UNIVERSIDAD NACIONAL

“PEDRO RUIZ GALLO”

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA

TESIS

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

“Mejoramiento del proceso de soldadura para reducir deformaciones en las juntas soldadas de estructuras metálicas – Empresa Sayán Maquinarias S.A.C. – Lambayeque”

PRESENTADO POR:

Romero Tello Eberth Alexander

ASESOR:

Fredy Dávila Hurtado

Lambayeque – Perú

2019

UNIVERSIDAD NACIONAL "PEDRO RUIZ GALLO"

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA

TESIS

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

"Mejoramiento del proceso de soldadura para reducir deformaciones en las juntas soldadas de estructuras metálicas – Empresa Sayán maquinarias S.A.C. – Lambayeque"

Presentado por:

Romero Tello Eberth Alexander

-	**Presidente**	:	**Dr. Carranza Montenegro Daniel**
-	**Secretario**	:	**Lic. Gutiérrez Atoche Egberto**
-	**Miembro**	:	**Ing. Tapia Asenjo Robinson**
-	**Asesor**	:	**M.Sc. Dávila Hurtado Fredy**

Lambayeque – Perú

2019

UNIVERSIDAD NACIONAL
"PEDRO RUIZ GALLO"

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA

TESIS

TITULO

"Mejoramiento del proceso de soldadura para reducir deformaciones en las juntas soldadas de estructuras metálicas – Empresa Sayán Maquinarias S.A.C. – Lambayeque"

CONTENIDO:

CAPITULO I : PROBLEMÁTICA DE INVESTIGACION

CAPITULO II: MARCO TEORICO

CAPITULO III: MARCO METODOLOGICO

CAPITULO IV: PROPUESTA DE LA INVESTIGACIÓN

CAPITULO V: ANALISIS E INTERPRETACION DE LOS RESULTADOS

CAPITULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMEDACIONES

Dr. Carranza Montenegro Daniel
Presidente

Lic. Gutiérrez Atoche Egberto
Secretario

Ing. Tapia Asenjo Robinson
Miembro

M.SC. Dávila Hurtado Fredy
Asesor

DEDICATORIA

Por la formación espiritual, las enseñanzas desde pequeño, este proyecto es dedicado a cada uno de mis seres queridos, que han sido el ejemplo para salir adelante.

Siendo una gran satisfacción haber recibido toda su esperanza y amor hacia mi persona,

A mis padres Marco Antonio Romero Chapoñan y Mary Ysabel Tello Montalvo, porque son los pilares de mi vida, y sin ellos no hubiera llegado tan lejos, por el espíritu y dedicación que ponen en cada actividad que hacen.

Bach. Romero Tello Eberth Alexander

AGRADECIMIENTO

Gracias a Dios por darme la vida y por darme la oportunidad de estar aquí compartiendo con ustedes uno de los momentos más importantes dentro de mi formación como profesional. A mis padres y hermanas que me animaron con sus buenos deseos y motivación, a los ingenieros que me formaron con cada clase y apoyo fundamental, además del apoyo durante la elaboración de la presente tesis.

No ha sido sencillo el camino hasta el momento, pero gracias a cada uno de ustedes porque de alguna u otra manera sus aportes y buenos deseos me empujan a salir adelante. Les agradezco y hago presente mi gran afecto hacia ustedes, mi hermosa familia.

RESUMEN

El objetivo de esta tesis fue la de encontrar un procedimiento para reducir las deformaciones que se presentan a través de la aplicación de la soldadura y además de ponerlo en práctica dentro del taller, durante la fabricación de las máquinas que se construyen con distintos métodos de soldadura en la empresa Sayán Maquinarias. El tipo de investigación utilizada fue la de investigación Aplicada ya que trata de dar solución a un problema que se nos presenta en la vida real, con base en los objetivos específicos, y teniendo en cuenta la premisa de que las deformaciones en soldadura se pueden reducir, pero nunca eliminar del todo se presentan a continuación los siguientes resultados: La deformación que causaba el procedimiento anterior al desarrollo de la presente tesis es el que causaba más distorsión angular siendo esta de 88° 15” teniendo en cuenta que mientas más lejos este de la perpendicularidad (90°) se presenta más deformación de la plancha estudiada, y reconociendo que dos de los procedimientos propuestos son lo que causan menos deformación en el ángulo de la plancha estudiada los cuales tuvieron el mismo resultado siendo este el de 88°55”.

Palabras clave: Deformación, distorsión, soldadura.

ABSTRACT

The objective of this thesis was to find a procedure to reduce the deformations that occur through the application of welding and in addition to putting it into practice within the workshop, during the manufacture of machines that are built with different welding methods in the Sayan Maquinarias company. The type of research used was that of Applied research since it tries to solve a problem that is presented to us in real life, based on the specific objectives, and taking into account the premise that welding deformations can be reduced , but never eliminate at all the following results are presented below: The deformation caused by the procedure prior to the development of this thesis is the one that caused the most angular distortion, being 88 ° 15 ”, taking into account that you lie further east of the perpendicularity (90 °) presents more deformation of the plate studied, and recognizing that two of the proposed procedures are what cause less deformation in the angle of the plate studied which had the same result being this one of 88 ° 55 ” .

Keywords: Deformation, distortion, welding.

INDICE

DEDICATORIA……..IV

AGRADECIMIENTO…….…V

RESUMEN……VI

ABSTRACT……..VII

INDICE……VIII

INDICE DE TABLAS…….....X

INDICE DE FIGURAS…….....XI

INTRODUCCION 13

CAPITULO I. PROBLEMA DE INVESTIGACION..... 14

1.1. Realidad Problemática 14

1.2. Formulación del Problema 14

1.3. Delimitación de la investigación 14

1.3.1. Delimitación espacial 14

1.4. Justificación e Importancia de la Investigación 14

1.5. Limitaciones de la Investigación..... 15

1.6. Objetivos de la Investigación..... 15

1.6.1. Objetivo General..... 15

1.6.2. Objetivo Especifico 15

CAPITULO II. MARCO TEORICO..... 16

2.1. Antecedentes de Estudios 16

2.1.1. Internacional 16

2.1.2. Nacional..... 17

2.2. Desarrollo de la temática correspondiente al tema investigado 17

2.2.1. ¿Qué es la Soldadura? 17

2.2.2. Origen y Evolución de la Soldadura..... 18

2.2.3. Aplicación de la Soldadura 18

2.2.4. Elementos que se forman en el proceso de Soldadura 18

2.2.5. Clasificación de la Soldadura..... 19

2.2.6. Acero Estructural ASTM – 36 39

2.2.7. Deformaciones en la Soldadura..... 41

2.3. Definición conceptual de la terminología empleada..... 48

2.4. Normas aplicadas a trabajos de soldadura 52

a) Nacionales: 52

b) Internacionales 52
CAPITULO III. MARCO METODOLOGICO 53
3.1. Tipo y Diseño de Investigación 53
3.2. Población y Muestra 53
3.3. Hipótesis 53
3.4. Variables y Operacionalizacion 54
3.5. Métodos y Técnicas de Investigación 54
3.6. Descripción de los instrumentos utilizados 56
3.7. Interpretación de los datos 56
CAPITULO IV. PROPUESTA DE INVESTIGACION 58
4.1. Reglas que se proponen para evitar las deformaciones en metales. 58
Para juntas soldadas en filete: 58
Para juntas que utilizan las fuerzas causantes de contracción: 60
Para juntas que equilibran las fuerzas de contracción con otras fuerzas: . 61
CAPITULO V. ANALISIS E INTERPRETACION DE RESULTADOS 63
5.1. Planos Realizados 63
5.2. Resultados de las Pruebas 63
5.3. Discusión de Resultados 63
5.4. Costos 64
5.4.1. Costos Directos 64
5.4.2. Costos Indirectos 65
5.4.3. Costos Totales: 66
CAPITULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 67
6.1. Conclusiones 67
6.2. Recomendaciones 67
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS 68
ANEXOS 69

INDICE DE TABLAS

Tabla N° 1 29
Tabla N° 2 33
Tabla N° 3 40
Tabla N° 4 54
Tabla N° 5 56
Tabla N° 6 63
Tabla N° 7 64
Tabla N° 8 64
Tabla N° 9 65
Tabla N° 10 65
Tabla N° 11 65
Tabla N° 12 65

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Componentes que se forman en el proceso de soldadura 19
Figura 2 Equipo de Soldadura 20
Figura 3 ¿Qué es un Electrodo? 21
Figura 4 Nomenclatura de un Electrodo 22
Figura 5 Clasificación de Electrodos 23
Figura 6 Espesor de Electrodos 24
Figura 7 Polaridad Directa, CCEN, SP 24
Figura 8 Polaridad Inversa, CCEP, RP 25
Figura 9 Operación de Soldadura por Arco de Tungsteno y Gas 26
Figura 10 Polaridad Corriente Continua Electrodo al Negativo 30
Figura 11 Polaridad Corriente Continua Electrodo al Positivo 31
Figura 12 Polaridad Corriente Alterna 31
Figura 13 Clasificación de Electrodos 33
Figura 14 Proceso GMAW 35
Figura 15 Esquema de Transferencia en Spray 36
Figura 16 Esquema de Transferencia Globular 37
Figura 17 Esquema de Transferencia por Corto Circuito 38
Figura 18 Ejemplo 1. Cambios en las Propiedades Físicas y Mecánicas al Aumentar la Temperatura 42
Figura 19 Ejemplo 2. Cambios en las Propiedades Físicas y Mecánicas al Aumentar la Temperatura 43
Figura 20 Curvas Isométricas en una plancha sometida a soldadura a tope .. 44
Figura 21 Comportamiento de una barra de metal sometida a Alta Temperatura 44
Figura 22 Tensiones Internas Presentes en una Soldadura Filete 45
Figura 23 Distorsiones en la soldadura 48
Figura 24 Menor cantidad de pasadas de soldadura 58
Figura 25 Poco depósito de soldadura 59
Figura 26 Soldadura Alternadas o Intermitentes 59
Figura 27 Preparar la Pieza adecuadamente 59
Figura 28 Soldadura de retroceso 60
Figura 29 Piezas fuera de posición 60

Figura 30 Separación de Piezas para equilibrar la contracción..... 60
Figura 31 Curvado previo del lado opuesto al de la soldadura 61
Figura 32 Equilibrar las fuerzas de contracción con otras fuerzas 61
Figura 33 Aplicar soldadura alternada en ejes 61
Figura 34 Flujograma Propuesto para la realización de la presente tesis 62

INTRODUCCION

En la empresa Sayán Maquinarias S.A.C. ubicada en el km 7.5 de la carretera de Lambayeque, se construyen diferentes máquinas para el proceso agroindustrial a base principalmente de acero. Debido a esto, se presentan las deformaciones que tiene lugar en las juntas soldadas, producto de los ciclos térmico de calentamiento y enfriamiento que son muy importantes en la construcción.

Las operaciones de soldadura es la principal fuente de introducción de desviaciones respecto a lo proyectado. Por lo tanto, tener la precisión adecuada en este proceso es de suma importancia y debe ser estrictamente controlada para conseguir las tolerancias deseadas. También es importante establecer estas tolerancias dentro de límites aceptables, ya que si se exigen limites muy severos, los costos de producción se verán excesivamente elevados. La aproximación racional al problema pasa por la predicción de las deformaciones en forma precisa, solo así, se podrán tomar las medidas necesarias sobre los factores claves.

De esta forma una vez finalizada este proyecto de investigación, podremos comprender de mejor manera el fenómeno de las deformaciones térmicas, y en la práctica laboral podrá desarrollar soluciones para el control y disminución de estas, teniendo siempre presente que no es posible eliminarlas.

CAPITULO I. PROBLEMA DE INVESTIGACION

1.1. Realidad Problemática

El problema principal en la construcción de máquinas para el proceso agroindustrial de la empresa Sayán Maquinarias es la ocasionada por la deformación térmica debido a la soldadura de algunos tipos como es la de varilla consumible. Por lo tanto, es que se encuentra en la búsqueda de opciones y así escoger la más adecuada.

1.2. Formulación del Problema

¿Qué procedimiento podríamos utilizar para evitar las deformaciones en juntas de construcciones metálicas en la empresa Sayán Maquinarias SAC de Lambayeque, teniendo en cuenta también el factor económico y de calidad, para obtener una mejora en el acabo de la soldadura?

1.3. Delimitación de la investigación

1.3.1. Delimitación espacial

El desarrollo de la presente investigación tuvo lugar en el taller de la empresa Sayán Maquinarias S.A.C. específicamente en el Área de Soldadura, ubicada en el km 7.5 de la carretera Panamericana Norte – Lambayeque.

1.4. Justificación e Importancia de la Investigación

A través de la experiencia que se ha obtenido en la fabricación de maquinaria para procesos industriales, se ha generado una inquietud la cual es la de mejorar en la calidad de la fabricación de dichas máquinas, es ahí donde interviene la necesidad de buscar una mejora para el método de soldar, garantizando el cumplimiento de la normativa para la mejora continua del producto, ya sea buscando una soldadura de varilla consumible más eficiente o el cambio de método para soldar. Ya que la empresa busca la manera de posicionarse en el mercado internacional y para ello la calidad de sus productos debe ser el mejor posible.

Además de buscar una mejora en calidad también se desea establecer un equilibrio económico ya que al mejor la calidad del producto la empresa podría incrementar el costo y así a un largo plazo poder obtener mejores utilidades.

1.5. Limitaciones de la Investigación

Limitaciones de Calidad: las pruebas a realizarse en los cordones de soldadura son los siguientes

- Inspección de tintes penetrantes
- Inspección visual de soldadura

1.6. Objetivos de la Investigación

1.6.1. Objetivo General

El objetivo general es encontrar un procedimiento y ponerlo en práctica en la fabricación de las máquinas que se construyen dentro del taller mecánico de la empresa Sayán Maquinarias para evitar así las deformaciones que se presentan a través de la aplicación de la soldadura.

1.6.2. Objetivo Especifico

- Realizar un diagnóstico inicial al proceso de soldadura, en el taller de fabricación, con la finalidad de tomar datos del porque se causa la deformación.
- Documentar el procedimiento que se tiene durante el soldeo de piezas para compararlo con pruebas ya realizadas para resaltar las más resaltantes diferencias.
- Elaborar un procedimiento de aplicación de la soldadura para obtener resultados favorables en cuanto a las deformaciones.
- Proporcionar la correcta información al personal para contribuir en que la formación sea mutua.

CAPITULO II. MARCO TEORICO

2.1. Antecedentes de Estudios

2.1.1. Internacional

- En la Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería, División de Ingeniería Mecánica e Industrial, se realizó la investigación que lleva por título “PROPUESTA DE PRACTICAS DE SOLDADURA SMAW CON BASE EN EL DESARROLLO DE LA WPS ARA LABORATORIOS DE MECANICA”. El cual a través de las 5 practicas realizadas las cuales permiten conocer el proceso, inspección y calificación de soldadores además de los elementos soldados. (José Navarrete Posadas, 2016).
- En la Corporación Mexicana de Investigación en Materiales, la investigación llamada “ANALISIS DE DEFECTOS Y COMO EVITARLOS EN SOLDAADURAS DE ARCO SMAW Y SAW LONGITUDINALES Y CIRCUNFERENCIALES EN DUCTOS DE TRANSPORTE DE HIDROCARBUROS”, nos ayuda a concentrar una fuente de información de consulta rápida y confiables de los diferentes tipos de defectos en las soldaduras por arco de los procesos SMAW y SAW, como se originan y las técnicas y/o procedimientos para evitarlos. (Angel Murillo Sigero, 2010).
- La investigación del Instituto Politécnico Nacional en la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y eléctrica, la cual lleva por nombre ESTUDIO COMPARATIVO DEL PROCESO DE SOLDADURA MIG Y TIG EN UN ACERO INOXIDABLE 416 UTILIZADO EN LA INDUSTRIA ALIMENTICIA Y DE GENERACION DE CALOR, nos habla de acerca de la comparación de la soldadura aplicada en la soldadura debido a que alguna de ellas presenta fallas en algunos procesos para las cuales son utilizadas.(Juan Carlos Camacho, Ismael Gonzales Luna, José Sánchez Cureño, 2011).
- El desarrollo de la investigación hecha en La Fundación Universitaria Los Libertadores de Bogotá, en Ingeniería Industrial, llamada “IMPLEMENTACION DE UN PLAN DE MEJORAMIENTO PARA EL PROCESO DE SOLDADURA EN LA FABRICACION DE UNIDADES DE CAMPAMENTOS EN KNO ENVIRONMENTAL SOLUTION LTDA”, la cual nos habla de la normatividad en el proceso de soldadura para una mejora

continua además de obtener la satisfacción del cliente y la competitividad en el mercado.

2.1.2. Nacional

- En la Universidad Nacional San Agustín de Arequipa, Facultad de Ingeniería de Procesos en la Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica, se realizó un trabajo de investigación que lleva por título “IMPLEMENTACION DE PROCEDIMIENTOS DE SEGURIDAD EN SOLDADURA Y CORTE EN LA EMPRESA ALLTEC INC S.R.L.”, donde se menciona de una manera detallada las normas que son usadas en el proceso de soldadura, tanto en la aplicación adecuada de la soldadura como también en la seguridad que debemos tener durante el proceso. (Rubén Pancca Parizaca, 2014)

2.2. Desarrollo de la temática correspondiente al tema investigado

2.2.1. ¿Qué es la Soldadura?

Una soldadura según la AWS (American Welding Society), es una coalescencia localizada de metal (unión de metales en uno), formando una sola pieza única, producida por el calentamiento del material a una temperatura suficientemente alta y requerida por el material para causar el reblandecimiento o fusión.

Es usada por las empresas del sector productivo como fabricadas de automoción, petroquímica, naval, en concreto se utiliza para la construcción de estructuras metálicas, siendo responsabilidad de cada una de las empresas, garantizar la calidad de la soldadura a través de cumplir la normatividad que es requerida en cada uno de los procesos, como también la idoneidad y habilidad de los técnicos soldadores para dicho proceso, respetando la compatibilidad del metal de soldadura depositado con el metal base utilizado, para obtener la calidad necesaria que es ofrecida a los clientes

El proceso de soldadura, ofrece empleo continuo con actualizaciones permanentes y diferentes en cada sector productivo, los soldadores y punteadores deben tener una evaluación para el ejercicio del proceso, siendo calificados para diferentes procesos de soldadura, permitiendo esto la garantía de realizar un buen trabajo ganando confiabilidad a la empresa como al soldador.

2.2.2. Origen y Evolución de la Soldadura

La unión de metales separados, data de hace miles de años con los antiguos metalúrgicos y sus contribuciones, Existen hallazgos del trabajo realizado por los Faraones de Egipto. Los primeros avances en cuanto a la soldadura fue la Soldadura por Forja, la cual se basa en calentar dos piezas de metal en una sola fragua hasta que estos metales estén con contextura blandas y flexibles, después se le aplicaba golpes con un martillo y es así que forjaban las piezas en un yunque para luego dejarse enfriar y quedar unidos.

El primer método de unión de metales, la forja, tuvo mucha importancia también en la civilización romana. Fue evolucionando en la edad media trayendo avances muy importantes ya que eran muy habilidosos en dicho proceso.

La industria siguió creciendo junto con la evolución del proceso de soldadura que llega a ser tal y como lo conocemos actualmente a principios del siglo XX, con las nuevas actualizaciones de soldadura con gas inerte y la creación del soplete para soldadura TIG en 1942.

2.2.3. Aplicación de la Soldadura

La necesidad de unir metales diferentes a una temperatura relativamente baja, hace que actualmente se utilice la soldadura para sectores productivos como son la industria automotriz, la naval, la petroquímica y la construcción de equipos, es decir en construcción en general, esto hace que se pueda ofrecer más y mejores empleos dentro de cualquier tipo de empresa que requiera estos servicios, además también de ser una alternativa de trabajo autónomo, todos con el fin de la fabricación, montaje o reparación de construcciones metálicas.

2.2.4. Elementos que se forman en el proceso de Soldadura

- **Metal Base:** es el material en el que se efectúa la fusión con otro elemento y forman un solo; en el cuerpo unificado existe una superficie afectada por el incremento de temperatura que genera la soldadura, y una superficie no afectada que las propiedades mecánicas siguen siendo iniciales.
- **Material de Aporte de Soldadura**: es el metal fundido, sus propiedades químicas y mecánicas son las correspondientes a la fusión del material de aporte suministrado.

- **Zona afectada térmicamente (ZAT):** Es la zona del material base, donde sufren transformaciones micro estructurales, además se alteran las propiedades mecánicas y se producen la inserción de tensiones residuales en el elemento.

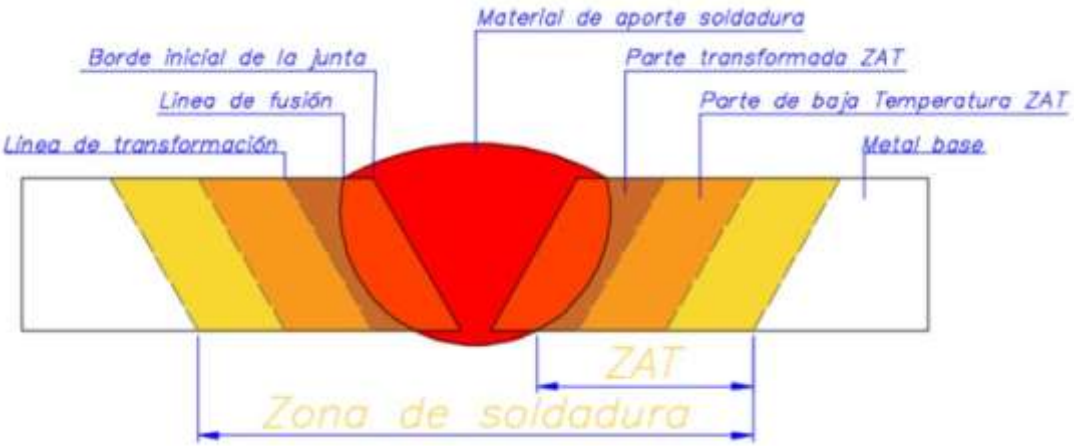


Figura 1 Componentes que se forman en el proceso de soldadura

Fuente: (Leysensetter A. 1974)

2.2.5. Clasificación de la Soldadura

Los procesos de soldadura más conocidos son: Arco Electrico, por llamas, por puntos, por presión, etc. para su elección se debe realizar un análisis técnico - económico.

a) Soldadura SMAW

Identificado por la AWS como SMAW (Shield Metal Arc Welding). Una de las soldaduras con menor coste y usado de forma indispensable en la gran mayoría de las industrias, siendo aplicada de manera fácil y obteniendo resultados perfectos además de poder ser aplicada a gran mayoría de la clase de metales.

Se realiza a través de un electrodo en forma de varilla, el cual es consumible y esta revestida, está formada por dos partes, el núcleo metálico y el revestimiento cerámico obtenido por extrusión.

El Proceso es realizado a través del calor generado por un arco electrico que es causado entre el electrodo revestido y el metal base de la unión a soldar, el material de aportación se obtiene por la fusión del electrodo en forma de pequeñas gotas. La protección se obtiene del desgaste del recubrimiento en

forma de gas y sobre la escoria liquida que se firma alrededor de la fusión, la cual se solidifica.

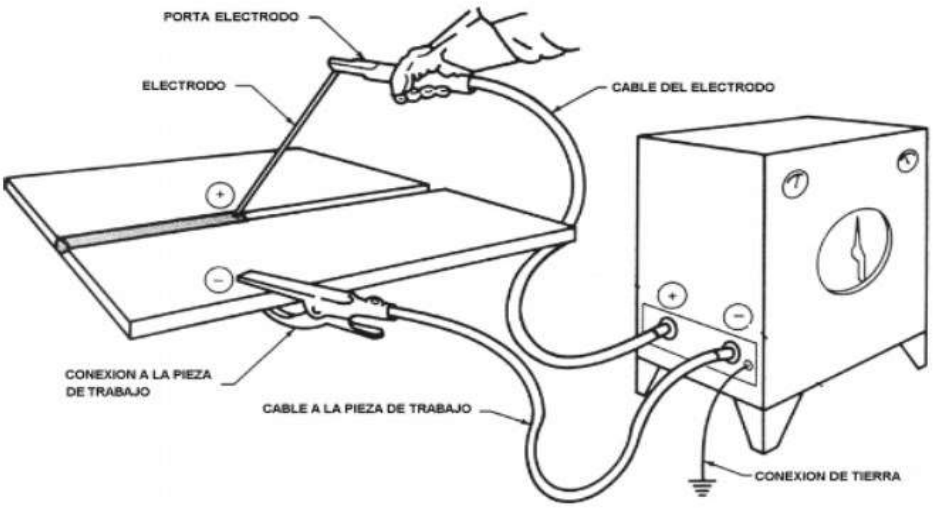


Figura 2 Equipo de Soldadura

Fuente: ANSI / AWS A3.0:2001. Norma de Términos y Definiciones de Soldadura

- **Ventajas:**
- El equipo que se utiliza es comúnmente fácil de llevar y de un manejo sencillo además de no ser muy caro
- El electrodo revestido ofrece la protección durante el proceso de soldeo, sin necesidad de requerir una protección adicional como lo son los gases auxiliares o granulares
- Siendo uno de los procesos que no requiere la misma protección al viento, debe de protegerse de ello
- Es aplicable a la gran mayoría de metales y aleaciones de uso en construcciones metálicas
- Es aplicable a gran variedad de espesores (mayores de 2mm)
- **Limitaciones:**
- Su proceso se torna lento al tener que retirar la escoria
- Requiere gran precisión de parte del soldador.
- No es aplicable a metales de alta sensibilidad a la oxidación
- No es aplicable a metales con punto de fusión a baja temperatura.

a.1. Electrodos Revestidos

Es un elemento fundamental en el proceso de soldadura, a través de él se establece el arco electrico, se protege el baño de fusión y al consumirse se realiza la APORTACION DE MATERIAL que constituye la soldadura junto con el metal usado.

El Núcleo metálico llamado alma, es un alambre de sección circular uniforme que sirve como material de aportación. Dependiendo del metal, su composición química varia y también varía de acuerdo del material de la pieza a soldar.

El Revestimiento es un cilindro concéntrico que envuelve el alma del electrodo. Están compuestos por diferentes sustancias químicas que caracterizan el electrodo.

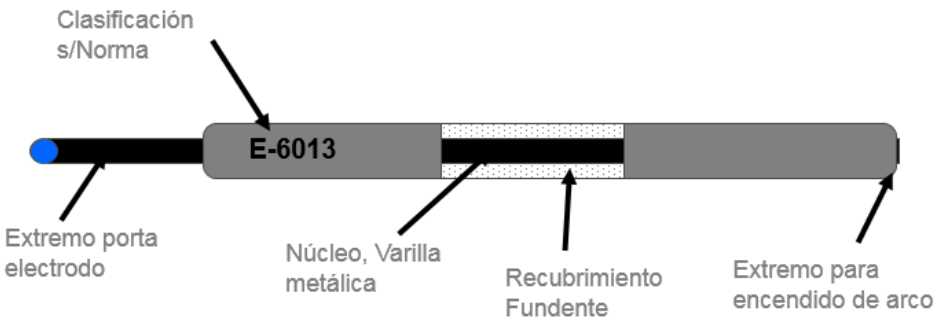


Figura 3 ¿Qué es un Electrodo?

Fuente: Centro de Conocimiento ESAB – Pagina WEB

Tiene las siguientes funciones:

- Dirige el arco, conduciendo a una fusión equilibrada y uniforme.
- Crea gases que actúan como protección evitando el acceso de oxígeno y de nitrógeno
- Produce una escoria que cubre el metal de aporte, evitando el enfriamiento brusco y también el contacto del oxígeno y del nitrógeno.

Características de los electrodos:

Los electrodos se clasifican a través de la nomenclatura entre letras y números para poder ser identificados, la cual nos ayuda a elegir el electrodo correcto para un trabajo determinado.

Se selecciona según los siguientes parámetros:

- Tipo de corriente que se dispone
- Posición de la pieza a soldar
- Naturaleza del metal y resistencia que debe poseer.

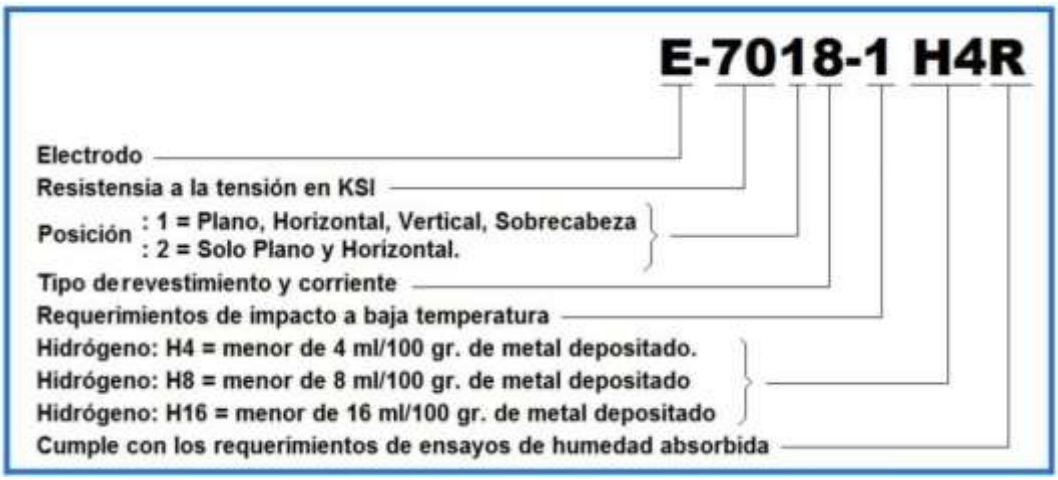


Figura 4 Nomenclatura de un Electrodo

Fuente: Soldador por Arco con Electrodo Revestido

CSA W48 -1 M 1984	AWS A5.1	CORRIENTE Y POLARIDAD	TIPO DE RECUBRIMIENTO	CARACTERÍSTICAS DE LA APLICACIÓN	POSICIÓN PARA SOLDAR
E41010	E6010	CCPI	Celulosa	Para soldadura con calidad para rayos X. Penetración profunda, escoria delgada.	Todas
E41011	E6011	CCPI, CCPD, CA	Celulosa	Igual que para E41010 o E6010, pero también se puede emplear con ca.	Todas
E41012	E6012	CA o CCPD	Rutilo	Para trabajos generales con preparación definiente.	Todas
E41013	E6013	CCPI, CCPD, CA	Rutilo	Penetración y escoria medianas. Para trabajo general de buena calidad. Penetración ligera, escoria gruesa.	Todas
E41014	E6014	CCPI, CCPD, CA	Rutilo, polvo de hierro	Similar a E41013 o E6O13 . Penetración ligera, escoria gruesa, soldadura de aspecto terso. Se puede usar técnica de arrastre.	Todas
E41015	E6015	CCPD	Bajo contenido de hidrógeno	Para acero dulce y de bajo contenidodo de aleación. Escoria vidriosa.	Todas
E41016	E6016	CCPI, CCPD, CA	Bajo contenido de hidrógeno	Igual que E4015 o E6015, pero se puede emplear con ca.	Todas
E41018	E6018	CCPI o CA	Bajo contenido de hidrógeno	Excelente para acero dulce y de bajo contenido de aleación. Muy buena penetración, escoria mediana y vidriosa.	Todas
E41024	E6024	CCPI, CCPD, CA	Rutilo, 50% de polvo de hierro	Para depósito de más cantidad de metal. Penetración ligera, soldadura de aspecto terso. Se puede usar técnica de arrastre.	Soldaduras planas, filetes horizontales
E41028	E6028	CCPD o CA	Bajo contenido de hidrógeno, 50% de polvo de hierro	Combinación de bajo contenido de hidrógeno y polvo de hierro. Se deposita más metal. Se puede usar técnica de arrastre. Soldadura de aspecto muy terso, escoria gruesa y vidriosa.	Filetes horizontales, soldaduras planas

Figura 5 Clasificación de Electrodos

Fuente: Soldador por Arco con Electrodo Revestido

MILÍMETROS	CALIBRE O PULGADAS	MILÍMETROS	CALIBRE O PULGADAS	AMPERAJE
1.3 mm	18 calibre	1.6 mm	1/16 in.	50-80
1.6	16	2.5	3/32	50-80
1.9	14	3.2	1/8	90-135
2.7	12	3.2	1/8	90-135
3.4	10	4.0	5/32	120-175
4.8	3/16	4.0	5/32	120-175
6.4	1/4	4.0	5/32	120-175
7.9	5/16	5.0	3/16	200-275

Figura 6 Espesor de Electrodos

Fuente: Soldador por Arco con Electrodo Revestido

a.2. Tipos de conexión y su influencia

1) Conexión de Polaridad Directa

Es decir que el portaelectrodo está conectado en el terminal negativo y a la pieza a soldar el positivo, teniendo así que se está soldando con corriente continua electrodo negativo a la que en abreviatura se llama CCEN, o en ingles SP (straight Polarity, polaridad directa).

Características:

- Cordones con gran penetración
- El electrodo se calienta menos
- No se produce el decapado.

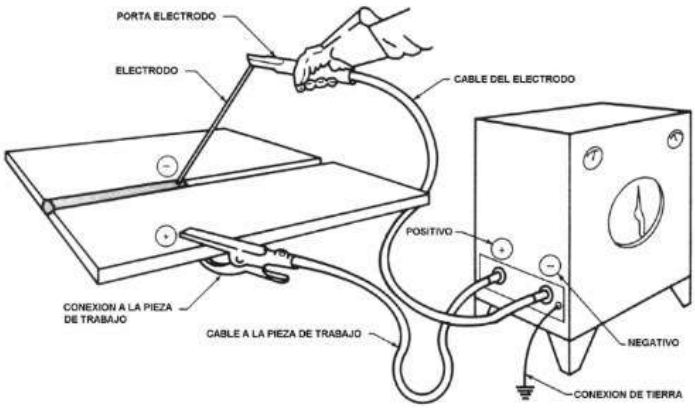


Figura 7 Polaridad Directa, CCEN, SP

Fuente: ANSI / AWS A3-2001. Norma de Términos y Definiciones de Soldadura

2) Conexión de Polaridad Invertida

Si se conecta el portaelectrodo en el terminal positivo, ya la pieza a soldar el negativo, se puede decir que se suelda con corriente continua electrodo positivo, CCEP en abreviatura, o en ingles RP (Reverse Polarity).

Características:

- Soldadura de cordón ancho y poca penetración
- El electrodo recibe más calor
- Se produce el efecto de decapado o limpieza de óxidos.

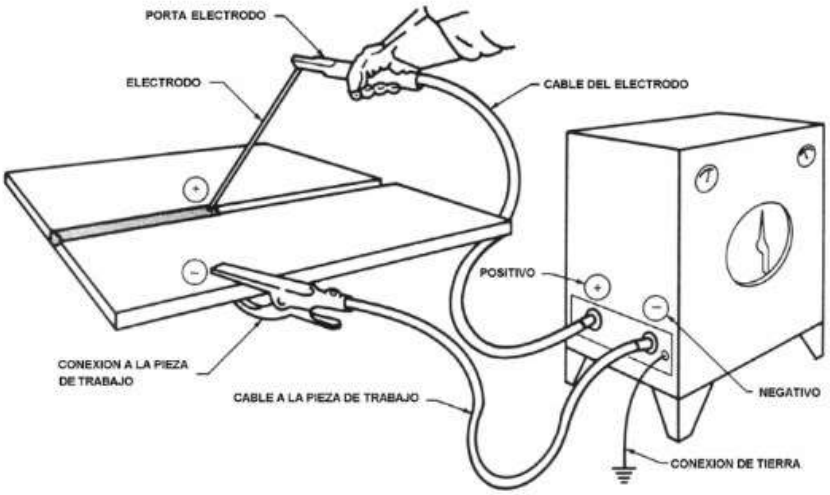


Figura 8 Polaridad Inversa, CCEP, RP

Fuente: ANSI / WS A3-2001. Norma de Términos y Definiciones de Soldadura

b) Soldadura GTAW

La soldadura por arco de tungsteno y gas (GAS TUNGSTEN ARC WELDING, GTAW), es un proceso de soldadura por arco que utiliza un arco de electrodo de tungsteno (No consumible).

Este proceso de soldadura GTAW se ha vuelto una herramienta indispensable en muchas industrias en virtud de la alta calidad de las soldaduras producidas y el bajo costo del equipo.

El proceso empleado es con un gas protector y sin aplicación de presión. La adición de aporte es opcional, según se muestra en la FIG 9 Operación de soldadura por arco de tungsteno y gas.

El arco produce el calor necesario para fundir el material. El gas protector mantiene el oxígeno del aire apartado del baño de fusión y el tungsteno caliente, el gas más usado es el Argón ya que produce una buena cobertura de la zona de soldadura y es mucha mas económico que el Helio.

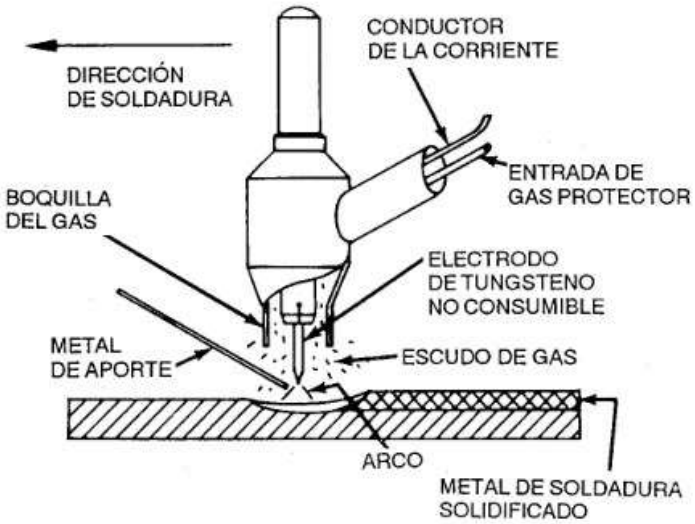


Figura 9 Operación de Soldadura por Arco de Tungsteno y Gas

Fuente: Manual de Soldadura AWS. Vol. 1

Este proceso también se le conoce como TIG (Tungsten Inert Gas) pero la terminología usada por la AWS es la GTAW, ya que en ocasiones es posible usar gases protectores no inertes.

Este proceso como se muestra en la FIG 9, está conformado por un soplete el cual sostiene el tungsteno y además es por el cual se alimenta de gas inerte para proteger el electrodo, el charco de soldadura y el metal que está siendo soldado ya que la atmosfera los puede contaminar, asi se produce el arco electrico a través del paso de corriente por el gas protector ionizado.

El arco se establece entre la punta del electrodo y el material, el calor generado funde el metal base, una vez creado el charco de soldadura el soplete se mueve a lo largo de la unión y el arco funde progresivamente las superficies de empalme, en muchos casos se usa el material de aporte para llenar la junta.

- **Ventajas:**

- Permite soldar en toda posición y todos los metales, a saber, aceros aleados, aluminio, magnesio, cobre, níquel otros metales especiales, tales como el titanio el circonio, es imprescindible para espesores finos.
- Debido a que el electrodo de tungsteno y el material de aporte son independientes, permite añadir solo la cantidad adecuada, evitando generar soldaduras con sobreespesores innecesarios, con muy buen aspecto.
- Genera un decapado de la capa de óxido que recubre los metales, refractaria en el caso del aluminio, mientras que el gas inerte evita la regeneración de la misma, a los que produce una soldadura limpia
- Permite al soldador ver bien la pileta liquida, se puede soldar una amplia gama de espesores y hasta de 4mm de espesor sin preparación de bordes.
- Permite controlar la penetración, por lo que se usa para la pasada de raíz de finos grandes espesores, luego se puede completar la junta con cualquier otro proceso
- Aporta energía concentrada, con mínimas deformaciones y la zona afectadas al calor.
- Permite obtener soldaduras con la misma composición química y propiedades mecánicas que el metal base, cuando no hay material de aporte.
- No transfiere material a través del arco, pr lo que se producen salpicaduras.

- **Limitaciones:**

- Puede haber inclusiones de tungsteno si se permite que el electrodo haga contacto con el charco de soldadura.
- El metal de soldadura puede contaminarse si no se mantiene como es debido el escudo de gas protector alrededor del metal de aporte.
- Se requiere mayor habilidad del soldador que con electrodo revestido y MIG-MAG.
- Las velocidades de disposición son menores que aquellas obtenidas con otros procesos de soldadura por arco electrico con consumible.

b.1. Gases de Protección:

La función principal del gas de protección es desplazar el aire de la zona de soldadura para proteger al metal fundido, baño de fusión y el electrodo, para evitar su contaminación. Esta contaminación es originada principalmente por el oxígeno, nitrógeno y agua presentes en la atmosfera que pueden reaccionar con el metal fundido, causando defectos que debilitan la soldadura.

El gas de protección también influye en muchos otros factores, por eso habrá que tener en cuenta todos ellos.

Estos factores son:

- El tipo de transferencia de metal
- La estabilidad del arco
- La cantidad y en la calidad de los humos
- Las propiedades mecánicas
- La penetración y en el tipo y tamaño de cordón.
- La velocidad de soldadura
- La cantidad de energía que pasa a través del arco electrico
- Formar parte del plasma que se genera al pasar la intensidad de soldadura a través del espacio entre el electrodo y el metal a soldar.

Debido a todos estos factores a los cales influye el gas de protección, a la ohra de la selección del gas adecuado, en ocasiones, un factor será el que tendrá mayor importancia, pero en otras será necesario hacer una evaluación de todos ellos.

Para el soldeo GTAW los gases de protección utilizados son los siguientes:

- Helio
  - Ionización elevada, es por ello que se utiliza en espesores grandes.
  - Muy baja densidad
  - Mayor velocidad de soldeo debido a su elevada aportación térmica.
  - Alta conductividad produciendo cordones anchos con baja penetración.
- Argón
  - Eficiente protección debido a su alta densidad: el argón es 1.4 veces más pesad que el aire, lo que significa que tiende a cubrir bien el área de

soldadura en contraposición al helio que es mucho más ligero que el are. Debido a que la densidad del argón es 10 veces superior a la del helio se requiere un caudal de helio dos o tres veces superior a la del argón para proporcionar la misma protección. Debido a su alta densidad el argón es aconsejable para soldar bajo techo y vertical y es menos sensible a las corrientes de aire.

- Cebado fácil: es más cebar el arco con el argón que con el helio, ya que requiere menor energía de ionización.
- Buena estabilidad en el arco debido a su baja ionización
- Económico: es mucho menos costoso que el helio
- Idóneo para pequeños espesores: debido a su baja ionización necesita menos tensiones produciendo arcos eléctricos con baja energía generando un aporte de calor reducido.

➢ Mezclas de argón + helio.

- Estos gases son complementarios entre sí, y dependiendo de su relación nos ofrecerá distintas prestaciones.

➢ Hidrogeno (Aditivo al Argón)

- Aumenta la aportación térmica
- Ayuda a aumentar la velocidad, anchura de cordón y penetración.

Tabla N° 1

Gases Apropiados para cada tipo de material a soldar

Gas	Metal Base
Argón	Aluminio y sus aleaciones
	Acero al Carbono
	Acero Inoxidable
	Cobre y sus aleaciones en espesores menores de 3mm
Helio	Cobre y sus aleaciones en espesores mayores de 3mm
Mezcla Argón – Helio	Latón y sus aleaciones

Fuente: Soldadura y Estructuras

b.2. Polaridades de Trabajo

Cambiado el gas formador del plasma, se obtiene un cambio en el balance del calor entre el cátodo y el ánodo, conexionado según distintas aplicaciones.

- CCEN (Corriente Continua Electrodo al Negativo)

Se obtiene buena penetración, con mayor calor concentrado sobre la pieza (70%), la punta del tungsteno permanece más fría (30%) por eso permite trabajar con mayores intensidades sin que se funda el extremo manteniendo su afilado original, se usa en la mayoría de las aplicaciones incluyendo el acero inoxidable y el titanio, no se usa en la soldadura de aluminio y magnesio, los esfuerzos de contracción son menos severos y se produce menor distorsión del material base.

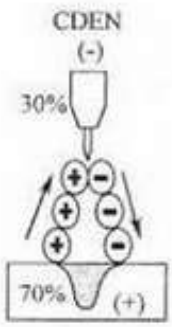


Figura 10 Polaridad Corriente Continua Electrodo al Negativo

Fuente: Manual de Soldadura AWS. Vol. 1

- CCEP (Corriente Continua Electrodo al Positivo)

Hay menor penetración y el calor es más intenso en la punta del electrodo (70%), por esto observamos un deterioro del electrodo del tungsteno en el que la punta se redondea, los electrones al chocar con el tungsteno transforman toda su energía cinética en calor por eso se concentra en el polo positivo.

Se obtienen una buena acción de limpieza como producto del flujo de los iones del gas hacia la superficie de la pieza, cuyos impactos que se producen con suficiente fuerza, dan lugar a la destrucción de la cada de óxido superficial.

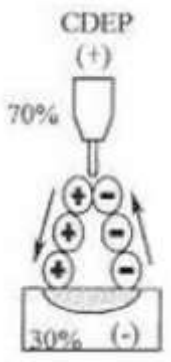


Figura 11 Polaridad Corriente Continua Electrodo al Positivo

Fuente: Manual de Soldadura AWS. Vol. 1

- AC (Corriente Alterna)

El calor se distribuye entre el metal base y la punta de tungsteno, obteniendo una combinación de la venta de CDEN y CDEP, tanto el aluminio como el magnesio no pueden ser soldados con la polaridad directa, sino que debe utilizarse polaridad inversa (electrodo en el polo positivo), la razón de ello de debe al hecho que dichos metales forman sobre su superficie una capa de oxido que los protege y para poder romper la misma es necesario producir un bombardeo de iones sobre la misma, si se soldara con corriente continua deberíamos trabajar con amperaje excesivamente bajo para proteger el tungsteno.

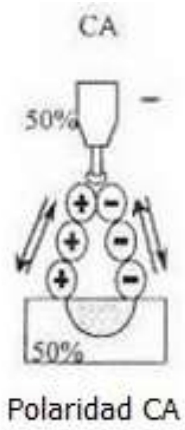


Figura 12 Polaridad Corriente Alterna

Fuente: Manual de Soldadura AWS. Vol. 1

- P – DC (Corriente Pulsante)

Este tipo de corriente tiene la característica de permitir trabajar con energías de arco suficientemente altas como para fundir el metal de aporte, al mismo tiempo que mantiene un bajo aporte térmico global durante la soldadura lo que permite la soldadura en espesores muy finos (menores a 1mm) sin el riesgo de producir perforación.

b.3. Electrodo y su Clasificación

La elección del tipo de electrodo va a depender en gran medida del tipo de material que se quiere soldar, del tipo de corriente con que se va a trabajar y las características operativas, el electrodo de tungsteno o también llamad WOLFRAMIO, empleado en la soldadura GMAW o TIG , es muy duro y altamente refractario, su punto de fusión es de 3400°C. Se diferencia de los empleados en otros procesos de soldadura por arco electrico, porque no se fundo con el calor generado y no aporta material de soldadura, sin embargo, si se selecciona un electrodo incorrecto o se aplica un amperaje demasiado alto algunas partículas del electrodo puede transferirse a través del arco.

La selección del diámetro del electrodo se deberá efectuar teniendo en cuenta que el mismo, no debe ser muy pequeño para que se corra el riesgo de fundir el extremo del mismo, ni muy grande que conduzca a una inestabilidad del arco como consecuencia de la disminución de la emisión electrónica debido al bajo calentamiento del electrodo, comercialmente se fabrican en diámetros desde 0.5 mm hasta 6 mm, puede ser tungsteno puro o aleado con cerio, lantano, torio y zirconio.

Tabla N° 2

Clasificación de Electrodos

Clasificación AWS	Color	Elemento Aleante	Oxido	% Oxido
EWP	Verde	-	-	-
EWCe – 2	Naranja	Cerio	Ceo_2	1,8 – 2,2
EWLa – 1	Negro	Lantano	La_2O_3	0,8 – 1,2
EWLa – 1.5	Oro	Lantano	La_2O_3	1,3 – 1,7
EWLa – 2	Azul	Lantano	La_2O_3	1,8 – 2,2
EWTh – 1	Amarillo	Torio	ThO_2	0,8 – 1,2
EWTh – 2	Rojo	Torio	ThO_2	1,7 – 2,2
EWzr – 1	Marron	Zirconio	ZrO_2	0,15 – 0,4
EWG	Gris	No Especificado	No Especificado	No Especificado

Fuente: Soldadura y Estructuras

b.4. Punta de Electrodos

La punta inicialmente no tiene forma, la misma se le dará antes de ser usados, ya sea por mecanizado, desbaste o fundiéndolos y dependerán del uso que se les da las mismas, la forma puede ser de tres tipos básicos: EN PUNTA, MEDIA CAÑA y BOLA, el afilado se debe realizar en sentido longitudinal al electrodo de forma de favorecer el pasaje de la corriente.

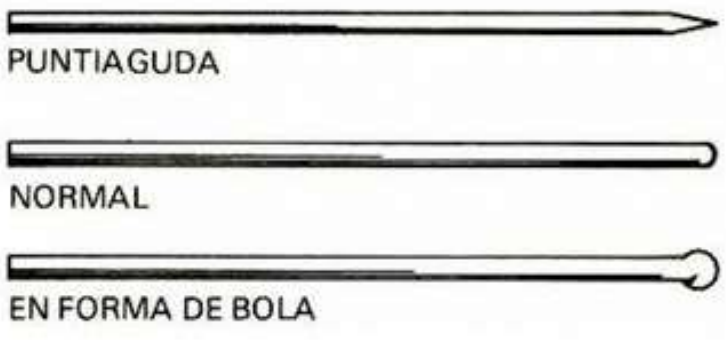


Figura 13 Clasificación de Electrodos

Fuente: Soldadura y Estructuras

b.5. Metal de Aporte

El proceso GTAW es muy versátil ya que puede o no usar material de aporte, el aporte puede ser el mismo metal base o pieza a soldar adecuadamente preparada o varillas de aporte estandarizadas, dependiendo del tipo de material base a soldar, se deberá seleccionar a varilla adecuada que reúna las propiedades físicas y químicas para realizar una buena soldadura en la mayoría de los casos se usan varillas, o se puede usar los mismo electrodos del proceso GMAW los que alambres solidos que son previstos en rollos de distintos tamaños.

c) Soldadura GMAW

La soldadura de Arco Metálico Gaseoso (Gas Metal Arc Welding) o comúnmente llamada Soldadura MIG (Metal Inert Gas) es un proceso en el cual un arco electrico es mantenido entre un alambre solido que funciona como electrodo continuo y la pieza de trabajo. El arco y la soldadura fundida son protegidos por un chorro de gas inerte o activo. El proceso puede ser usado en la mayoría de los metales y gama de alambres en diferentes aleaciones y aplicaciones.

Este tipo de soldadura es inherentemente más productiva que la soldadura de arco manual, donde las pérdidas de productividad ocurren cada vez que el soldador se detiene para reemplazar el electrodo consumido. En la soldadura de arco manual también es notable la perdida cuando el restante del electrodo que es sujetado por el portaelectrodo es desechado. Por cada kilogramo de varilla de electrodo cubierto comprado, solamente alrededor del 65% es aprovechado como parte de la soldadura, el uso de alambre sólido y el alambre tubular ha incrementado la eficiencia entre 80 – 95 % a los procesos de soldadura.

Figura 14 Proceso GMAW

Fuente: Procesos de Soldadura – ACESCO

c.1. Técnicas de soldadura para GMAW

Cada uno de estos métodos tiene sus propias ventajas y desventajas por esto se debe tener un firme conocimiento de los mismos para poder seleccionar así los parámetros más adecuados dependiendo de la aplicación que se le va a dar. Los factores que influyen en estos procesos son el voltaje, las características del suministro de potencia, la posición de soldeo e incluso llegando a la correcta elección del gas de protección

Ordenando estos métodos por la temperatura de trabajo alcanzado podremos decir que en primer lugar está la transferencia por spray, segunda la transferencia globular, el arco pulsante y finalmente el corto circuito.

- Transferencia por Spray

En este tipo, el metal se mueve en forma de gotas muy finas bajo la acción de las fuerzas electromagnéticas con independencia de la gravedad y a altas velocidades a través del arco, estas gotas son impulsadas en la dirección del alambre a través del arco hacia el metal entre 500 y 2000 gotas por segundo

El arco producido es muy estable y con ausencia de salpicaduras, la necesidad de usar altas corrientes da una pileta grande de fusión muy fluida, que hace difícil o imposible su aplicación fuera de la posición plana, en soldaduras de acero el carbono se aplica a espesores grandes de material base, tanto en filetes como soldadura tipo ranura y su aplicación en piezas de pequeño espesor puede

producir exceso de penetración, por lo que no se recomienda para metales en presentaciones muy delgadas aunque con el uso de mezclas de gas de protección que contengan más del 10% CO2 que se reduce el perfil de penetración

Es preciso usar corriente continua y electrodo positivo para garantizar que las gotas se formen y se suelten a razón de centenares por segundo.

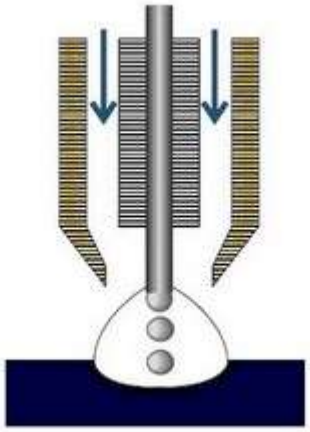


Figura 15 Esquema de Transferencia en Spray

Fuente: Procesos de Soldadura ACESCO

- Transferencia Globular

En este modo de transferencia el alambre de aporte se deposita en gotas relativamente grandes por efecto de la gravedad en conjunto con ocasionales cortocircuitos.

Las gotas más grandes son de forma irregular con un tamaño mayor al diámetro del alambre. Las formas irregulares de las gotas fundidas no siguen un desprendimiento en el eje del alambre, sino que pueden caer fuera del eje del alambre de aporte, esto debido a que desde el metal base se ejercen fuerzas de reacción que suben hacia el electrodo que son responsables del movimiento de giro hacia arriba de las gotas de metal líquido y por ende de su deformación

La transferencia globular presenta niveles equilibrados entre el calentamiento y la deposición de material, es un proceso intermedio que tiene a ser menos estable y con incrementos de las salpicaduras, son comunes grandes fluctuaciones de corriente y voltaje, la operación de soldadura está restringida a la posición plana. Con ganas de protección CO2 al 100% o mezclas de argón

con CO2, produce altas corrientes que posibilitan mayor penetración de la soldadura y mayores velocidades que las que se alcanzas con la transferencia por corto circuito y spray.

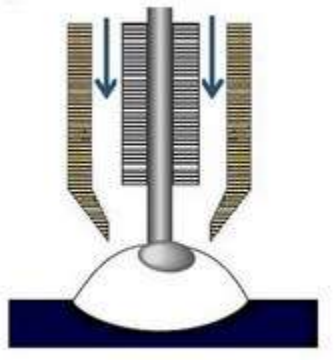


Figura 16 Esquema de Transferencia Globular

Fuente: Procesos de soldadura ACESCO

- Transferencia por Arco Pulsado

El modo de transferencia por arco pulsado se realiza con fuentes de energía especiales que imponen una forma de onda a la corriente de soldadura caracterizada por tener períodos de pulsos de alta corriente. Esto permite una transferencia spray intermitente, con valores medios de corriente inferiores a los usados normalmente para lograr spray.

De este modo, se obtienen las ventajas del spray con una transferencia con valores de corriente medios inferiores, lo que permite su aplicación en chapas de bajo espesor, y también fuera de la posición plana. Las principales limitaciones de este tipo de trasferencia son la operación más compleja y la necesidad de equipo especial que es más caro complejo.

- Transferencia por Corto Circuito

Es un modo de transferencia de baja energía de arco, debido a las bajas corrientes de operación que utiliza y a la independencia de la gravedad relacionada con el peso de la gota, es la forma más usada de transferencia en la soldadura de aceros al carbono fuera de posición plana, en piezas finas y en el proceso MAG es decir con protección de CO2 o mezclas que lo contengan. Posee parámetros fundamentales a tener en cuenta para una soldadura exitosa, entre ellos incluimos el diámetro del electrodo que por lo general va desde 0,6 a

1,2 mm de diámetro, el tipo de gas de protección usado CO2 al 100%, o una mezcla de 75-80% de Argón, más 25-20% de CO2, el procedimiento de soldadura empleado y dentro de los problemas que podemos adjudicarle estarían los altos niveles de salpicaduras y una tendencia a la falta de fusión de la junta especialmente en juntas de grandes espesores, en la práctica los gases que contienen argón aumentan la frecuencia de cortocircuitos y reducen el tamaño de las gotas líquidas además debemos saber que es fácil escuchar si estamos en este modo de transferencia, a través del ruido producido por los cortocircuitos.

En este proceso una sola gota de metal líquido procedente del alambre se produce durante la fase de cortocircuito del ciclo de transferencia, la gota toca la pileta de fusión periódicamente aproximadamente de 20 a 200 veces por segundo, la corriente suministrada por la fuente de alimentación se eleva y el aumento de la corriente acompaña a un aumento de la fuerza magnética aplicada al final de la punta del electrodo ocurriendo una transferencia de metal de aporte durante estos cortos circuitos por acción de la tensión superficial y fuerzas electromagnéticas.

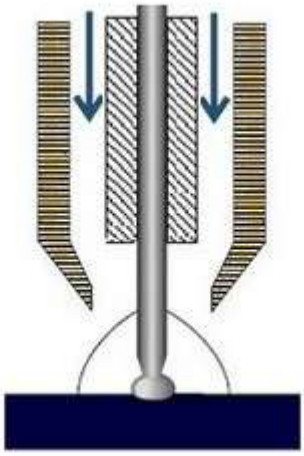


Figura 17 Esquema de Transferencia por Corto Circuito

Fuente: Procesos de Soldadura ACESCO

2.2.6. Acero Estructural ASTM – 36

a) Soldabilidad del Acero

Es un conjunto de propiedades que tiene un material en permitirse fusionar con demás elementos que presentan características suficientes de continuidad metalúrgica; es decir la facilidad que tiene un material a ser soldado y de la tenacidad que tenga la unión soldada final.

La propiedad de soldabilidad en el acero depende del porcentaje de carbono que contenga en su composición química, es decir los aceros con menor porcentaje de carbono presentan mejores propiedades de soldabilidad.

En la Tabla 03 se observa la clasificación del acero de acuerdo al contenido de carbono, el uso típico que tan susceptible es a la soldabilidad.

Tabla N° 3

Clasificación de acero de acuerdo al porcentaje de carbono

Descripción común	**Contenido de C.**	**Uso**	**Soldabilidad**
Hierro dulce o lingote	0.003% Max.	Esmaltado, galvanizado y estampado	Excelente
Acero de bajo contenido de C.	0.15% Max.	Electrodos para soldadura, chapas, perfiles, flejes.	Excelente
Acero dulce	0.15% - 0.25%	Perfiles estructurales, chapas y barras	Buena
Acero mediano contenido de C.	0.26% - 0.60%	Piezas de maquinas	Regular (precalentamiento y frecuente tratamiento térmico posterior a la soldadura)
Acero de alto contenido de C	0-060 – 2.10%	Resortes, matrices, moldes	Mala (Difícil de soldar sin previo calentamiento)

Fuente: "Tecnología de los oficios metalúrgicos" (Leyenseller A.)

b) Propiedades del Acero Estructural ASTM – 36

El ASTM A36 tiene una fuerza para ceder de 36.000 psi, y una capacidad de tensión de doblaje de 22.000 psi. Las propiedades del acero ASTM A36 permiten que se deforme rápidamente mientras se incrementa la tensión más allá de su fuerza para ceder. Esta conductividad permite que los edificios aguanten mucho más de los límites de una estructura en caso de emergencia, permitiendo que

los habitantes salgan de forma segura antes de que se colapse. Otros aceros de alto rendimiento, como la cuerda de puente, son extremadamente fuertes pero se resquebrajan, y hay una deformación mínima antes de que se rompa violentamente.

c) Usos

Como se ha mencionado, el ASTM A36 es el tipo más común de aleación de acero. Se usa para la mayoría de componentes de la construcción, incluyendo columnas, vigas, plataformas y elementos de acabado. La conductividad del ASTM A36 no permite que la aleación se use como cable, y no debería usarse como barra de refuerzo (barras). Sin embargo, la mayoría de otros usos son perfectos para el ASTM A36.

d) Formas de Acero

El ASTM A36 y otras aleaciones se pueden hacer en varias formas para la construcción de edificios. Éstas incluyen tubos de acero; flancos anchos, o formas en W; vigas estándar estadounidenses con forma de I, o con forma en S; formas en T estructurales; canales, o formas en C; ángulos, o formas en L; placas de acero; y barras de acero. Los tubos de acero se suelen usar como columnas. Los flancos anchos tienen un perfil que parece una "I" o una "H", y se usan para columnas o vigas. Las vigas en forma de I sólo deberían usarse como vigas, y las formas en T y en C se pueden usar como vigas o como abrazaderas. Los ángulos se suelen usar únicamente para abrazaderas o como elementos de acabado, mientras que las placas de acero y las barras tienen muchos usos en la construcción.

2.2.7. Deformaciones en la Soldadura

La deformación en una junta soldada, se debe al contacto de materiales base por efecto e altas temperaturas, a esta zona de afectación térmica (ZAT), esto causa la expansión no uniforme y la contracción tanto del metal base adyacente, como del metal de aporte durante el CICLO TERMICO (calentamiento/enfriamiento). Durante dicho ciclo, muchos factores están involucrados, tornándose complicado realizar predicciones exactas de las deformaciones.

Cuando se genera el incremento de temperatura, el campo térmico actúa de forma transicional en la pieza ocasionando una variabilidad de temperaturas poco uniformes en las superficies del material; el campo térmico altera directamente al campo metalográfico ya que la microestructura interna del acero se modifica al sobrepasar la temperatura critica (723°C) del acero, y este último campo concatena a la modificación de las propiedades mecánicas por originarse deformaciones elásticas y plásticas internas en el material.

Un ejemplo de ello son los cambios en las propiedades físicas y mecánicas al aumenta la temperatura:

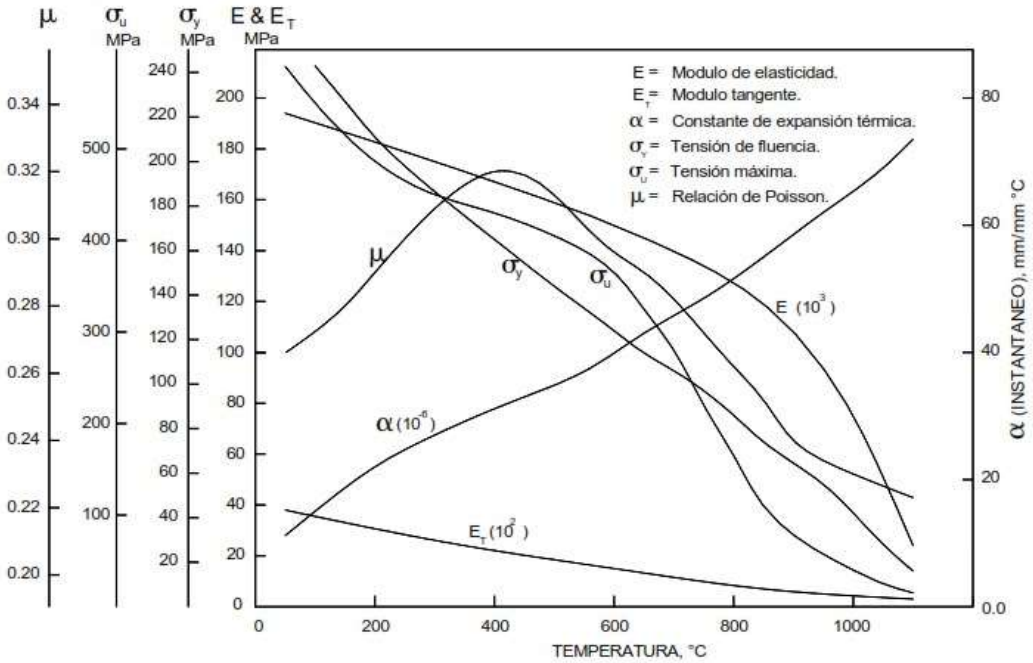


Figura 18 Ejemplo 1. Cambios en las Propiedades Físicas y Mecánicas al Aumentar la Temperatura

Fuente: Aceros Inoxidables AISI 304

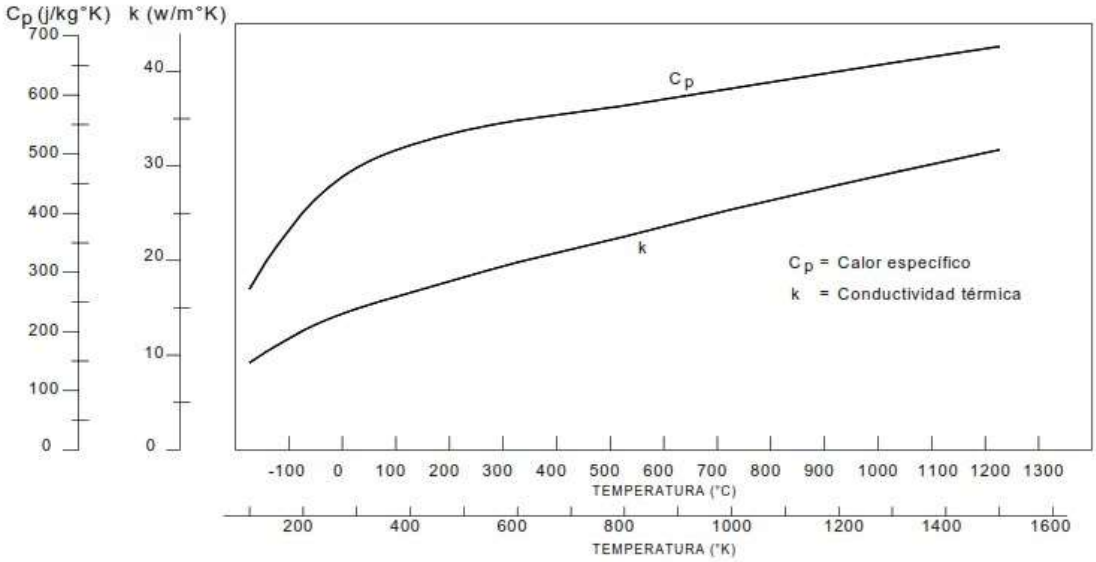


Figura 19 Ejemplo 2. Cambios en las Propiedades Físicas y Mecánicas al Aumentar la Temperatura

Fuente: Aceros Inoxidables AISI 304

Las propiedades físicas y mecánicas del metal en las cuales se basan los cálculos, cambian al aumentar la temperatura. Por ejemplo, cuando la temperatura del área de la soldadura aumenta, la resistencia a la fluencia, módulo de elasticidad y conductividad térmica del material disminuyen, y el coeficiente de expansión térmica y el calor especifico aumentan. Estos cambios, a su vez, afectan el flujo de calor y uniformidad de distribución de este. Así, estas variables hacen que un cálculo preciso de los que ocurre durante el calentamiento y enfriamiento sea complicado.

Aun cuando el cálculo sea simple, en la fase de diseño y en taller, es importante el entendimiento practico de las causas de las deformaciones, los efectos de las contracciones en varios tipos de uniones soldadas causando así muchas veces la variación de la forma inicial que tiene el material, la cual normalmente se nos presenta en planchas, tubos, ángulos o platinas teniendo un ángulo llano (180°) como forma base.

En la figura 20 se observa el comportamiento transicional para el proceso de soldadura eléctrica GMAW, en el que se detalla las curvas isométricas generadas en el material base ocasionando, teniendo en cuenta que el material al someterse al cambio de temperatura, cambia no solo en so forma física sino también en la física presentando en este caso variación angular.

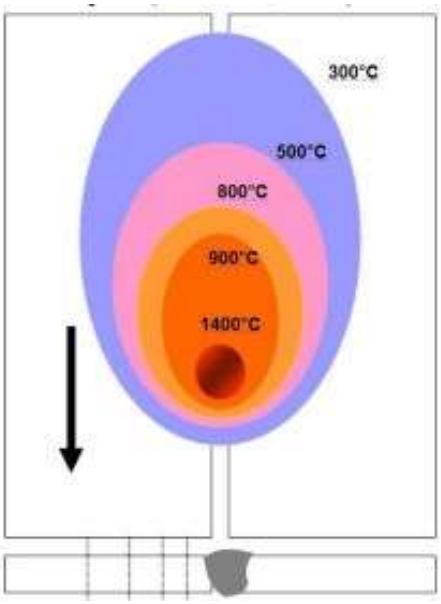


Figura 20 Curvas Isométricas en una plancha sometida a soldadura a tope

Fuente: (Foca C. 2007)

a) Causas de la deformación

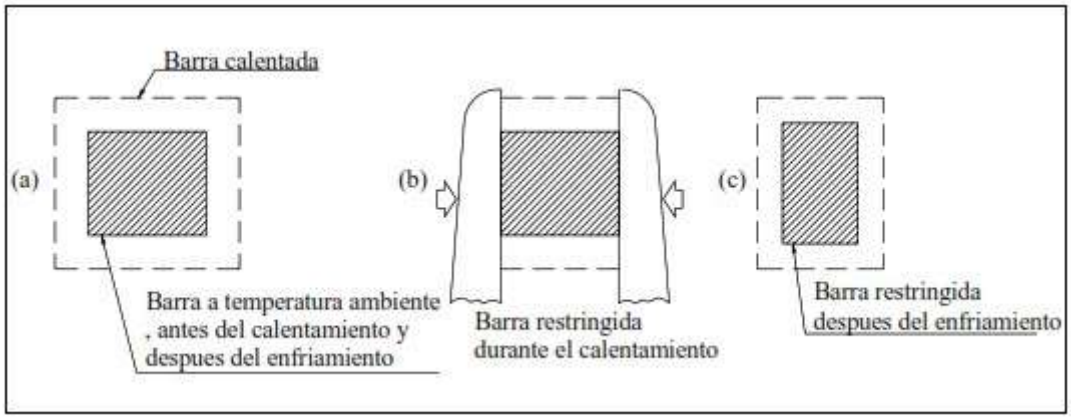


Figura 21 Comportamiento de una barra de metal sometida a Alta Temperatura

Fuente: Autor

Para entender cómo y porqué de las deformaciones ocurren durante el calentamiento y enfriamiento del metal, hay que considerar lo que ocurre en una barra de acero mostrada en la Fig. 21. Cuando la barra esta uniformemente calentada, se expande en todas las direcciones, como en la Fig 21a Cuando el metal se enfría a temperatura ambiente se contrae uniformemente, retornando a sus dimensiones originales.

Ahora bien, si la barra de acero es restringida, por ejemplo, en un tornillo de banco, mientras esta caliente, como en la Fig. 21b, la expansión lateral no puede

presentarse. Como la expansión volumétrica debe ocurrir, la barra se expande en forma considerable en la dirección vertical.

Como la barra deformada vuelve a la temperatura ambiente, se contraerá en todas las direcciones, como en la Fig. 21c La barra es ahora angosta, pero más alta y está en un estado de permanentemente deformación. Por simplificación, las figuras muestran que las deformaciones ocurren en un plano, pero en la realidad también se presentan longitudinalmente.

En una unión soldada, las mismas fuerzas de expansión y contracción actúan sobre el metal soldado y el metal base. Cuando el metal soldado solidifica y se funde con el metal base, está en su máximo estado de expansión, ocupando el máximo volumen posible como sólido. En el enfriamiento, trata de contraerse para alcanzar el volumen que normalmente ocupa a bajas temperaturas, pero es restringido por el metal base adyacente. Las tensiones desarrolladas en la soldadura, finalmente han alcanzado la fluencia de metal base. En este punto, la soldadura se estira o fluye, ajustándose los requerimientos de volumen a la temperatura más aja. Pero solo aquellas tensiones que excedan la resistencia de fluencia del metal soldado con aliviadas con esta acomodación

Cuando la soldadura alcanza una temperatura ambiente, asumiendo una restricción completa del metal base, presenta internamente tensiones a la tracción aproximadamente igual a la resistencia de fluencia del metal. Si las restricciones son retiradas, las tensiones internas son aliviadas parcialmente, causando el movimiento del metal base, es decir, UNA DEFORMACION.

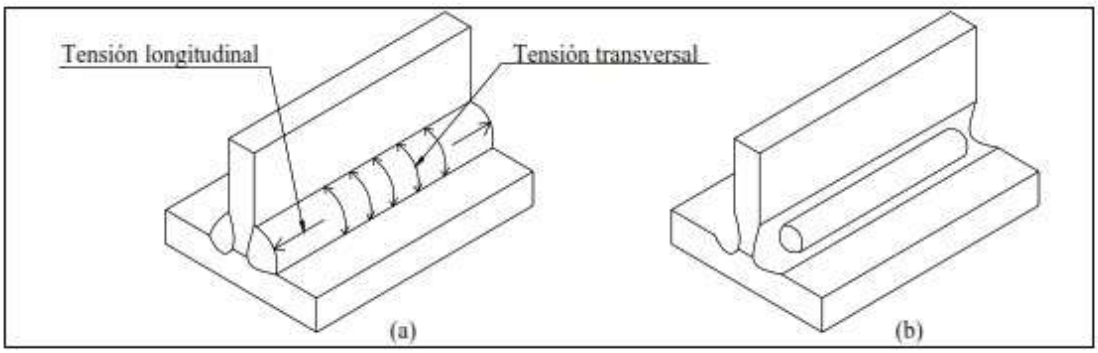


Figura 22 Tensiones Internas Presentes en una Soldadura Filete

Fuente: Autor

Para entender las tensiones internas presentes en una soldadura, se muestra la Fig. 22. Soldaduras de filete que unen dos planchas gruesas, contienen tensiones longitudinales y transversales, como en la Fig. 22a. Para visualizar estas tensiones en el interior de la soldadura, imagine la situación mostrada en la Fig 22b. Aquí están separados en la plancha base. Se asume que en ambos casos existe la misma cantidad de metal aportado. En su condición libre, el metal de la soldadura se encoge al volumen que normalmente ocuparía a temperatura ambiente. Esta sin restricciones y libre de tensiones.

b) Propiedades de los metales que influyen en la deformación

La deformación es causada por los efectos del calentamiento en el metal y su posterior enfriamiento. Esto involucra rigidez y fluencia. Propiedades mecánicas y físicas de los metales. Tales como, coeficiente de Expansión Térmica, Conductividad Térmica, Modulo de Elasticidad, y Tensión de Fluencia, influyen considerablemente en el grado de deformación. El conocimiento delos valores aproximados de estas propiedades es una gran ayuda al diseñador y al soldador para anticiparse adecuadamente a la deformación.

b.1. Coeficiente de Expansión Térmica, ALFA[mm/m*°C]

Es una medida de la cantidad de expansión que un metal sufre cuando es calentado, o la magnitud de la contracción que sufre cuando se enfría. Metales con altos coeficientes de expansión térmica se extienden y contraen más que los metales con coeficientes bajos, para un gradiente de temperatura dado. Debido a que los metales con coeficientes altos tienden a aumentar las contracciones en el metal soldado y metal adyacente a este, las posibilidades de deformación aumentan.

b.2. Conductividad Térmica, k [W/m*°K]

Es la medida del flujo de calor a través de un material. Metales con conductividad térmica relativamente baja, por ejemplo, aceros inoxidables y las aleaciones base – níquel no disipan el calor en forma rápida. Metales con conductividad térmica alta, como el aluminio y cobre, lo hacen rápidamente. La soldadura en metales de baja conductividad, resulta en un aumento del gradiente de

temperatura, que aumenta el efecto de contracción en la soldadura y en el metal base

b.3. Resistencia a la Fluencia, OMEGA T [N/m^2]

Para aliviar la contracción que ocurre en el ciclo de enfriamiento, en una unión soldada, las tensiones del metal soldado deben alcanzar resistencia la fluencia.

Cuando ocurre el estiramiento y adelgazamiento, la soldadura y el metal base adyacente son tensionados a aproximadamente su resistencia a la fluencia. En materiales con alta resistencia a la fluencia en el área soldada, las altas tensiones residuales pueden actuar para deformar el conjunto. Por el contrario, en metales de baja resistencia, las deformaciones son menos probables o de menor gravedad.

La resistencia a la fluencia de los metales puede ser modificada con tratamientos térmicos o mecánicos. Tratamientos de calor en acero medio – carbono, alto – carbono y aleaciones, por ejemplo, pueden aumentar considerablemente la resistencia a la fluencia. Tratamientos en frio, tienen u efecto similar en muchos aceros inoxidables y en aleaciones de cobre y aluminio. Para minimizar la deformación, los metales pueden ser soldados en un estado de temple (de baja resistencia) siempre y cuando sea posible.

b.4. Módulo de Elasticidad

Es la magnitud de rigidez que presenta un determinado material. Con un módulo de elasticidad alto es as probable encontrar resistencia a la deformación.

c) Distorsión angular en la soldadura

En la fabricación de estructuras metálicas, se encuentran a menudo cambios dimensionales fundamentales que ocurren durante la soldadura. Esto es lo que llamamos “Distorsión Angular de la soldadura” o “Distorsión en soldadura”.

c.1. ¿Cuáles son los tipos de distorsión de soldadura?

Hay un número de posibles tipos de distorsión de soldadura que se muestran en la Figura (A) Contracción transversal, (B) Contracción longitudinal, (C) Distorsión longitudinal, (D) Distorsión angular, (E) Distorsión de rotación, y (F) Distorsión de

desplome. La magnitud dimensional de distorsión de soldadura y/o contracción dependen de los metales a soldar y del procedimiento de soldadura.

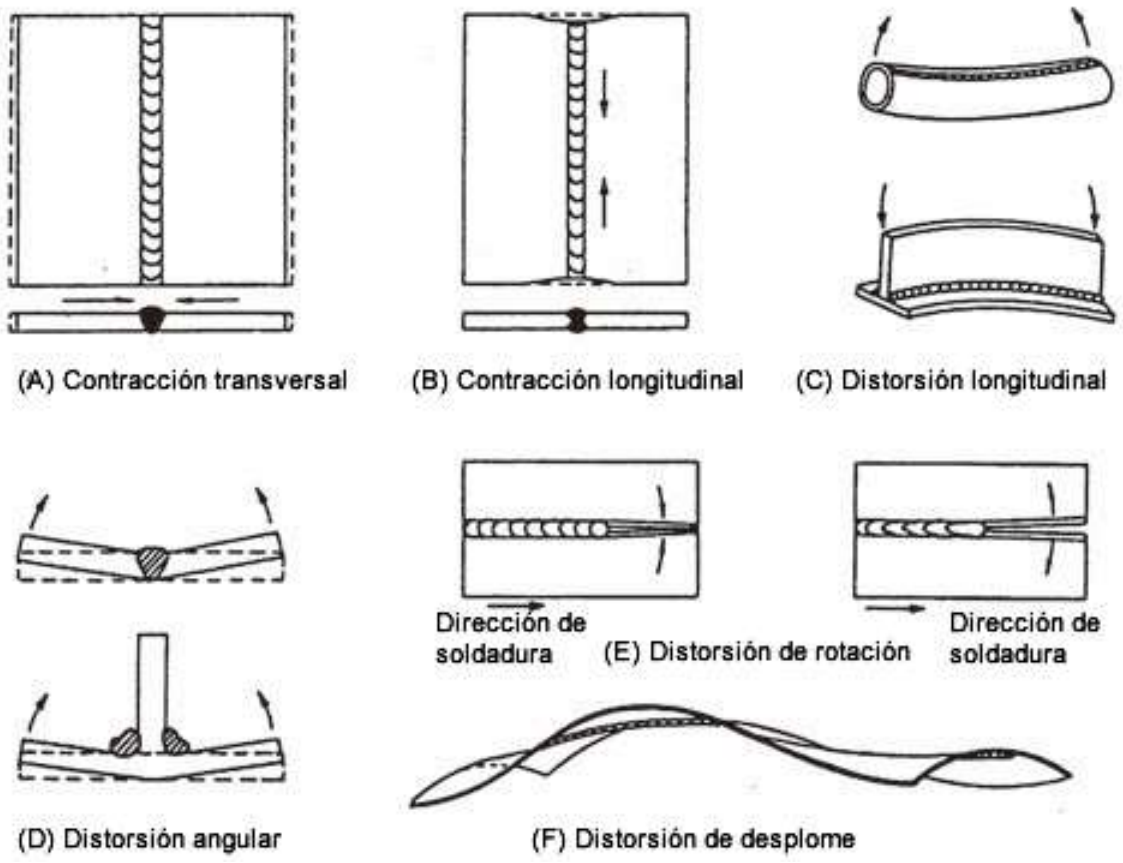


Figura 23 Distorsiones en la soldadura

Fuente: Centro de Conocimiento ESAB

2.3. Definición conceptual de la terminología empleada

El objetivo primordial de este glosario es el de ayudar a la comprensión de los siguientes procesos de soldadura tratados en este trabajo. Hay que tener en cuenta que solo aparecen términos genéricos y sus definiciones. Para hacer más útil este glosario, los términos están ordenados alfabéticamente como un diccionario tradicional.

- ALAMBRE DE SOLDEO: material de aportación obtenido por trefilado y suministrado generalmente enrollado, formando bobinas.
- ANGULO DE BISEL: Angulo formado entre el borde recto preparado de una pieza y un plano perpendicular a la superficie de la misma.
- ANGULO DE CHAFLAN: Véase ángulo de bisel.

- ANGULO DE TRABAJO: Angulo que mide la inclinación del electrodo con respecto al plano perpendicular que contiene el cordón de soldadura.
- ANSI: American National Standards Institute – Instituto Nacional Estadounidense de estándares.
- ARCO ELECTRICO: Descarga eléctrica que se forma entre electrodos sometidos a una diferencia de potencial
- ATMOSFERA PROTECTORA: Entorno de gas protector, que rodea parcial o totalmente la pieza a soldar, cortar o proyectar térmicamente con características controladas de composición química, punto de roció, presión, etc. Entre otros ejemplos están: los gases inertes, hidrocarburos, hidrogeno, vacío, etc.
- AWS: American Welding Society – Sociedad Americana de Soldadura
- BAÑO DE METAL FUNDIDO: Estado líquido previo de una soldadura, que posteriormente solidificara para formar la unión.
- CALIBRACION: Proceso de comparar los valores obtenidos por un instrumento de medición con la medida correspondiente de un patrón de referencia que proporcione valor verificable.
- CALIDAD: Grado en el que un conjunto de características inherentes cumple con los requisitos (ISO 9000:2005).
- CLIENTE: Organización o persona que recibo un producto (ISO 9000:2005)
- CODIGO: Una norma compuesta por un conjunto de condiciones y requisitos relativos a un tema en particular, que indica los procedimientos adecuados mediante los cuales se puede determinar que los requisitos han sido cumplidos
- CORDON: Metal aportado en una pasada.
- CRATER: En el soldeo por arco, la depresión al final del cordón de soldadura o del baño de fusión.
- DECAPADO: Tratamiento superficial de metales que se utiliza para eliminar impurezas, tales como escoria, de aleaciones de metales ferrosos, cobre y aluminio.
- COMPETENCIA: Aptitud demostrada para aplicar los conocimientos y habilidades (ISO 9000:2005).

- CORRIENTE DIRECTA: flujo continuo de carga eléctrica a través de un conductor entre dos puntos de distinto potencial, que cambia de sentido con el tiempo.
- ELECTRODO: varilla metálica preparada para servir como polo del circuito, en su extremo se genera el arco electrico. La varilla metálica a menudo va recubierta por una combinación de metales que varían de un electrodo a otro.
- ENSAYO NO DESTRUCTIVO: acción de determinar la idoneidad de un material o componente para su propósito previsto mediante técnicas que no afectan su capacidad de servicio
- ESTANDARIZAR: Proceso mediante el cual se realiza una actividad de manera estándar o previamente establecida.
- FUSION: Proceso físico que consiste en el cambio de estado de un material por acción de calor.
- GAS DE PROTECCION: Gas utilizado para prevenir la contaminación de la soldadura por la atmosfera.
- GAS INERTE: Es un gas no reactivo bajo determinadas condiciones de presión y temperatura.
- GMAW: Gas Metal Are Welding – Soldadura por Arco Metálico con Gas Protector.
- GTAW: Gas Tungsten Arc Welding – Soldadura TIG.
- METAL BASE: Uno de dos o más metales que se sueldan para formar una unión.
- METAL DE APORTE: Tipo de metal que a veces se agrega a la unión de la soldadura por fusión. Los metales de aporte ayudan a la resistencia y a la masa de la unión soldada.
- METAL BASE: Material que va a ser sometido a cualquier operación o proceso de soldeo.
- METAL DE SOLDADURA: Zona de la unión fundida durante el soldeo.
- METAL DEPOSITADO: Metal de aportación que ha sido añadido durante la operación de soldeo.
- NO METAL: Son elementos químicos que se definen por ser diametralmente opuestos a los metales debido a que pierden las cualidades que caracterizan los metales.

- NORMALIZACION: Proceso de elaborar, aplicar y mejorar las normas que se emplean en distintas actividades científicas, industriales o económicas, con el fin de ordenarlas y mejorarlas.
- POROSIDAD: Se refiere a las discontinuidades de tipo cavidad o poros formados por el aprisionamiento de gas durante la solidificación del metal de soldadura fundido.
- PROBETA: Porción del proceso de soldadura con propósitos de evaluación para calificación. El espesor de la probeta de metal de soldadura de identifica con la letra “t”.
- PROCEDIMIENTO DE SOLDEO: métodos y practicas detallados involucrados en la realización de un conjunto soldado.
- RECOCIDO: tratamiento térmico que implica un calentamiento y un mantenimiento a una temperatura apropiada, seguid de un enfriamiento hecho en condiciones tales que el metal después de enfriado a la temperatura ambiente presenta un estado estructural próximo al estado de equilibrio.
- SMAW: Shielded Metal Arc Welding – Soldadura manual de electrodo recubierto.
- SOLDABILIDAD: Capacidad de un material para ser soldado bajo las condiciones de fabricación impuestas a una determinada estructura diseñada adecuadamente y para funcionar satisfactoriamente en las condiciones de servicio previstas.
- SOLDADOR: persona que realiza el soldeo. Término genérico utilizado tanto para los soldadores manuales como para los operadores de soldeo.
- SOLDADURA MIG: Es un proceso semiautomático o automático que usa una alimentación continua de alambre como electrodo y una mezcla de gas inerte para proteger la soldadura contra la contaminación.
- SOLDADURA: Proceso de unión que utiliza calor, presio y/o químicos para fundir y unir dos materiales de manera permanente.
- SOLDEO TIG: termino no normalizado para el soldeo por arco con electrodo de tungsteno y gas inerte.
- UNION: Espacio, a rellenar de metal aportado, entre dos piezas cuyooss bordes han sido preparados convenientemente para tal fin. Por extensión: el resultado de la operación de soldeo.

- WPQ (WPQR): Welder Performance Qualification – Calificacion de la habilidad del soldador u operario.
- WPS: Welding Procedure Specification – Especificacion del procedimiento de soldadura.
- PQR: Procedure Qualification Records – Registro de Calificacion de Procedimiento.
- WPQ: Welding Perfomance Qualification – Calificacion en el Proceso de Soldadura.

2.4. Normas aplicadas a trabajos de soldadura

a) Nacionales:

- NTP 341.070:1982 → SOLDADURA ELECTRICA POR ARCO : Definiciones generales de electrodos.
- NTP 341.072:1982 → SOLDADURA: Tipos de untas, cordones y posiciones fundamentales para soldar.
- NTP 341.075:1982 → SOLDADURA: Definiciones, procedimientos de soldadura
- NTP 341.076:1982 → SOLDADURA: Definiciones de soldabilidad
- NTP 370.020:2004 → APARATOS PARA SOLDAR POR ARCO ELECTRICO: Definiciones y clasificación.

b) Internacionales

- ANSI / ASC Z49.1 – 94 → Seguridad en Soldadura, Corte y Procesos aliados (Safety in Welding, Cutting,And Allied Processes)
- AWS D1.1 → Código de soldadura estructural – acero
- API 1104 → Soldadura de ductos

CAPITULO III. MARCO METODOLOGICO

3.1. Tipo y Diseño de Investigación

- Investigación Aplicada:

Este Trabajo de investigación se considera, aplicada ya que está enfocada en resolver objetivamente una situación problemática presente en la empresa Sayán Maquinarias S.A.C. a través de la aplicación de una mejor forma en la construcción metálica.

- Investigación Exploratoria:

La presente investigación es exploratoria, debido que se realizó una búsqueda de información acerca de las posibles soluciones a la alteración física que se obtiene de la variación de la temperatura debido a la soldadura en las juntas de las construcciones metálicas

3.2. Población y Muestra

Juntas soldadas en las maquinas fabricadas por el taller mecánico de la empresa Sayán Maquinarias S.A.C.

3.3. Hipótesis

Debido a la existencia de las deformaciones en las juntas soldadas presentes en la construcción de las diferentes maquinas fabricadas en la empresa es que se considera identificar y realizar la búsqueda y comprobación de un procedimiento que sea eficaz para ser empleado en el proceso de armado y resoldeo de las piezas fabricadas.

3.4. Variables y Operacionalizacion

Tabla N° 4

Variables y Operacionalizacion

Variables	Definición Conceptual	Definición Operacional	Indicadores
Variable Independiente Procedimiento de soldadura	El Procedimiento de soldadura es una serie de acciones que requiere de muchos elementos para llevar a cabo la unión de dos metales.	Reconocimiento del proyecto o producto a soldar Selección del código a trabajar Preparación de la junta Inspección Visual	Desarrollo de la soldadura
Variable dependiente Deformaciones causadas en las juntas	Una Deformación en soldadura es un cambio de tamaño o de forma debido a esfuerzos externos producidos por una o mas fuerzas aplicadas en la misma área de la junta.	Aplicación de ensayos requeridos para verificar la deformación que se ha producido	Deformación producida en el material (N/m^2)

Fuente: Autor

3.5. Métodos y Técnicas de Investigación

Método de Investigación Hipotético – Deductivo

es una estrategia de razonamiento que parte de las premisas o principios, es decir de datos generales, los cuales ya están validados anteriormente, para llegar a una conclusión la cual son hechos concretos. Entonces en el presente proyecto utilizaremos estudios y teorías generales acerca del proceso de

soldadura, causas de las deformaciones y como prevenirlas para aplicarlo a nuestra situación particular que es el caso de las deformaciones presentes en la fabricación de las estructuras dentro del taller de la empresa Sayán Maquinarias S.A.C.

Técnicas empleadas en la realización del proyecto:

a) Observación Directa

Es aquella técnica que se establece entre el investigador y el fenómeno, hecho o caso, la cual permite la recopilación de información para ser registrada y analizada posteriormente

La observación es uno de los pilares en el proceso investigativo, porque nos ayuda a la adquisición activa de información a partir del sentido de la vista. Se trata de una actividad realizada por nosotros mismos que nos ayuda a recopilar datos. Existen dos tipos de observación: la Observación no científica y la científica, las cuales se diferencian una de la otra por tener objetivos diferentes ya que la científica busca un objetivo claro, definido y preciso que permita al investigador saber y aprender más acerca de lo que se está observando, lo cual implica que debe preparar cuidadosamente la observación, mientras que la no científica significa observar sin tener un objetivo definido, por tanto, sin preparación previa. Por lo tanto, es que en este proyecto se ha utilizado la observación científica ya que tenemos el objetivo claro de recopilar datos acerca de las deformaciones presentes en las juntas soldadas que ocurren en las estructuras metálicas del taller de Sayán maquinarias S.A.C.

b) Entrevista

La entrevista es una conversación entablada entre dos o más personas con el fin de que el entrevistador a través de interrogantes pueda obtener información de la persona que contesta dichas interrogantes, quien es llamado entrevistado. Es por ello que, con la realización de esta técnica aplicada al Jefe de Taller Mecánico, Tco. José Torres Zagaceta de la empresa Sayán maquinarias S.A.C. se a recopilado información sobre las deformaciones ocurridas en las estructuras metálicas.

c) Análisis de contenido

Esta técnica es usada para la obtención de datos de diferentes bibliografías en donde se encuentre el tema de las deformaciones presentes en las estructuras metálicas como tesis, revistas, textos, software, páginas web, etc.

3.6. Descripción de los instrumentos utilizados

Conforme a las técnicas utilizadas en el proyecto tenemos los siguientes instrumentos:

Tabla N° 5

Descripción de Instrumentos utilizados

TÉCNICAS	INSTRUMENTOS
Observación Directa	Cuaderno de apuntes
	Fichas de Campo
	Fotografías
Entrevista	Cuaderno
	Lapicero
Análisis de Contenido	Libros
	Tesis
	Revistas
	páginas web

Fuente: Autor

3.7. Interpretación de los datos

La información recopilada en el presente trabajo de investigación como son los datos del porque se ocasionaba las deformaciones, se obtuvo a través de la observación permanente durante el proceso de soldadura y adicional a ello se realizó una entrevista Anexo 01 con el Jefe de Taller Mecánico, José Torres Zagaceta el cual nos proporcionó una vista previa, con la recopilación e investigación acerca de los datos obtenidos se logró el desarrollo de la presente tesis.

Se fabricó una de las piezas en la cual se apreciaba de manera muy resaltante las deformaciones Anexo 02, la cual permitió solicitar y realizar el estudio del ángulo formado por la soldadura Anexo 03 para la comparación de los procedimientos y apreciar cual es el más idóneo para ser aplicado.

CAPITULO IV. PROPUESTA DE INVESTIGACION

La realidad problemática existente en el taller de la empresa Sayán Maquinarias S.A.C. y para el cual se han hecho los ensayos necesarios para obtener los resultados, se propone los siguientes procedimientos de soldadura.

4.1. Reglas que se proponen para reducir las deformaciones en metales.

Sabiendo que no se puede evitar la dilatación y contracción, pero es posible ayudar a prevenir sus efectos mediante la aplicación de las siguientes reglas

- Reducción de las fuerzas causantes de la contracción
- Utilización de las fuerzas que causan la contracción, para reducir las deformaciones.
- Equilibrar las fuerzas de contracción por medio de otras fuerzas
- Reducción de las fuerzas causante de contracción.

Para juntas soldadas en filete:

a) Utilizar el menor número posible de pasadas o cordones

Se trata de que, durante el proceso de soldadura, se evite depositar varios cordones con electrodos delgados y preferir pocos cordones con electrodos de mayor diámetro.

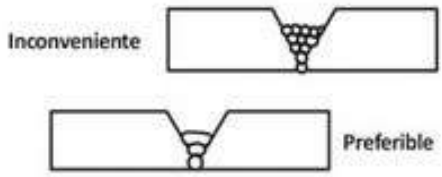


Figura 24 Menor cantidad de pasadas de soldadura

Fuente: Autor

b) No debe depositarse material excesivamente

Se debe utilizar el tamaño correcto de cordón requerido para la unión, no solo ayudaría a minimizar la deformación al disminuir la contracción, si no que ayuda a obtener un cordón más delgado y ligeramente convexo, esto se consigue con una apropiada preparación de bordes.

Figura 25 Poco depósito de soldadura

Fuente: Autor

c) Realizar soldaduras alternadas o intermitentes

Se llama así a una línea formada por tramos de soldadura, esto permite mantener la resistencia requerida, así como se muestra en la siguiente figura.

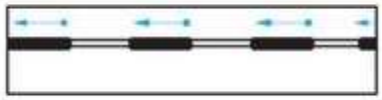


Figura 26 Soldadura Alternadas o Intermitentes

Fuente: Autor

d) Preparar la pieza adecuadamente

Para material con un espesor mayor, se realiza el achaflanado para lo cual se tiene que verificar los ángulos correctos (a, b), la separación de bordes (c) y la altura de raíz o talón (d), teniendo presente que estos valores están en funciona del espesor de la pieza (e), tipo de electrodo y material base.

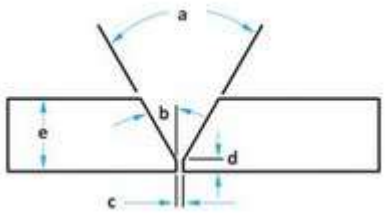


Figura 27 Preparar la Pieza adecuadamente

Fuente: Autor

e) Ejecutar la soldadura por retroceso

Según este método la progresión toma una gran importancia, ya que si el cordón se realiza hacia la izquierda el siguiente cordón para reducir la contracción se debe ejecutar de izquierda a derecha.

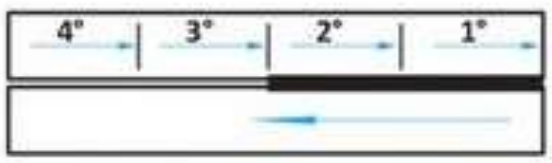


Figura 28 Soldadura de retroceso

Fuente: Autor

Para juntas que utilizan las fuerzas causantes de contracción:

a) Presentar las piezas fuera de posición

Se logra la soldadura a tope, primero desalineando las piezas para que con el cordón las fuerzas de contracción las alinee.

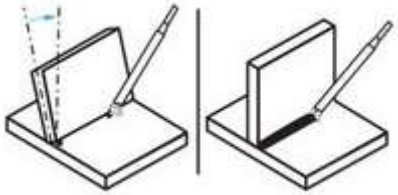


Figura 29 Piezas fuera de posición

Fuente: Autor

b) Separar las piezas para equilibrar la contracción

Se logra apartando las piezas a soldar para que mientras se vaya soldando se junten y logran una soldadura uniforme

Figura 30 Separación de Piezas para equilibrar la contracción

Fuente: Autor

c) Curvado previo del lado opuesto al de la soldadura

Se curvar en el sentido contrario del que se va a soldar, anticipándose a las fuerzas de contracción, ya que así las fuerzas de contracción lo obligaran a estirarse al retirar los apoyos laterales, esto logrará una soldadura evitándose las deformaciones

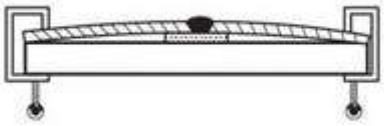


Figura 31 Curvado previo del lado opuesto al de la soldadura

Fuente: Autor

Para juntas que equilibran las fuerzas de contracción con otras fuerzas:

a) Equilibrar las fuerzas de contracción con otras fuerzas.

Al soldar en un orden adecuado los cordones para equilibrar los esfuerzos

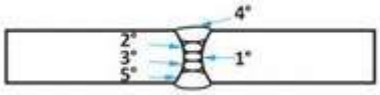


Figura 32 Equilibrar las fuerzas de contracción con otras fuerzas

Fuente: Autor

b) Aplicar la soldadura alternadamente para evitar

Soldadura normalmente aplicada a ejes, para evitar la torsión

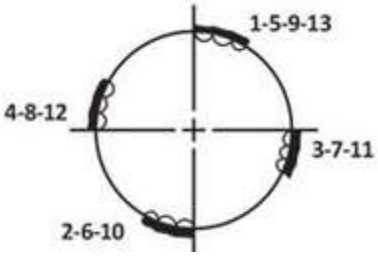


Figura 33 Aplicar soldadura alternada en ejes

Fuente: Autor

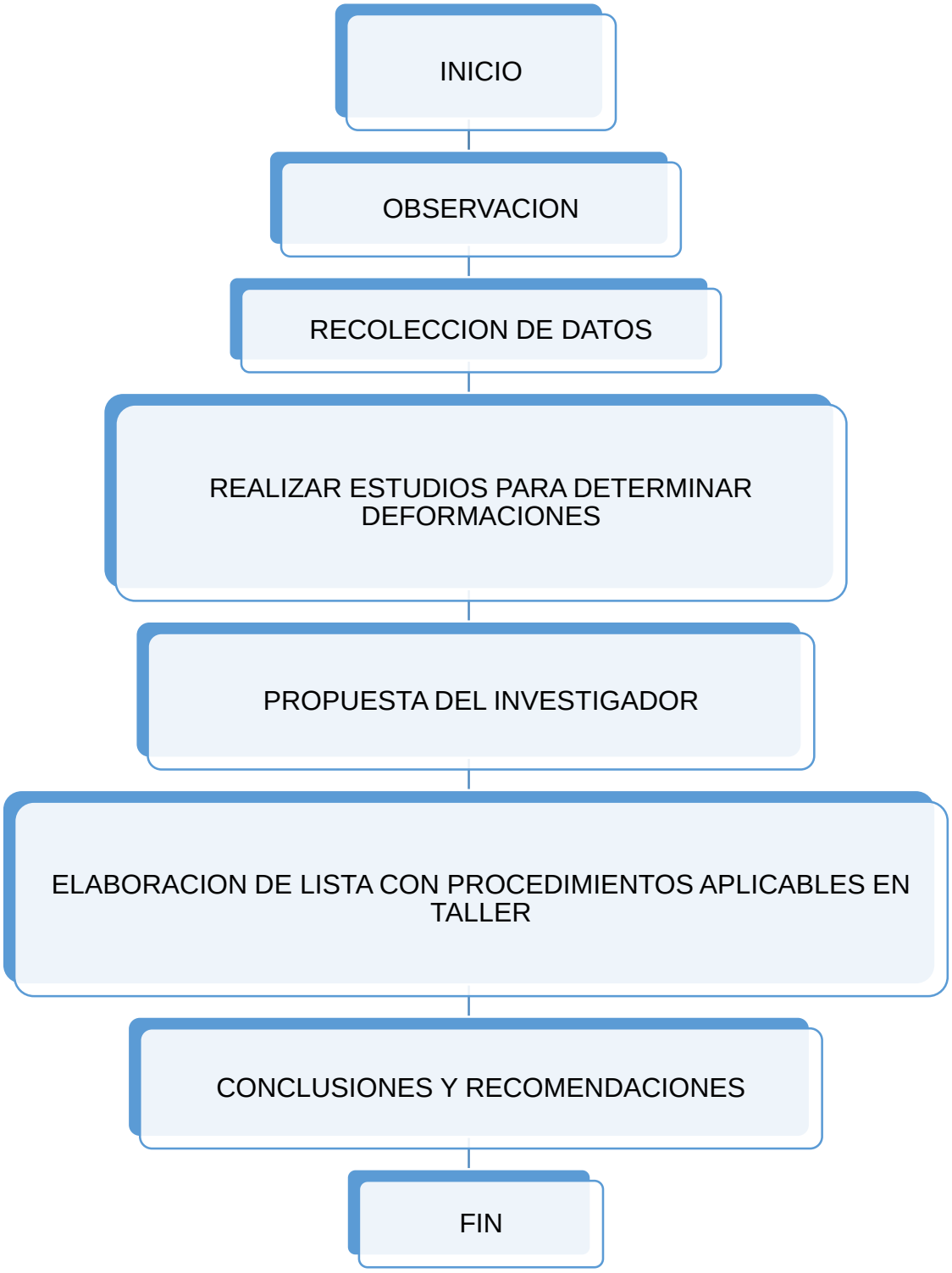


Figura 34 Flujograma Propuesto para la realización de la presente tesis

CAPITULO V. ANALISIS E INTERPRETACION DE RESULTADOS

5.1. Planos Realizados

Se mandó un plano al laboratorio Anexo 04, a solicitud de ellos ya que deseaban las especificaciones de una de las piezas fabricadas donde la deformación era más sensible a la vista para los cual se decidió tomar esa pieza de la máquina que en este caso es la TAPA DEL VENTILADOR PARA MOTOR DE 7.5HP.

5.2. Resultados de las Pruebas

En el Anexo 05, se puede observar el proceso de fabricación de las 4 probetas las cuales fueron soldadas con diferentes tipos de procedimiento y se llevaron al laboratorio para ser analizadas.

El estudio fue realizado en el Laboratorio de Ingeniería Mecánica N°4 de la Universidad Nacional de Ingeniería – Lima, del cual se recibió el protocolo utilizado para el estudio y en el cual nos muestra los siguientes resultados del laboratorio Anexo 06:

Tabla N° 6

Resultados del Laboratorio

Muestra	Medida del Angulo de la Soldadura
M1 – Probeta base	90°
M2 – Probeta con cordón completo	88° 15”
M3 – Procedimiento propuesto N°1	88° 55”
M4 – Procedimiento Propuesto N°2	88° 55”

Fuente: Autor

5.3. Discusión de Resultados

Según podemos observar en los planos del Anexo 07 en los cuales se representó la deformación analizada en cada uno de las probetas, se nos muestra la probeta base, nos muestra que forma un ángulo de 90°, mientras que en la probeta N°2 la cual fue soldada con un cordón en ambos lados de la probeta se muestra una variación del ángulo de 90° a 88° 15” la cual es la que más se aleja de la probeta base, siendo la probeta N°3 que fue soldada con cordón intermitente y la probeta

N°4 la cual fue soldada con el procedimiento intermitente y además utilizando el procedimiento de primero apuntalar la probeta base a una plancha de mayor espesor en este caso de ½” pulgada para contrarrestar las fuerzas de tensión, se nos muestra que al utilizar los dos ultimo métodos encontramos una variación del ángulo a 88° 55” la cual se acerca más a los 90° teniendo así los mejores resultados a mostrar menos variación del ángulo.

En el Anexo 08, se aprecia el cambio obtenido con el procedimiento propuesto, en la misma pieza fabricada en el taller, teniendo en cuenta que no se pueden eliminar las deformaciones, pero si reducirlas de manera que no sean perceptibles a simple vista, teniendo así mejores resultados.

5.4. Costos

En el siguiente análisis económico se muestran los gastos realizados para obtener los resultados del presente proyecto.

5.4.1. Costos Directos

Aquí están considerados los gastos de material, mano de obra, equipos o maquinas utilizadas y transporte:

Tabla N° 7

Costo de materiales

Descripción	Unidad	Cantidad	Costo
Plancha ASTM A36 LAC 1/8”	m^2	0.5 m^2	298.00 soles (plancha entera)
Costo Total			149.00 soles

Fuente: Autor

Tabla N° 8

Costo por maquinaria y equipos utilizados

Maquinaria / Herramienta	Costo / Hora	Horas Equipo	Costo
Soldadura de arco	6	2	8.00 soles
Amoladora	1	3	3.00 soles
Oxi-corte	5	0.5	2.50 soles
Costo Total			13.50 soles

Fuente: Autor

Tabla N° 9

Costo de Mano de Obra

Trabajador	Salario / Hora	Horas Hombre	Costo
Maestro Mecánico	12	2	24.00 soles
Ayudante mecánico	3.5	3.5	12.25 soles
Costo Total			36.30 soles

Fuente: Autor

Tabla N° 10

Costo de Transporte

Transporte	Costo/flete	Cantidad	Costo
Material de taller	12	1	12.00 soles
Viaje a lima	85	2	170.00 soles
Costo Total			182.00 soles

Fuente: Autor

- Costo del Informe Técnico, realizado en el Laboratorio N°04 - UNI
  Total → **216.00 soles**

Tabla N° 11

Valor Total de Costos Directos

Costo	Valor
Materiales y Accesorios	149.00 soles
Maquinaria y equipos utilizado	13.50 soles
Mano de obra	36.30 soles
Transporte	182.00 soles
Estudios de Metalografía	216.00 soles
Total Costos Directos	596.80 soles

Fuente: Autor

5.4.2. Costos Indirectos

Tabla N° 12

Costos Indirectos

Detalle	Cantidad (%CD)	Valor
Ingenieriles (Diseño y Supervisión)	30%	108.24 soles
Imprevistos	5%	18.04 soles
Total de Costos		126.28 soles

Fuente: Autor

5.4.3. Costos Totales:

Los costos totales equivalen a la suma de los costos directos más los costos indirectos, sumados estos dos valores se tiene el valor de 723.08 soles (Setecientos veintitrés con 8 centavos).

CAPITULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

- Se determinó el diagnóstico del porqué de las causas de las deformaciones en las juntas soldadas a través de la preparación de las probetas para el posterior estudio que se realizó.
- Se registró a través de fotos las juntas soldadas presentes en algunas estructuras fabricadas en el taller de la empresa Sayán Maquinarias S.A.C.
- El cálculo de deformaciones requiere un análisis muy complejo, indistintamente que tipo de procedimiento se utilice, ya que en cada uno de las mismas involucra una gran variedad de factores como la construcción de probetas como es el de este proyecto.
- Se elaboró una lista de procedimientos para cada tipo de procesos que se pueden presentar el taller de la empresa Sayán Maquinarias S.A.C., se entregó a cada integrante del Área de Soldadura la documentación a tener en cuenta para la reducir las deformaciones en las juntas soldadas, ya que es necesario tener en cuenta que no pueden evitarlas completamente.

6.2. Recomendaciones

- En base al presente estudio, se recomienda continuar con estudios de validación de tensiones residuales por medio de ensayos que se apliquen en campo o in situ, como el análisis que se llevó a cabo. Algunos procedimientos afectan parcialmente a la pieza o elemento a estudiar y adicionalmente deben realizarse también en un laboratorio bajo ciertas condiciones muy rigurosas.
- El efecto de las tensiones residuales se podría continuar analizando entorno al proceso de la fabricación, ya que hay variedad de dimensiones de las piezas y de las juntas en el material como es el caso también del espesor del material, adicional también se podría alterar por otro tipo de junta que se utiliza para la fabricación y construcción de estructuras metálicas.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- SOLDADURA. PRINCIPIOS Y APLICACIONES – DE LARRY JEFFUS
- MANUAL DE SOLDADURA – OERLIKON 7ma edición
- MANUAL DE SISTEMA Y MATERIALES DE SOLDADURA – INDURA S.A. INDUSTRIA Y COMERCIO
- AMERICAN WELDING SOCIETY. Disponible en: (http://www.aws.org/)
- CUTWELD ELECTRONICSLTDA. Disponible en: (http://www.cutweld.com.co/web/)
- WELDING HANDBOKK. Novena Edición

ANEXOS

ANEXO 01

ENTREVISTA REALIZADA AL JEFE DE TALLER MECANICO

ENTREVISTA PARA RECOLECCION DE DATOS DE DEFORMACIONES EN JUNTA SOLDADAS

Fecha: 23, 10, 2019

Nombre del Entrevistado: José Luis Torres Zaguceta

Empresa: Sayán Maquinarias SAC.

Cargo: Jefe Taller: MECANICO.

Objetivo:

Obtener los datos que se comprobaran en la realización de un ensayo de laboratorio para medir la deformación en una junta soldada

Preguntas:

1. ¿Qué parámetros se verifican antes de realizar el Proceso de Soldadura?
   - El amperaje y Electrodos segun la pieza a Soldar. (espesor del material)
   - Velocidad de Avance conveniente y buena posición del electrodo
2. ¿Cuáles son las causas que conoce que producen las deformaciones en metales?
   - Amperaje Alto
   - Demasiados Cordones depositados
   - No Preparar La Pieza Adecuadamente a Soldar.
3. ¿Qué métodos conoce para prevenir las deformaciones durante la soldadura?
   - Preparar la Pieza Adecuadamente
   - Realizar las Soldaduras alternadas
   - No debe depositarse material (soldadura) excesiva
4. ¿Cuál es el método que más se utiliza para evitar las deformaciones en las juntas soldadas?
   - Preparar la Pieza Adecuadamente
   - Realizar Soldaduras alternadas

5. ¿Cuál es el proceso si tiene deformaciones en una pieza soldada?

* Enderezar por Calentamiento.
* Enderezar con Una Prensa Hidraulica
* Enderezar Con Golpe

6. ¿Cree usted que el método de soldadura intermitente seria el método más eficaz para prevenir las deformaciones?

Si este método es eficaz y se práctica mucho.

José Luis Torres Zagaceta

ANEXO 02

FOTOS DE PIEZA ESCOGIDA CON DEFORMACION

ANEXO 03

INFORME MANDADO AL LABORATORIO DE INGENIERIA MECANICA N°4
DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

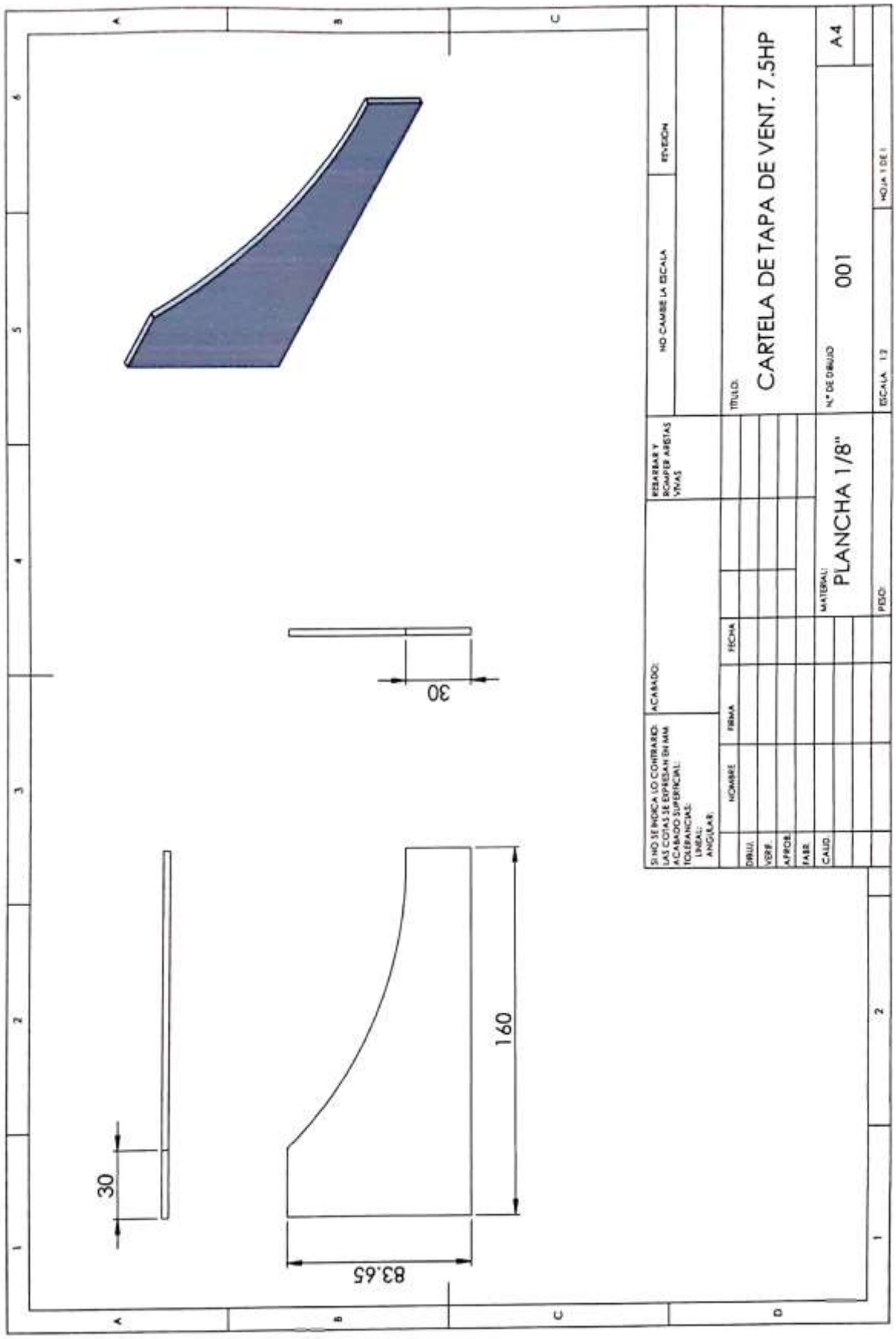
INFORME DE LOS DATOS NECESARIOS PARA EL ESTUDIO DE DEFORMACIONES

Yo, Eberth Alexander Romero Tello, Bachiller en Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo - Lambayeque, identificado con DNI 75453753, hace llegar a usted el presente informe de los datos necesarios para el estudio de deformaciones ya que es el punto central de la tesis "Mejoramiento del proceso de soldadura para reducir deformaciones en las juntas de las estructuras metálicas – Empresa Sayán Maquinarias S.A.C. – Lambayeque", la cual tiene por finalidad demostrar que, haciendo uso de los diferentes procedimientos descritos dentro de la tesis, se consigue reducir las deformaciones en las juntas metálicas.

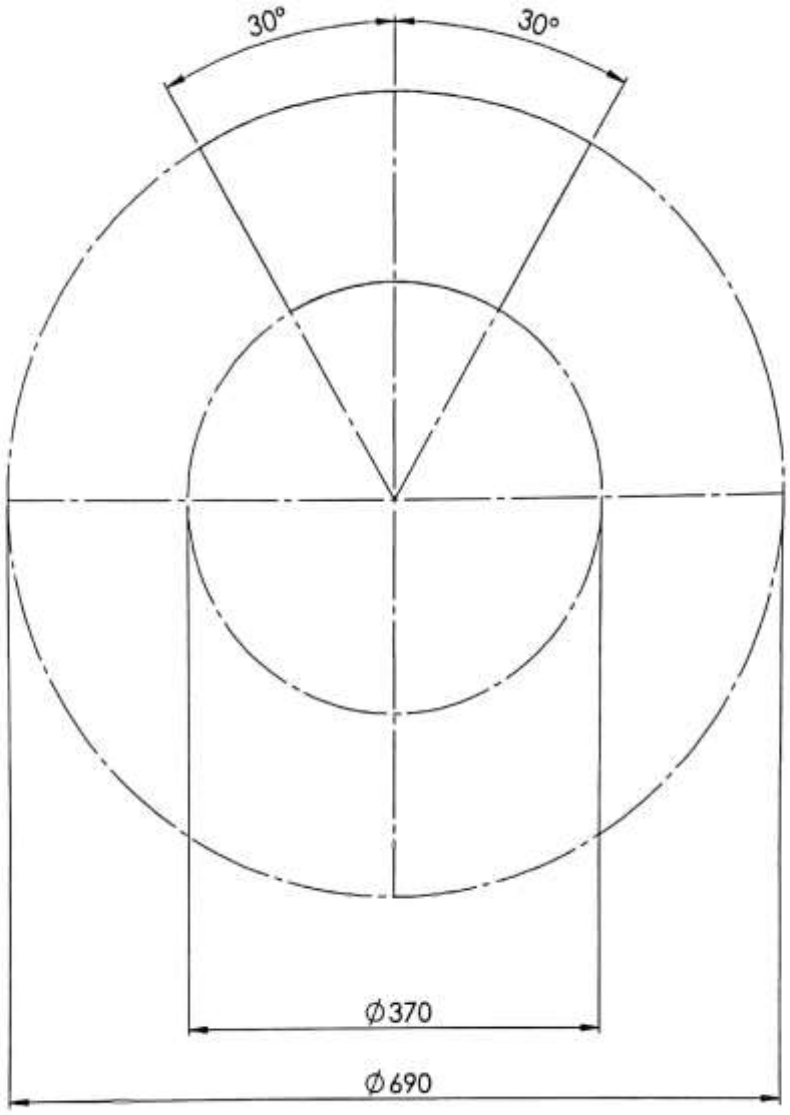
Para el estudio se utilizará 4 probetas unidas en T, todas de las mismas dimensiones como se muestra en los planos, LA CARTELA DE TAPA DE VENT. 7.5HP (Plano 01) y PLANCHA BASE SECCIONADA (Plano 02), que son partes de un todo en este caso de la Tapa de la carcasa de un Ventilador para motor de 7.5hp (Plano 03) que es fabricado en la mencionada empresa, siendo seleccionada por presentar las deformaciones que son resaltantes a simple vista, dichas probetas están conformadas por 2 piezas, las cuales son hechas de Plancha de Acero LAC ASTM A36 de espesor 1/8", pero en cada probeta con diferentes características en su unión. (para las uniones se utilizó Soldadura CELLOCORD AP AWS 6011 – 1/8")

1. Probetas BASE: es la que servirá de modelo inicial, para el posterior estudio, no se encuentra soldada sino apuntala en T. (Plano 04)
2. Probeta con Soldadura de Cordón Completo: es la probeta con la que muestra que el procedimiento usado no es el más adecuado ya que presenta deformación en exceso. (Plano 05)
3. Probeta con Soldadura Intermitente: es uno de los procedimientos que se ha propuesto dentro de la tesis, el cual reduce las deformaciones. (Plano 06)
4. Probeta con Soldadura intermitente y Procedimiento para contrarrestar fuerzas de contracción con plancha de mayor espesor: siendo este procedimiento el más recomendado ya que presenta una disminución muy significante de las deformaciones. (Plano 07)

PLANO 01

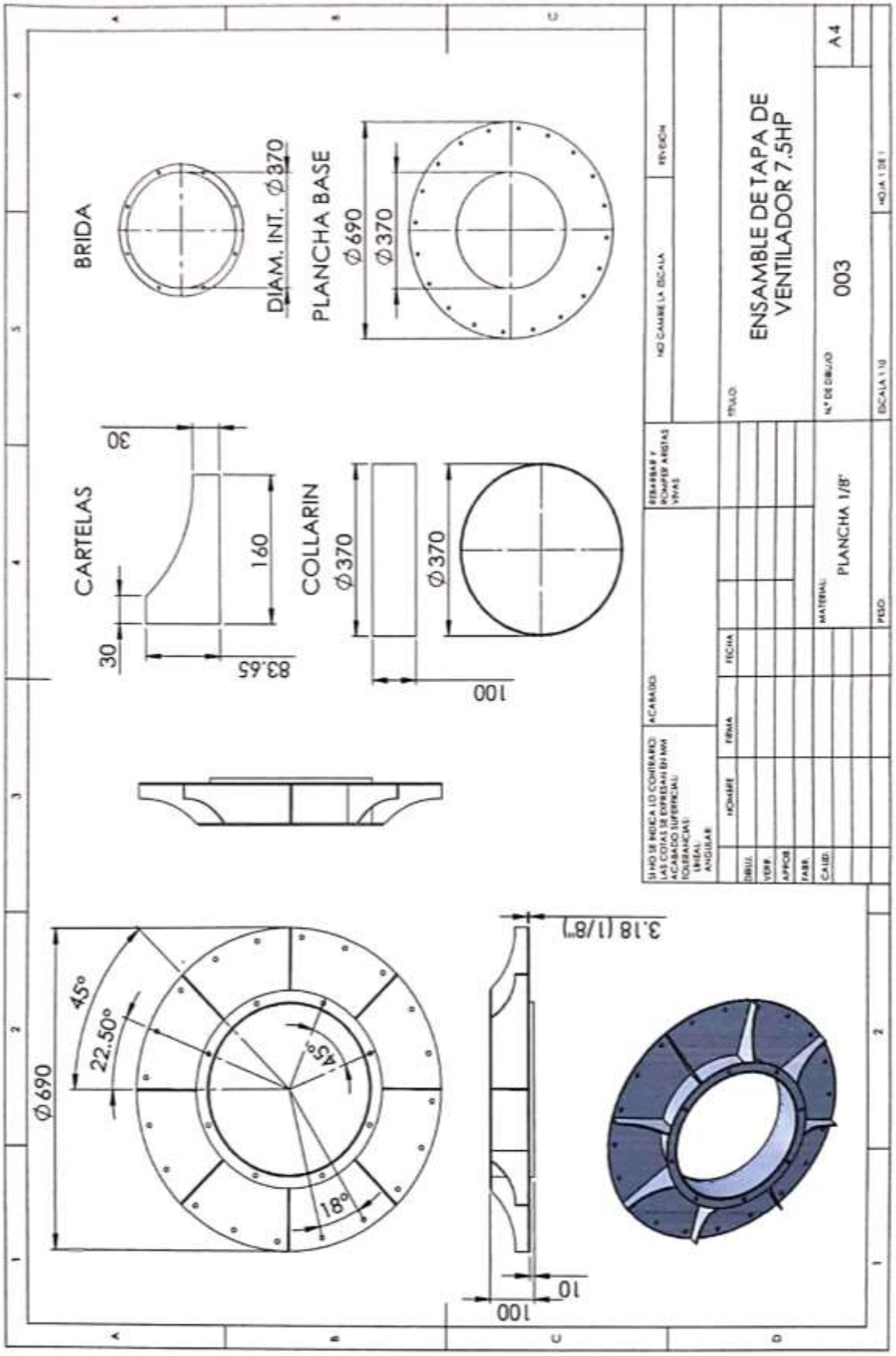

30
30
160
83.65
NO CAMBIE LA ESCALA
REVISIÓN
REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS
ACABADO:
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM
ACABADO SUPERFICIAL:
TOLERANCIAS:
LINEAL:
ANGULAR:
NOMBRE
FIRMA
FECHA
DIBUJ.
VERIF.
APROB.
FABR.
CALID.
TÍTULO:
CARTELA DE TAPA DE VENT. 7.5HP
N.º DE DIBUJO
001
A4
MATERIAL:
PLANCHA 1/8"
PESO:
ESCALA: 1:2
HOJA 1 DE 1

PLANO 02

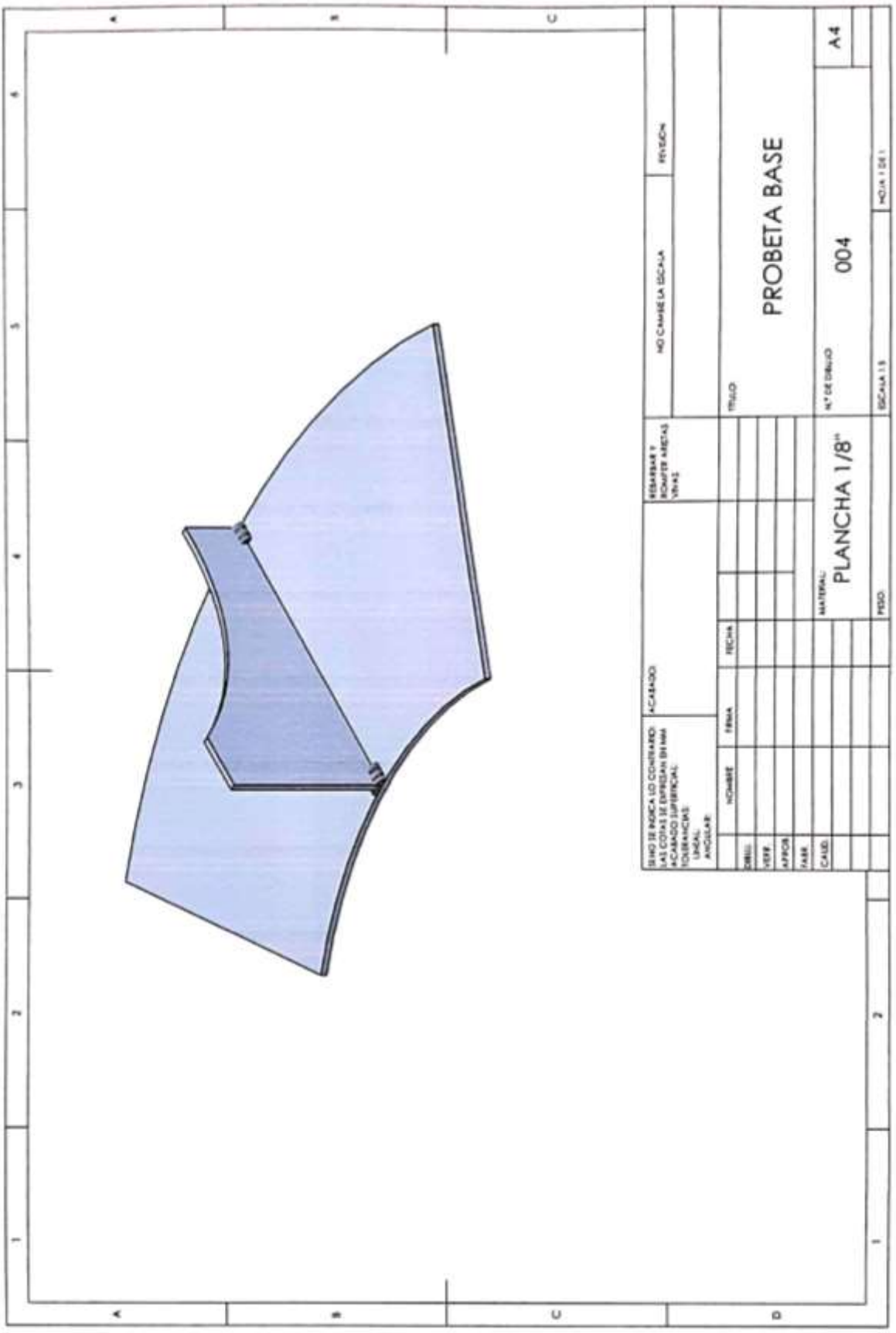


SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS LINEAL: ANGULAR:	ACABADO:			REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
	NOMBRE	FIRMA	FECHA		TÍTULO: PLANCHA BASE SECCIONADA	
DIBUJ.						
VERIF.						
APROB.						
FABR.						
CALID.				MATERIAL: PLANCHA 1/8"	N.º DE DIBUJO 002	A4
				PESO:	ESCALA: 1:5	HOJA 1 DE 1

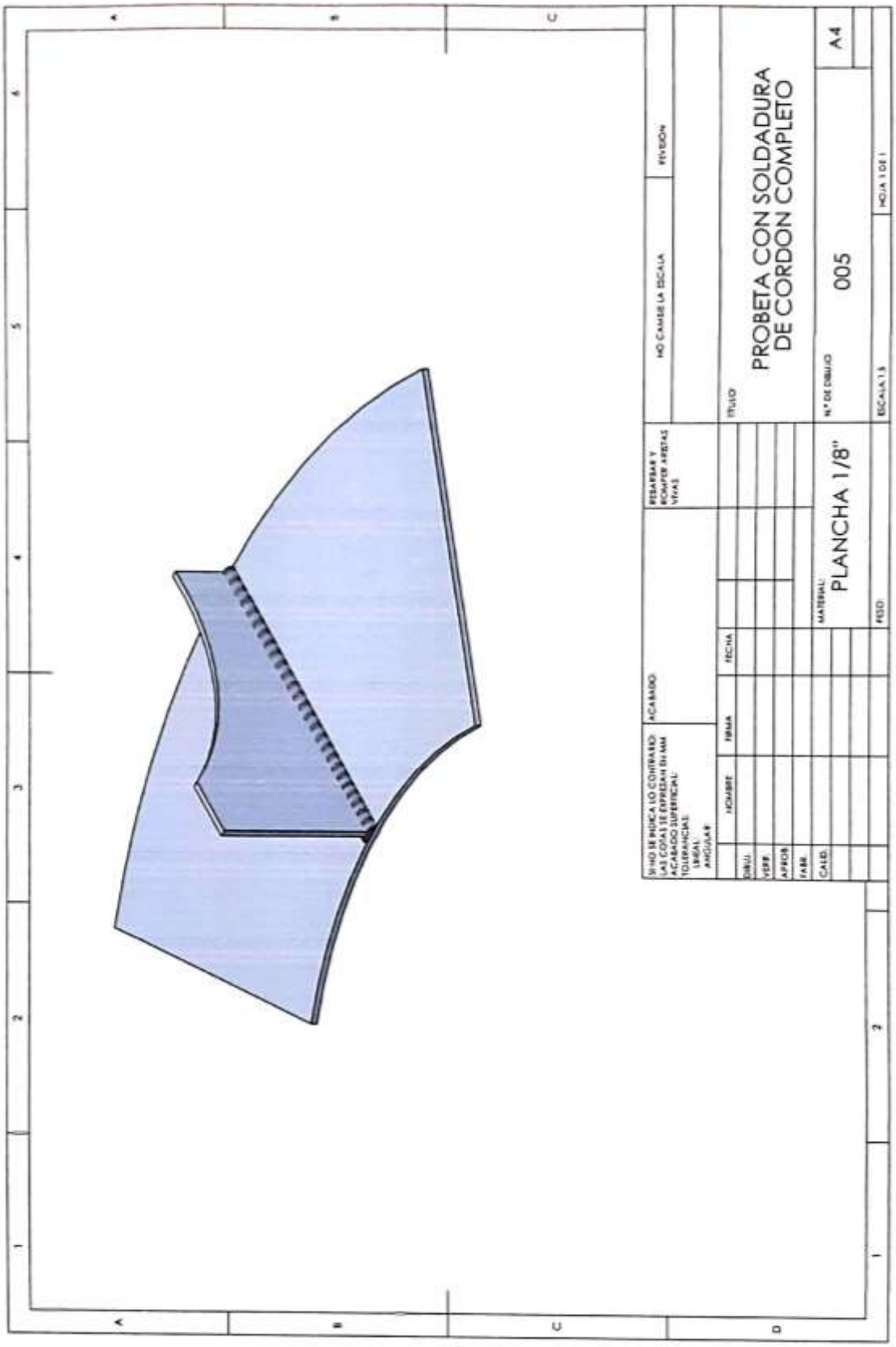
PLANO 03


BRIDA
DIAM. INT. Ø370
PLANCHA BASE
Ø690
Ø370
CARTELAS
30
160
83.65
30
COLLARIN
Ø370
Ø370
100
Ø690
45°
22.50°
45°
18°
3.18 (1/8")
10
100
ENSAMBLE DE TAPA DE VENTILADOR 7.5HP
003
A4
PLANCHA 1/8"

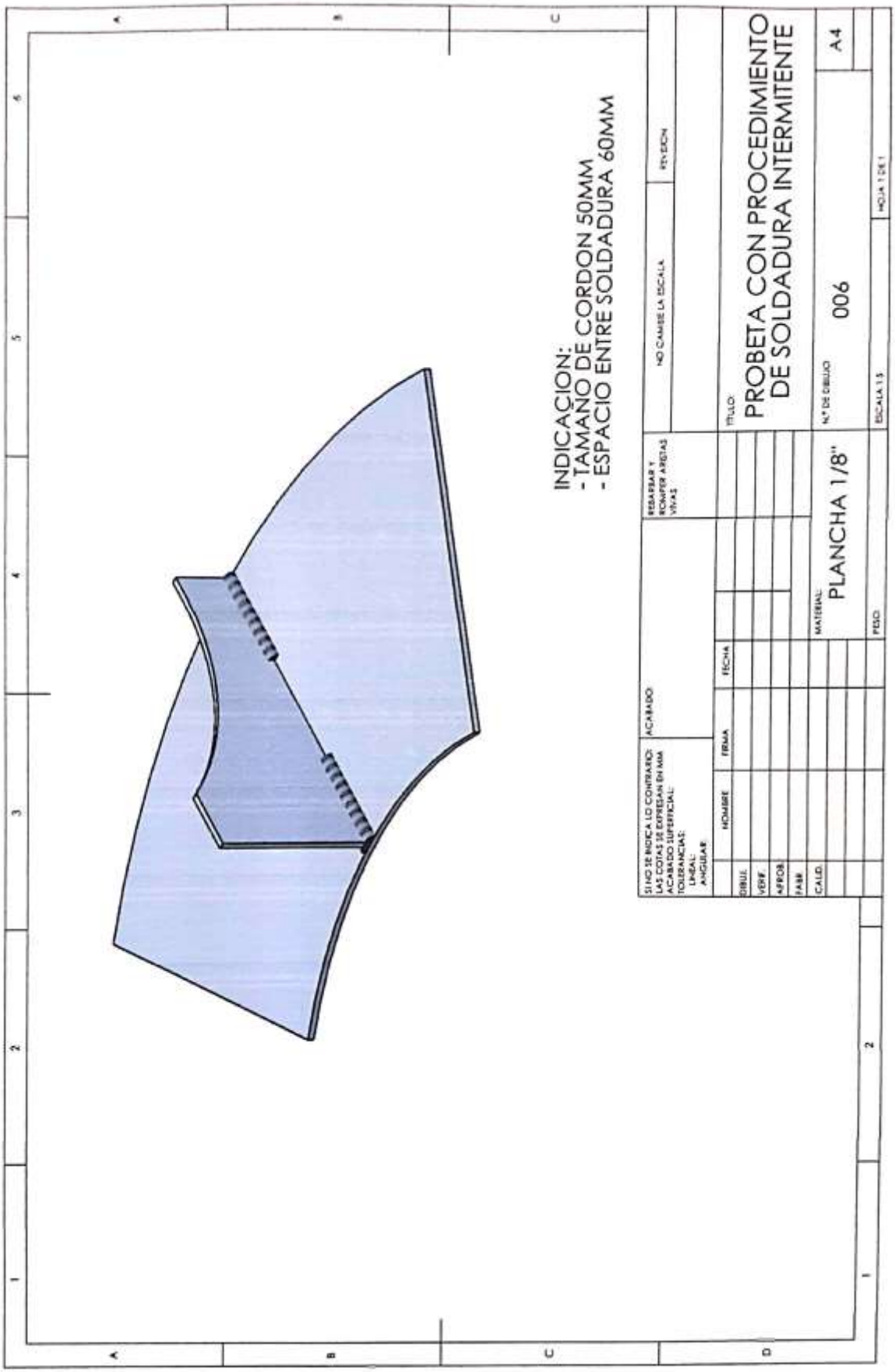
PLANO 04


PROBETA BASE
004
A4
PLANCHA 1/8"
NO CAMBIE LA ESCALA
REVISIÓN
ACABADO
FECHA
FIRMA
NOMBRE
DIBUJ.
VERIF.
APROB.
FABR.
CALID.
TÍTULO
Nº DE DIBUJO
MATERIAL
ESCALA 1:1
PESO
HOJA 1 DE 1

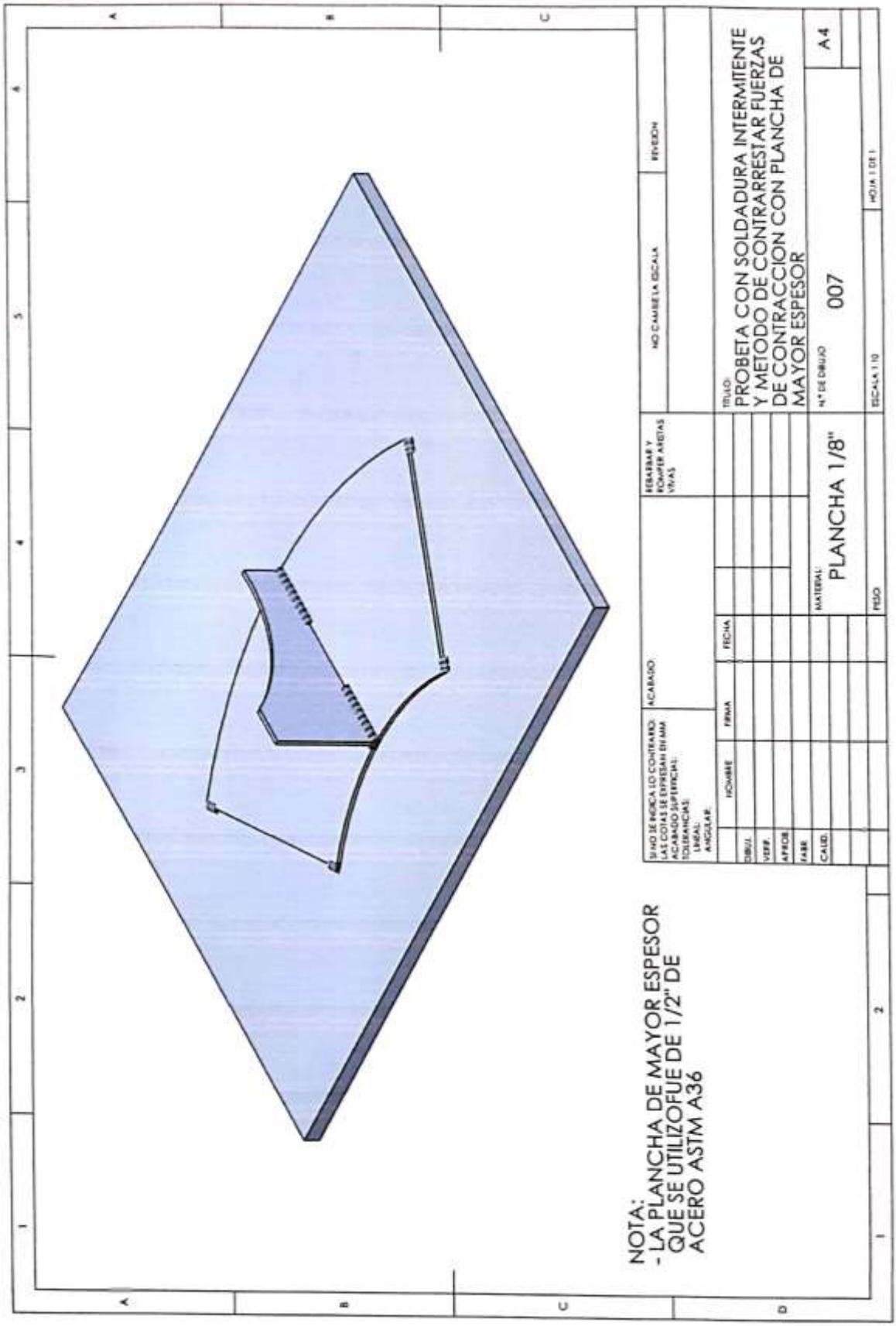
PLANO 05


NO CAMBIE LA ESCALA
REVISIÓN
TÍTULO
PROBETA CON SOLDADURA
DE CORDÓN COMPLETO
A4
Nº DE DIBUJO
005
ESCALA 1:5
HOJA 1 DE 1
MATERIAL:
PLANCHA 1/8"
PESO
ACABADO
REBARBAR Y
ROMPER ARISTAS
VIVAS
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO
LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM
ACABADO SUPERFICIAL:
TOLERANCIAS:
LINEAL:
ANGULAR
NOMBRE
FIRMA
FECHA
DIBJ.
VERF.
APROB.
FABR.
CALID.

PLANO 06

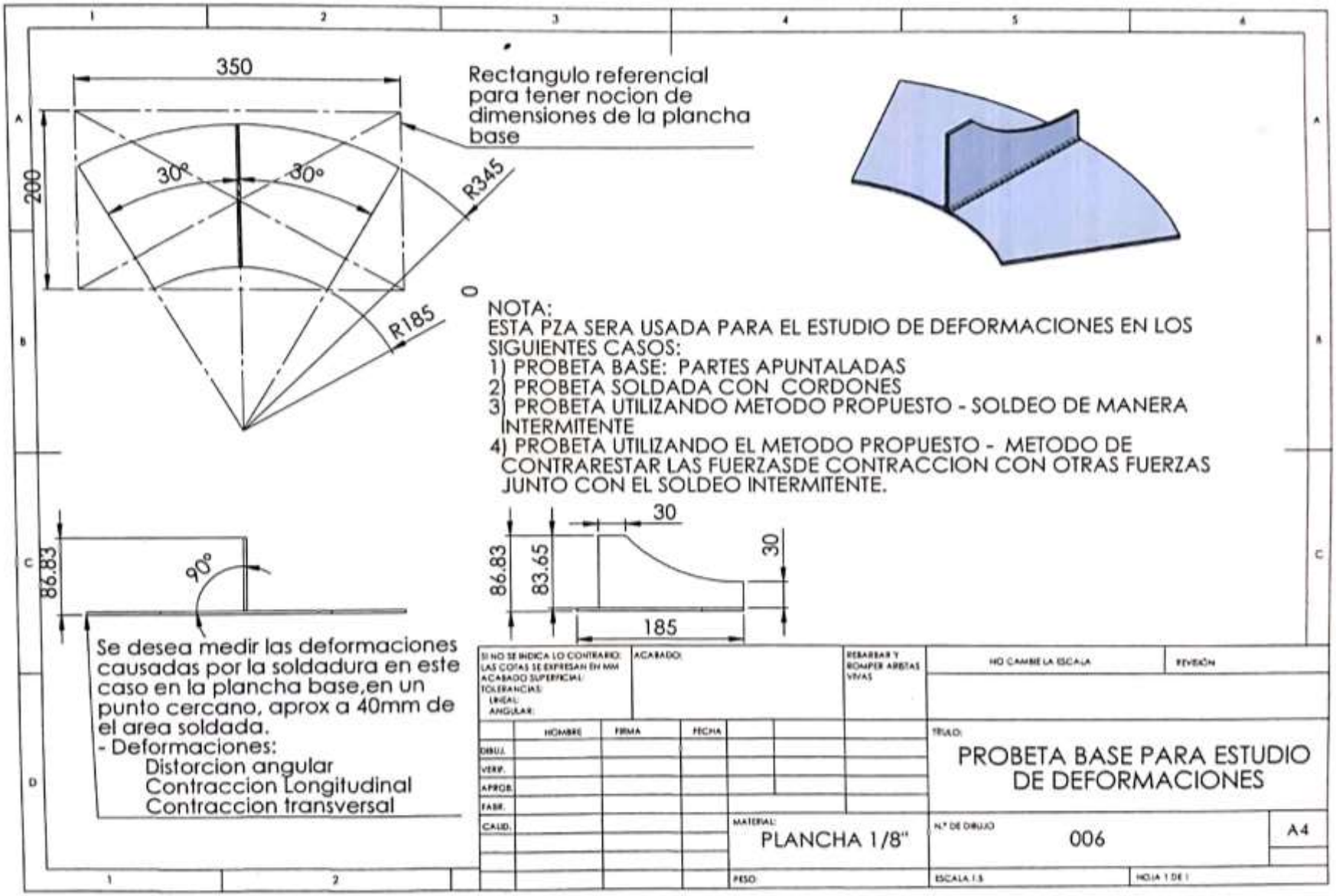

INDICACION:
- TAMAÑO DE CORDON 50MM
- ESPACIO ENTRE SOLDADURA 60MM
NO CAMBIE LA ESCALA
REV-ECN
REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS
ACABADO
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM
ACABADO SUPERFICIAL:
TOLERANCIAS:
LINEAL:
ANGULAR:
NOMBRE
FIRMA
FECHA
DIBUJ.
VERIF.
APROB.
FABR.
CALID.
TITULO:
PROBETA CON PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA INTERMITENTE
MATERIAL:
PLANCHA 1/8"
Nº DE DIBUJO
006
A4
PESO
ESCALA 1:5
HOJA 1 DE 1

PLANO 07


NOTA:
- LA PLANCHA DE MAYOR ESPESOR QUE SE UTILIZOFUE DE 1/2" DE ACERO ASTM A36
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO, LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM
ACABADO SUPERFICIAL:
TOLERANCIAS:
LINEAL:
ANGULAR:
ACABADO
REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS
NO CAMBIE LA ESCALA
REVISION
NOMBRE
FIRMA
FECHA
DIBUJ.
VERIF.
APROB.
FABR.
CALID.
MATERIAL:
PLANCHA 1/8"
PESO
TITULO:
PROBETA CON SOLDADURA INTERMITENTE Y METODO DE CONTRARRESTAR FUERZAS DE CONTRACCION CON PLANCHA DE MAYOR ESPESOR
N° DE DIBUJO
007
A4
ESCALA 1:10
HOJA 1 DE 1

ANEXO 04

PLANO ENVIADO A SOLICITUD DEL LABORATORIO DE INGENIERÍA MECÁNICA N°4 - UNI


350
200
30°
30°
R345
R185
Rectangulo referencial para tener nocion de dimensiones de la plancha base
NOTA:
ESTA PZA SERA USADA PARA EL ESTUDIO DE DEFORMACIONES EN LOS SIGUIENTES CASOS:
1) PROBETA BASE: PARTES APUNTALADAS
2) PROBETA SOLDADA CON CORDONES
3) PROBETA UTILIZANDO METODO PROPUESTO - SOLDEO DE MANERA INTERMITENTE
4) PROBETA UTILIZANDO EL METODO PROPUESTO - METODO DE CONTRARESTAR LAS FUERZASDE CONTRACCION CON OTRAS FUERZAS JUNTO CON EL SOLDEO INTERMITENTE.
86.83
90°
30
86.83
83.65
30
185
Se desea medir las deformaciones causadas por la soldadura en este caso en la plancha base,en un punto cercano, aprox a 40mm de el area soldada.
- Deformaciones:
Distorcion angular
Contraccion Longitudinal
Contraccion transversal
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM
ACABADO SUPERFICIAL:
TOLERANCIAS:
LINEAL:
ANGULAR:
ACABADO:
REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS
NO CAMBIE LA ESCALA
REVISIÓN
HOMBRE
FIRMA
FECHA
DIBUJ.
VERIF.
APROB.
FABR.
CALID.
MATERIAL:
PLANCHA 1/8"
PESO:
TÍTULO:
PROBETA BASE PARA ESTUDIO DE DEFORMACIONES
N.º DE DIBUJO
006
A4
ESCALA 1:5
HOJA 1 DE 1

ANEXO 05

PROCESO CONSTRUCTIVO DE LAS PROBETAS PARA EL ESTUDIO EN LABORATORIO

Ø690
Ø370
45°
45°
20°
20°
STUDIO

DISCO
4-1/2"
115mm
ELECTRODES
OERLIKON

CELLOCORD AP

Probeta
Base

Roseta
Nº2

Probeta
Nº 3

Probeta
Nº4

ANEXO 06

PROTOCOLO DE ESTUDIO Y RESULTADOS DEL ENSAYO REALIZADO

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
Facultad de Ingeniería Mecánica
Laboratorio de Mecánica – Lab. Nº 4

INFORME TECNICO
Lb4-2324-2019

MEDICIÓN DEL ÁNGULO DE LA SOLDADURA DE MUESTRAS DE PLANCHAS SOLDADAS DE ACERO

SOLICITANTE : **EBERTH ALEXANDER ROMERO TELLO**
REFERENCIA : Orden de Laboratorio N° 106299
FECHA : Lima, 02 de Diciembre de 2019

1.	ANTECEDENTES	Se recibió cuatro (04) muestras de planchas soldadas de acero, con la finalidad de realizarles la medición del ángulo de la soldadura.
2.	DE LAS MUESTRAS	Se identificó según el cliente, como: Cuatro (04) muestras de planchas soldadas de acero ASTM A 36 de 1/8" de espesor Muestra M1: Una (01) muestra de plancha de acero soldada Muestra M2: Una (01) muestra de plancha de acero soldada con cordón completo Muestra M3: Una (01) muestra de plancha de acero soldada intermitente Muestra M4: Una (01) muestra de plancha de acero soldada intermitentemente y apuntalada sobre plancha 1/2" de espesor Tesis : "MEJORAMIENTO DEL PROCESO DE SOLDADURA PARA REDUCIR DEFORMACIONES EN LAS JUNTAS DE ESTRUCTURAS METÁLICAS – EMPRESA SAYÁN MAQUINARIAS S. A. C. - LAMBAYEQUE"
3.	EQUIPOS UTILIZADOS	• Goniómetro óptico Carl Zeiss. • Vernier digital, marca MITUTOYO, aproximación 0,01 mm.
4.	CONDICIONES DE ENSAYO	T. : 24 °C H.R. : 67 %

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA JEFATURA LABORATORIO DE MECANICA

Av. Túpac Amaru 210 – Lima 25, Perú
Teléfono: 381-3833 / 481-1070 Anexo 4413 / Email: laboratorio_4@outlook.com

CamScanner

5. RESULTADOS

MUESTRA	MEDIDA DEL ANGULO DE LA SOLDADURA
M1	90°
M2	88° 15'
M3	88° 55'
M4	88° 55'

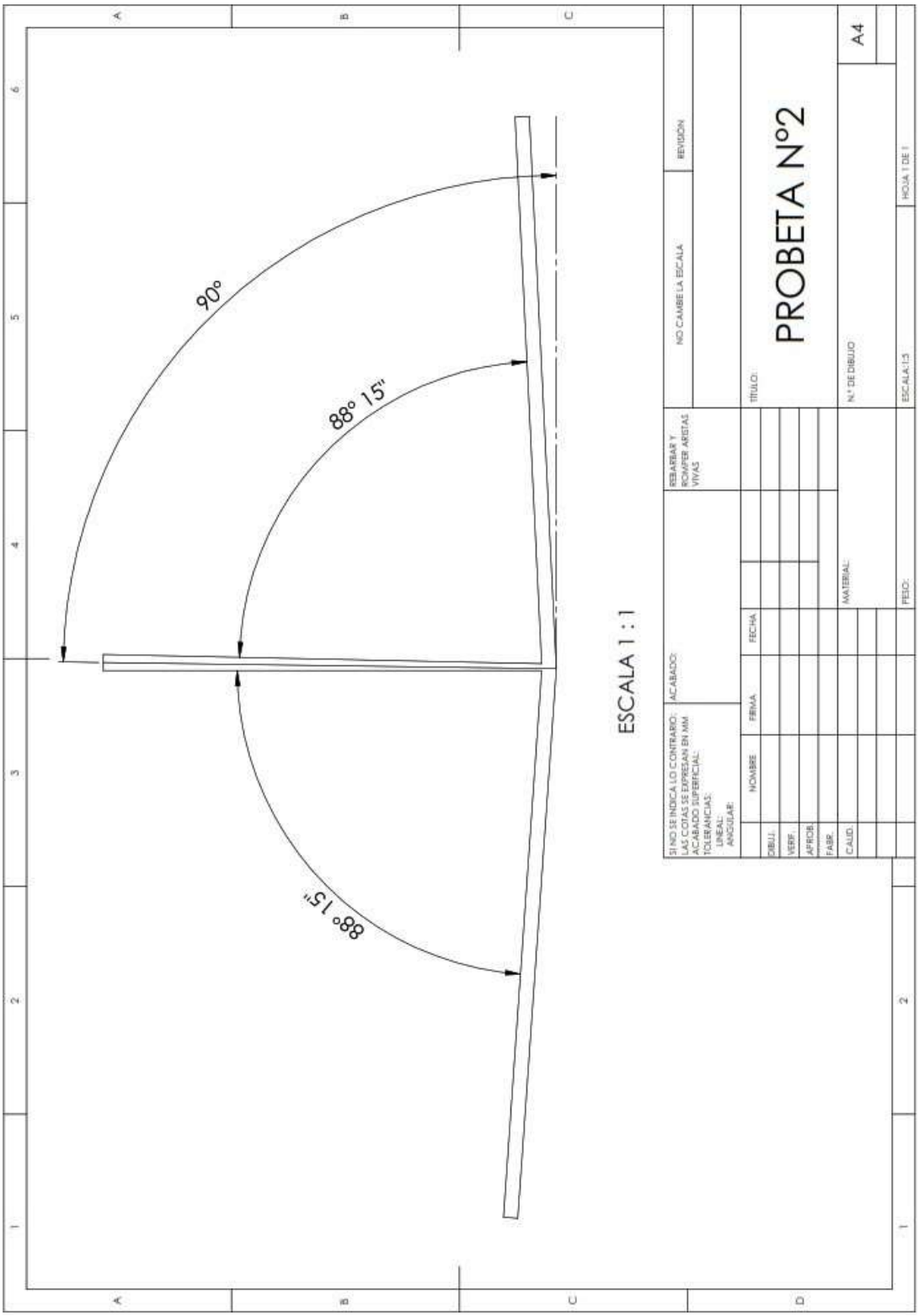
* Código de autenticación : XXXIVA MMCCCXXIV TAPI TTIT

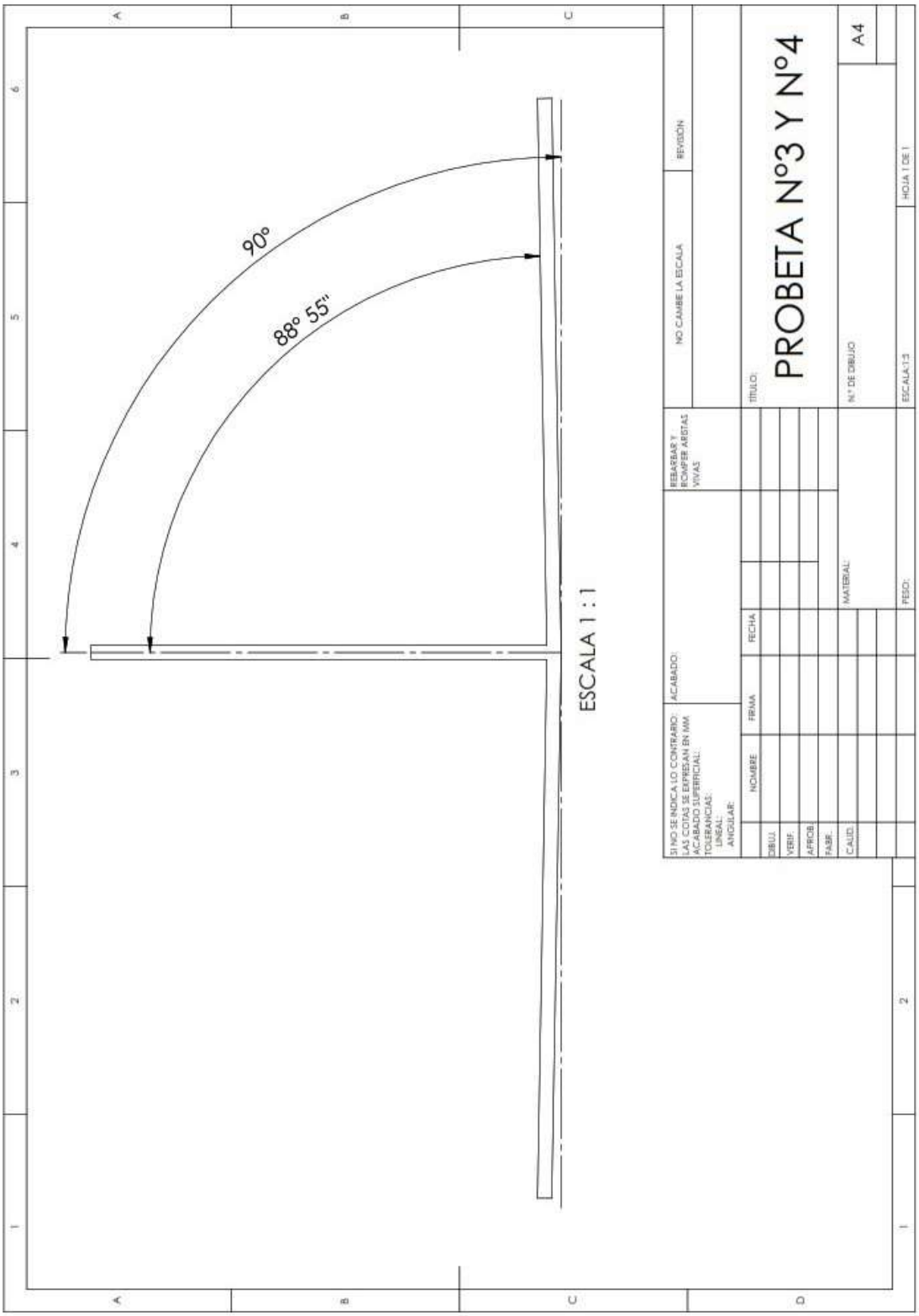
MSC. ING. WINSTON ACEIJAS PAJARES
CIP. 34882
Jefe del Laboratorio de Mecánica – Lab. N°4

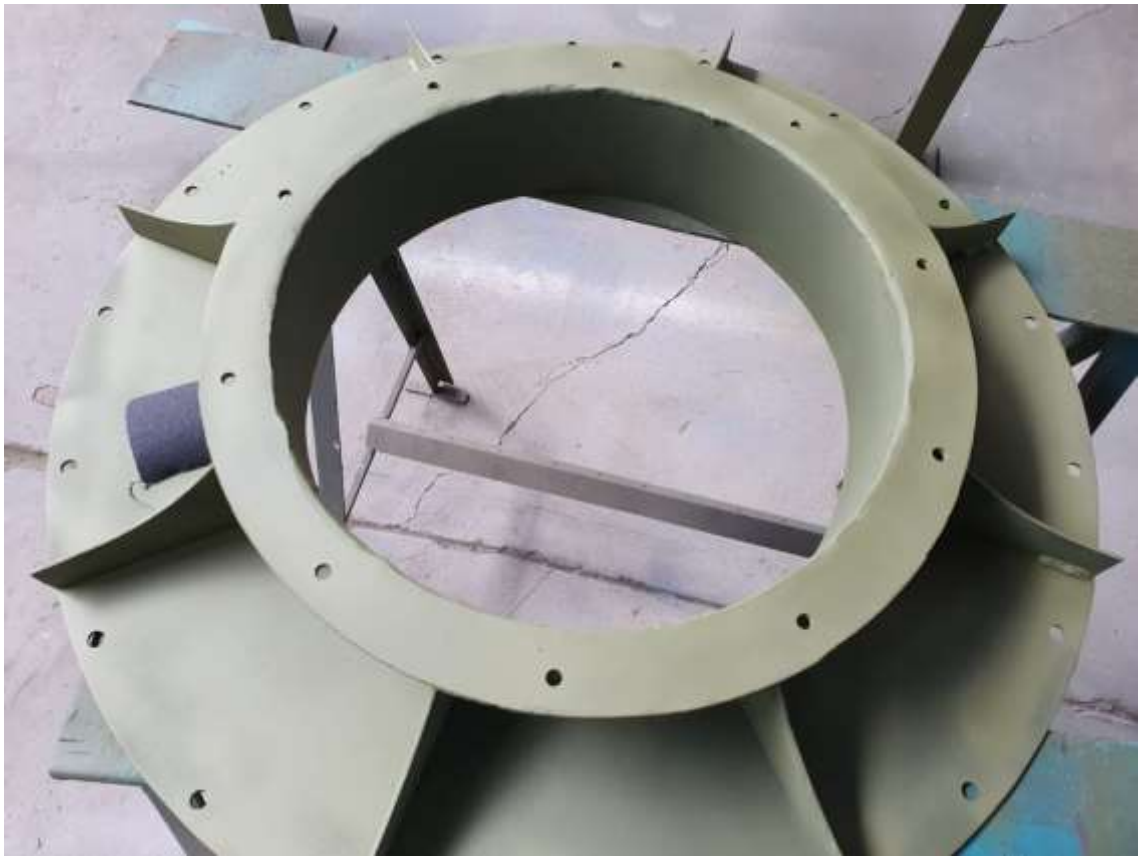
CamScanner

ANEXO 07

REPRESENTACION DE DEFORMACION PRESENTE EN LA PLANCHA


90°
88° 15"
88° 15"
ESCALA 1 : 1
NO CAMBIE LA ESCALA
REVISIÓN
REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM
ACABADO SUPERFICIAL:
TOLERANCIAS:
LINEAL:
ANGULAR:
ACABADO:
NOMBRE
FIRMA
FECHA
DIBUJ.
VERIF.
APROB.
FABR.
CALID.
MATERIAL:
TÍTULO:
PROBETA N°2
N.º DE DIBUJO
A4
PESO:
ESCALA:1:3
HOJA 1 DE 1


90°
88° 55''
ESCALA 1 : 1
NO CAMBIE LA ESCALA
REVISIÓN:
REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS
ACABADO:
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:
NOMBRE
FIRMA
FECHA
DIBUJ.
VERIF.
APROB.
FABR.
CALID.
TÍTULO:
PROBETA N°3 Y N°4
MATERIAL:
N.° DE DIBUJO
A4
PESO:
ESCALA:1:3
HOJA 1 DE 1

ANEXO 08

PIEZA CONSTRUIDA CON EL PROCEDIMIENTO PROPUESTO