discos de levas, poleas y volantes, manivelas			
		j6	J7		Forzado ligero. Montaje a mano	Necesita seguro de giro y de deslizamiento	Elementos de máquinas herramienta u otros con alta frecuencia de montaje-desmontaje			
		h6	H7		Deslizante	Necesidad de Lubricación	Engranajes, piezas de máquinas herramienta			
		g6	G7					Giratorio sin juego apreciable	Juego pequeño de rodamientos	Émbolos de freno, bridas, anillos
		f7	F8					Giratorio con poco juego	Juego mediano	Cojinetes de bielas, ruedas dentadas, cajas de cambio
Nivel medio de precisión	H8	h9	H9	h9	Deslizante	Sin lubricación	Poleas fijas, manivelas, acoplamientos deslizantes sobre ejes			
		e8	E9		Giratorio	Juego mediano	Piezas de motores, bombas, ventiladores (bielas, cojinetes, etc.)			
		d9	D10		Giratorio	Mucho juego	Soportes de ejes			
Acabado Basto	H11	c11	C11	h9	Holgado		Cojinetes de maquinaria agrícola			
	H11	h11	H11		h11	Deslizante	Ajustes ordinarios	Piezas varias de maquinaria agrícola		
		d9	D10			Giratorio	Juego mediano	Ejes de movimiento longitudinal, aros, palancas y manivelas desmontables		
		e11	E11			Holgado	Mucho juego	Cojinetes de máquinas domésticas		
		a11	A11			Muy holgado	Juego muy amplio	Piezas de locomotoras, cojinetes de ejes de freno, avellanados, taladro de tornillos		

ANEXO 3

GUIAS PARA

PRÁCTICAS EN EL

LABORATORIO

UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA.
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA.
LABORATORIO DE SOLDADURA.

TEMA: SOLDADURA POR FRICCION DE TORQUE CONTINUO.

OBJETIVOS:

- Conocer los diferentes tipos de soldaduras por fricción existentes.
- Estudiar los principios de la soldadura por fricción de torque continuo.
- Realizar una comparación de las ventajas y desventajas del proceso.

DURACION DE LA PRÁCTICA.

120 MINUTO:

60 Minutos dedicados a la explicación teórica de los procesos de soldadura, estudio del proceso y variables de la soldadura por fricción de torque continuo y el funcionamiento del equipo de soldadura.

60 Minutos: Practicas en el laboratorio.

FUNDAMENTO TEÒRICO.

La soldadura por fricción fue usada para unir materiales termoplásticos desde 1945 y en los primeros años cuarenta Klopstock hizo intentos para soldar metales por fricción. Sin embargo se debe atribuir a los rusos Chudikov y Vill el desarrollo, en 1956, de un método práctico para la soldadura de metales por fricción.

Se han desarrollado dos variantes del proceso que actualmente son conocidas como soldadura por fricción de torque continuo y soldadura por fricción inercial.

La soldadura por fricción es un proceso de soldadura de estado sólido que produce una unión soldada bajo la fuerza compresiva de contacto de dos piezas de trabajo que

giran o se mueven una respecto a la otra produciendo calor por fricción y desplazando plásticamente material de las superficies de empalme produciendo una película fundida en la cara interna con este método no se requiere metal de aporte, fundente ni gas protector.

SOLDADURA ROTATIVA INERCIAL: En esta técnica, una de las piezas se conecta a un volante de inercia al que se le imprime un movimiento de rotación mientras que la otra pieza permanece fija. Una vez alcanzada la velocidad pre establecida, cesa el movimiento del volante y es la fuerza de frenado contra el componente inmóvil lo que genera el calor necesario para realizar la unión.

SOLDADURA ROTATIVA CONTINUA: En esta técnica, uno de los componentes rota alrededor de su eje de simetría mientras que el otro elemento avanza bajo presión axial. Este movimiento genera un calor por fricción, suficiente para que el metal alcance el estado plástico. Alcanzada esta condición, debe cesar el movimiento de rotación mientras que se mantiene o aumenta el esfuerzo axial, consolidando de esta forma la unión. En la figura se observa el esquema del proceso.



Este tipo de máquina soldadora por fricción de torque continuo trabaja bajo los siguientes parámetros:

VELOCIDAD DE SOLDADURA

Las máquinas de producción normalmente se diseñan para trabajar a velocidades de 300 a 650 rpm. Por ejemplo, se puede usar una velocidad de eje de 600 rpm para soldar productos de acero hasta 100 mm de diámetro con velocidades de 1.6m/s a 3.2 m/s.

TIEMPO DE SOLDADURA

La máquina no tiene tiempos específicos de soldadura, estos van a depender de la velocidad y presión que se aplique a la soldadura está entre 10 y 12 seg.

PRESIÓN DE SOLDADURA

Para el acero dulce, son aceptables presiones de calentamiento de 31 a 60 MPa y presiones de forjado de 76 a 152 MPa. Los valores de uso más común son de 55 y 138 MPa, respectivamente. Las aleaciones de altas resistencia mecánica en caliente, como los aceros inoxidable y las aleaciones con base de níquel, requieren presiones de forjado más altas

NOTA: Los parámetros de velocidad, presión y tiempo indicados son empleados en soldaduras realizadas con acero.

Las condiciones de soldadura con materiales como el cobre o aluminio se obtendrán con la experiencia adquirida en prácticas de laboratorio.

MATERIALES Y EQUIPOS.

- Dos probetas de Acero AISI 1018 diámetro 10 mm longitud de 80 mm.
- Dos probetas de Bronce diámetro 10 mm longitud de 80 mm.
- Dos probetas de Aluminio diámetro 10 mm longitud de 80 mm.
- Dos probetas de Acero AISI 1018 diámetro 12 mm longitud de 80 mm.
- Dos probetas de Bronce diámetro 12 mm longitud de 80 mm.
- Dos probetas de Aluminio diámetro 12 mm longitud de 80 mm.
- Maquina soldadora por fricción de torque continuo.

NOTA: Todas las probetas deben tener sus caras refrentadas.

PROCEDIMIENTO.

- Seleccionar las presiones que están entre los siguientes rangos.

Presiones de calentamiento de 31 a 60 MPa.

Presiones de forjado de 76 a 152 MPa.

- Calcular velocidad de rotación adecuadas para la realización de las practicas con las siguientes formulas.

$$N = \frac{60 \times Vt}{\pi \times Dp} \text{ (rpm)}$$

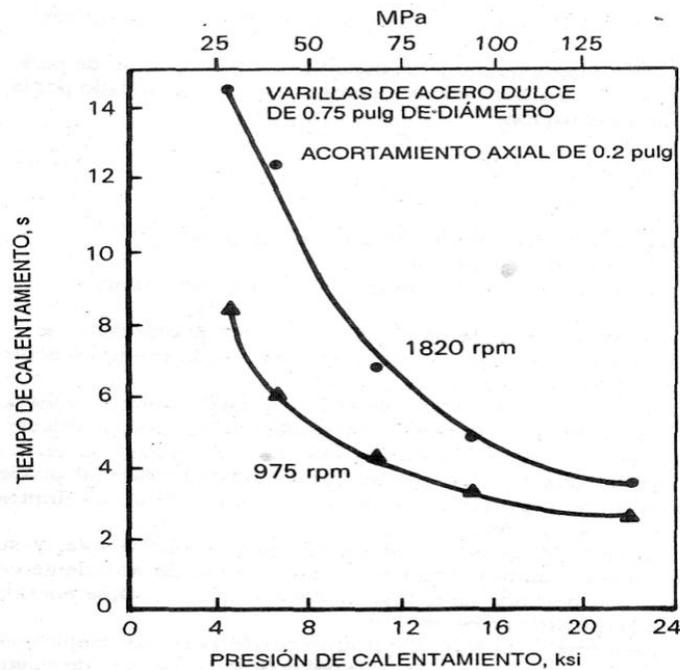
Siendo:

Vt: velocidad tangencial escogida entre 1.6m/s a 3.2 m/s.

Dp: Diámetro de la probeta.

Nota: Seleccionar el juego de bandas y poleas que más se acerquen a la velocidad deseada.

- Con la presión y la velocidad seleccionar el tiempo estimado de duración del proceso en el siguiente grafico.



- Colocar las probetas seleccionadas en el mandril asegurando que estén ajustadas correctamente.
- Encender el motor a la velocidad seleccionada y accionar la bomba hidráulica hasta alcanzar las presiones indicadas.
- Cuando empiece el vuelco en las probetas, detener la máquina presionando el freno, y aplicar la presión de forja para obtener la soldadura.
- Una vez unidas las probetas dejar que se enfríen, aflojar las mordazas y abrir lentamente la válvula de aceite de la bomba para retornar el mandril.
- Por último para verificar la soldadura realizar los ensayos de resistencia a la tracción de las probetas.

INFORME.

- Llenar la tabla con las especificaciones de los materiales y parámetros escogidos para la realización de la soldadura.

Item	Material	Diámetro (mm)	Tiempo (seg.)	Velocidad (RPM)	Presion Mpa	
					Calentamiento	Forja
1	Acero AISI 1018					
2	Aluminio (duraluminio)					
3	Cobre electrolítico					

- Analizar el efecto de las variables: Presión, Velocidad y Tiempo sobre la calidad de la soldadura.
- Detalle las aplicaciones que tiene este tipo de soldadura.
- Conclusiones y recomendaciones.

ANEXO 4

FOTOGRAFÍAS DEL EQUIPO



FIG. A4.1 ELEMENTOS DEL EQUIPO



FIG.A4.2 BANCADA DEL EQUIPO DE SOLDADURA

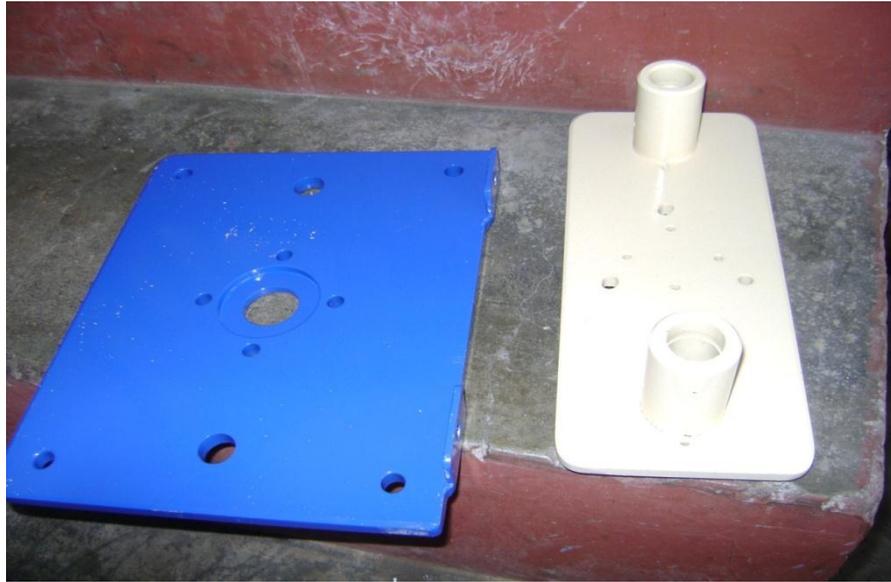


FIG. A4.3 PLACAS SOPORTANTES

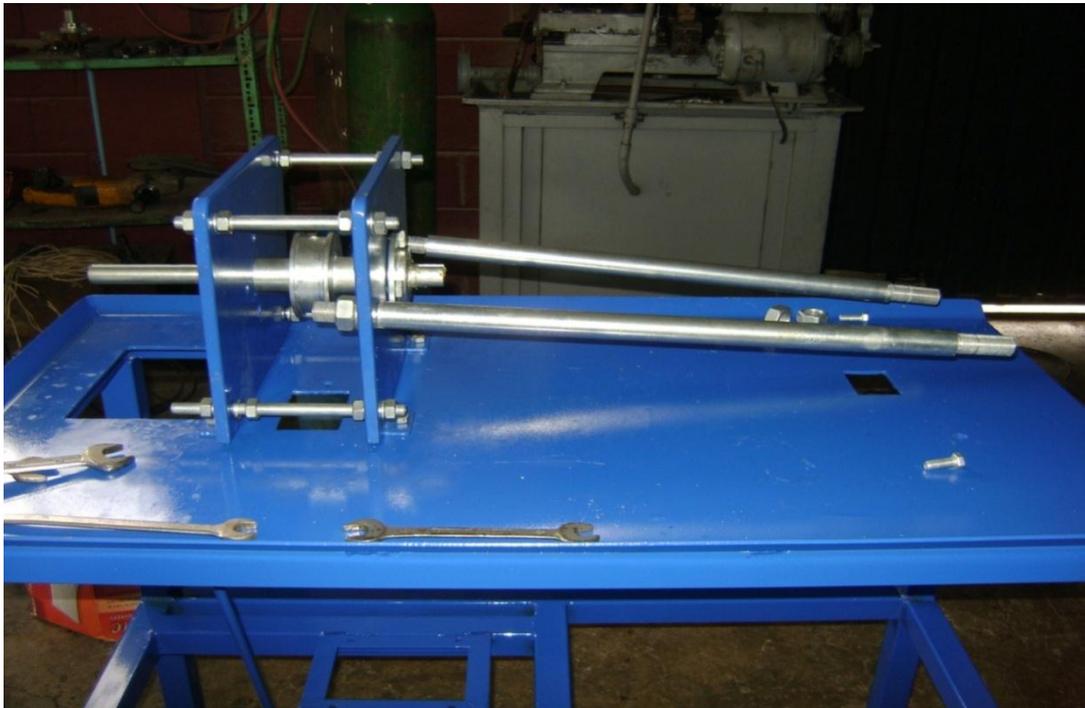


FIG. A4.4 ENSAMBLAJE DE PLACAS SOPORTANTES

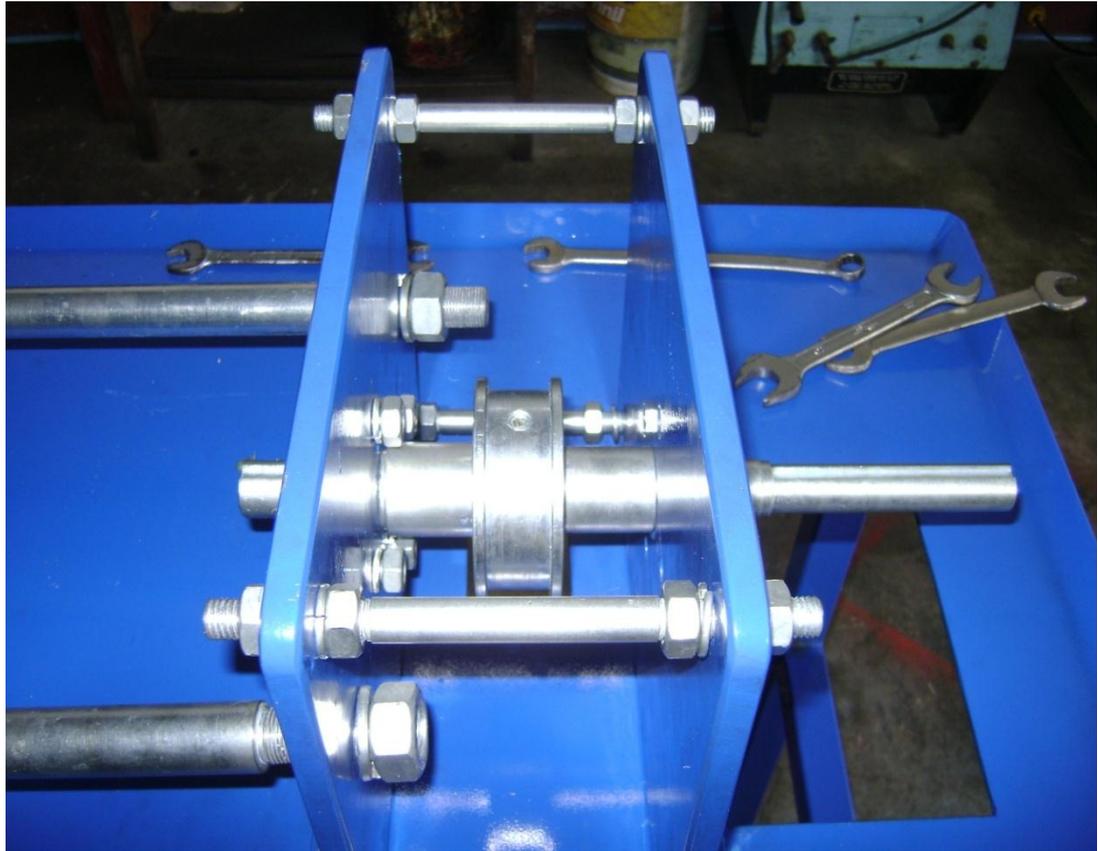


FIG.A4.5 ENSAMBLAJE DEL DISCO DE FRENO



FIG. A4.6 MANDRIL MIVIL

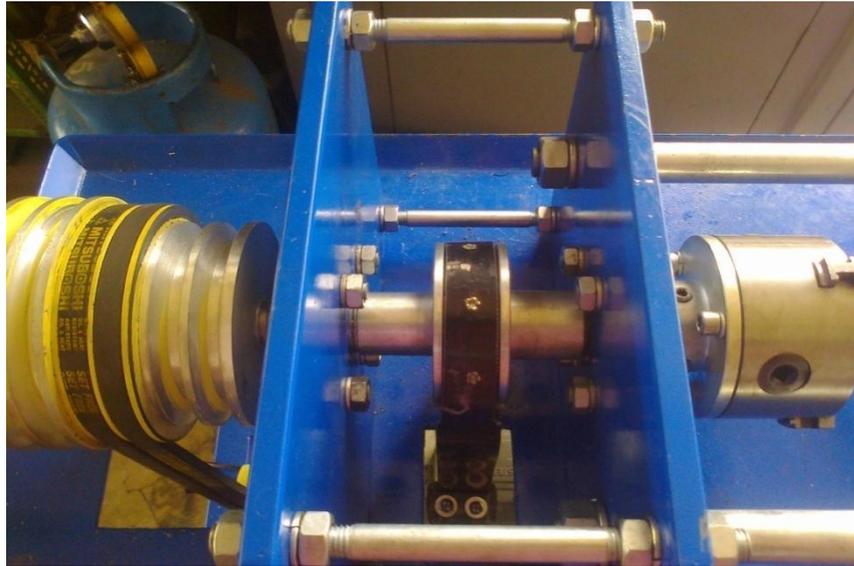


FIG. A4.7 SISTEMA MOTRIZ



FIG. A4. 8 BANDAS DEL SISTEMA MOTRIZ Y CINTA DEL FRENO



FIG. A4.9 SISTEMA HIDRÁULICO



FIG. A4.10 SISTEMA DE FRENADO

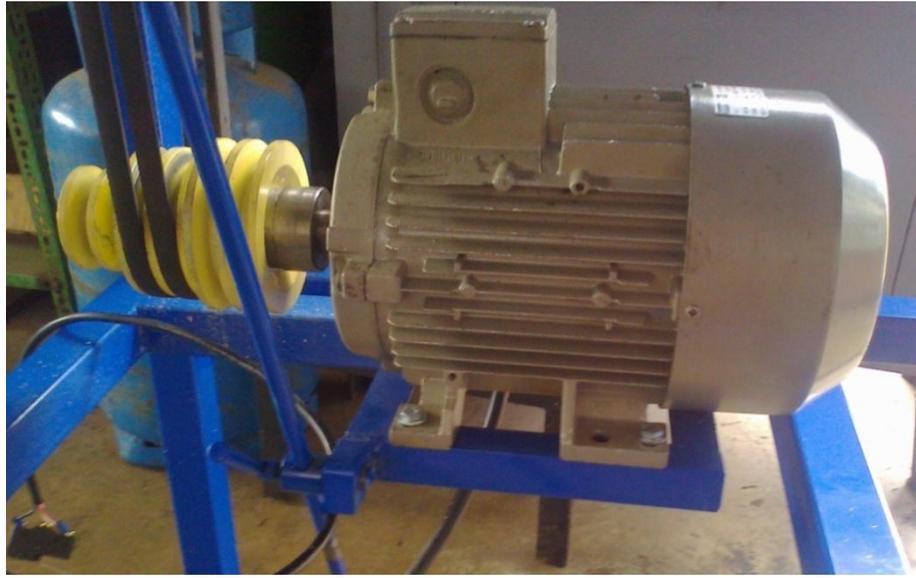


FIG. A4.11 MOTOR TRIFÁSICO DE 3 HP



FIG. A4.12 EQUIPO DE SOLDADURA POR FRICCIÓN DE TORQUE CONTINUO

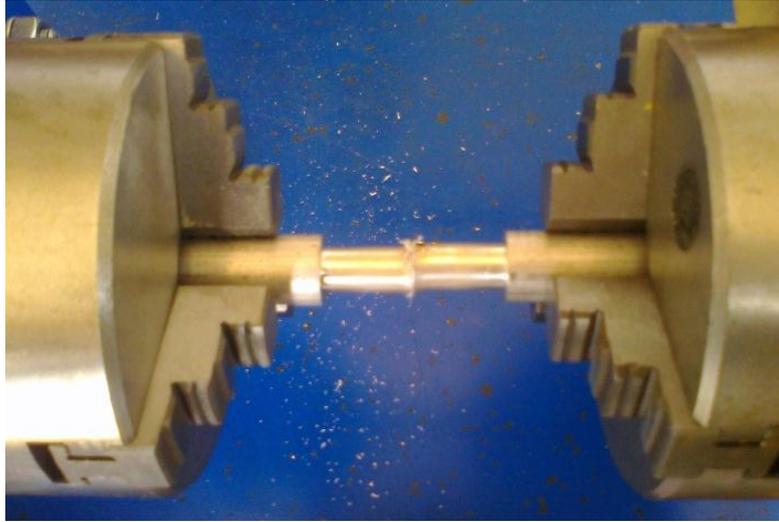


FIG. A4.13 SOLDADURA DE PROBETAS DE COBRE

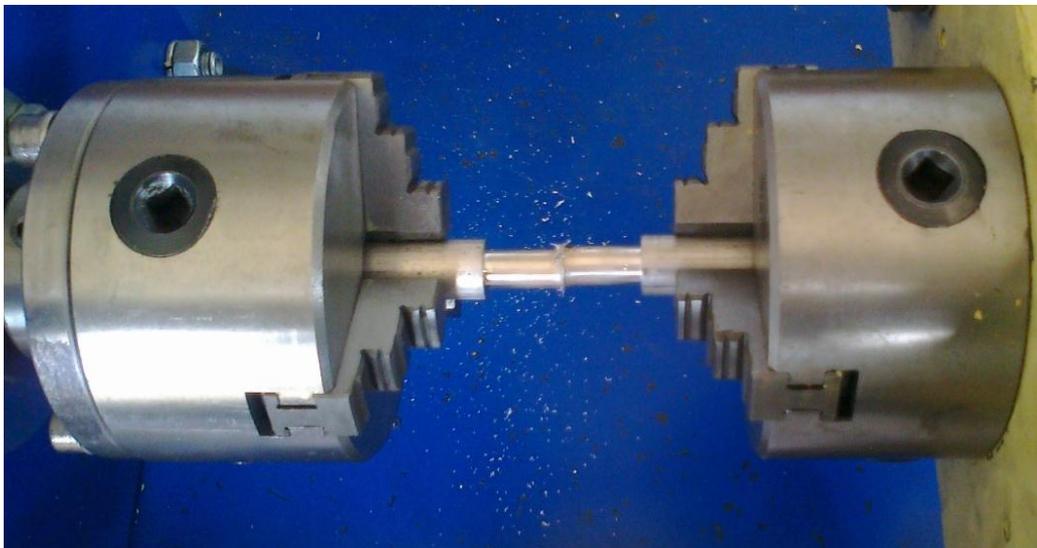


FIG. A4.14 SOLDADURA DE PROBETAS DE ALUMINIO

ANEXO 5

MANUAL DE MANTENIMIENTO

MANUAL DE MANTENIMIENTO

MANTENIMIENTO DEL MOTOR

En un mantenimiento de motores eléctricos, adecuadamente aplicada, se debe inspeccionar periódicamente niveles de aislamiento, la elevación de temperatura (bobinas y soportes), desgastes, lubricación de los rodamientos, vida útil de los soportes, examinar eventualmente el ventilador, cuanto al correcto flujo de aire, niveles de vibraciones, desgastes de escobas y anillas colectoras.

La frecuencia con que deben ser hechas las inspecciones, depende del tipo del motor y de las condiciones locales de aplicación.

La carcasa debe ser mantenerse limpia, sin exceso de aceite o polvo en su parte externa para facilitar el intercambio de calor con el medio.

Advertencia de transporte:

Los motores previstos con rodamientos de esferas o rodillos, siempre que necesiten ser transportados, observar que el eje debe ser debidamente trabado, a fin de evitar daños a los mancales. Utilizar el dispositivo de traba ofrecido juntamente con el motor.

LIMPIEZA

Los motores deben mantenerse limpios, exentos de polvo y aceites. Para limpiarlos, se debe utilizar escobas o trapos limpios de algodón. Si el polvo no es abrasivo, se debe emplear un soplete de aire comprimido, soplando la suciedad de la tapa deflectora y eliminando todo el acumulo de polvo contenido en las aletas del ventilador y en las aletas de refrigeración.

Los restos impregnados de aceite o humedad pueden ser limpiados con trapos embebidos en solventes adecuados.

Esta debe presentar los bornes limpios, sin oxidación, en perfectas condiciones mecánicas y sin depósitos de polvo en los espacios vacíos.

REVISION PARCIAL

- Drene el agua condensada.

- Limpie el interior de la caja de conexión.
- Inspección visual del aislamiento de las bobinas.
- Limpie las anillas colectoras.

REVISION COMPLETA

- Limpie las bobinas sucias con un pincel o escobilla. Use un trapo humedecido con alcohol o con solventes adecuados para remover grasa, aceite y otras suciedades que estén adheridos sobre las bobinas. Seque con aire seco.
- Pase aire comprimido por entre los canales de ventilación en el paquete de chapas del estator, rotor y soportes.
- En caso del motor poseer filtros en la entrada y la salida de aire, los mismos deberán ser limpiados a través de pasaje del aire comprimido.
- Caso la polvareda sea de difícil limpieza, lavarlos en agua fría con un detergente neutro y séquelos en la posición horizontal.

LUBRICACIÓN

- Lubricación y limpieza.
- Examen más minucioso de los rodamientos.

El ruido en los motores deberá ser observado en intervalos regulares de 1 a 4 meses. Un oído bien entrenado es perfectamente capaz de distinguir el apareamiento de ruidos anómalos, aunque empleando medios bien simples (como un desarmador, etc.).

Para un análisis más confiable de los soportes, aconsejamos la utilización de equipos que permitan hacer análisis predictivos.

Los motores son normalmente equipados con rodamientos de esfera o de rodillos, lubricados con grasa. Los rodamientos deben ser lubricados para evitar el contacto metálico entre los cuerpos girantes y también para proteger los mismos contra oxidación y desgaste.

Las propiedades de los lubricantes se deterioran en virtud del desgaste y trabajo mecánico, y más, todos los lubricantes sufren contaminación en el trabajo, por ésta razón se deben substituir de tiempo en tiempo.

INTERVALOS DE LUBRICACION

El periodo de lubricación y el tipo de rodamientos para cada motor están gravados en la plaqueta de identificación colocada en el motor.

El motor que permanezca en stop debe ser relubricado a cada 6 meses. Todos los meses se debe girar el eje algunas vueltas para homogeneizar la grasa por los descansos.

MANTENIMIENTO DEL CILINDRO

- Utilice siempre líquido hidráulico limpio, aprobado y cambie si es necesario.
- Todo elemento expuesto se deben limpiar y lubricar regularmente, y protegerse contra los daños.
- Si un cilindro ha sido expuesto a la lluvia, nieve, arena, el aire cargado de arenilla o cualquier ambiente corrosivo se debe limpiar, lubricar y proteger inmediatamente después de la exposición.

LIMPIEZA PERIÓDICA

Una rutina debe ser establecida para mantener el sistema hidráulico libre de suciedad como sea posible. Todos los acoples no utilizados deben ser sellados con cubierta contra polvo. Todas las conexiones de las mangueras deben estar libres de suciedad y mugre.

ALMACENAMIENTO

Los cilindros de simple efecto deben ser almacenados en posición vertical con el extremo de la barra en un lugar seco y protegido área donde no esté expuesto a vapores corrosivos, polvo u otras perjudiciales elementos.

Cuando un cilindro de efecto simple o émbolo no se ha utilizado durante un período de tres meses debe estar conectado a una bomba, completamente retraído. Este ciclo se lubricará las paredes del cilindro, reduciendo así el potencial para la formación de óxido en las paredes del mismo.

MANTENIMIENTO DE LA BOMBA HIDRAÚLICA.

MANTENIMIENTO PREVENTIVO

Cualquier reparación o mantenimiento que se requiere desmontar la bomba se debe realizar por un técnico calificado.

LUBRICACIÓN

- Aplicar lubricante regularmente a todos los puntos de pivote.
- Utilice un buen grado de aceite de motor N ° 10 o la grasa.
- No utilice lubricantes secos.
- El aire puede acumularse en el sistema hidráulico durante la configuración inicial o después de uso prolongado, haciendo que el cilindro funcione lentamente o en una forma inestable.

Para quitar el aire:

- A. Posición del cilindro a un nivel inferior al de la bomba, y girar el extremo de la barra del cilindro hacia abajo.
- B. Extender y retraer los cilindros varias veces sin poner una carga en el sistema. Aire se liberarán en el depósito de la bomba.