



T
671.52
PAR

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la

Producción

"Análisis y Estudio para desarrollo de una Guía de prácticas para el Laboratorio de Ingeniería en Soldadura de la FIMCP-ESPOL de acuerdo con normas aplicables"

TESIS DE GRADO

Previo a la obtención del Título de:



CIB-ESPOL

INGENIERO MECÁNICO

Presentada por:

Joffre José Paredes Verduga

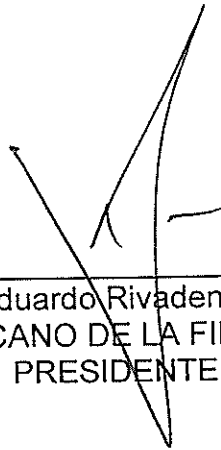


CIB-ESPOL

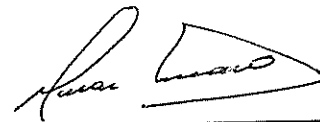
GUAYAQUIL-ECUADOR

Año: 2005

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN



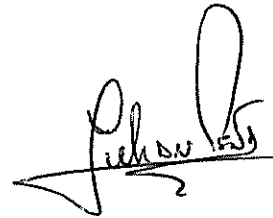
Ing. Eduardo Rivadeneira P.
DECANO DE LA FIMCP
PRESIDENTE



• Ing. Omar Serrano V.
DIRECTOR DE TESIS



Dra. Cecilia Paredes V.
VOCAL



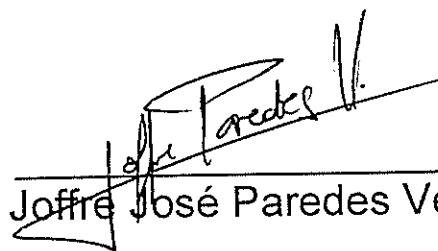
Ing. Julián Peña E.
VOCAL

DECLARACION EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, me corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”

(Reglamento de Graduación de la ESPOL).




Joffre José Paredes Verduga



RESUMEN

El objetivo de esta tesis es de desarrollar una guía para las clases prácticas de la materia Soldadura dictada en la Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción de la ESPOL, de acuerdo con las necesidades académicas de los estudiantes, bajo normas ASME, AWS y API. En muchos de los casos las clases teóricas no son complementadas con clases prácticas. Este complemento es el que permite a los estudiantes interiorizar los conocimientos al ver, probar, y analizar lo estudiado en el aula.

En primer lugar se hace un análisis de cuáles podrían ser las prácticas a considerarse. Esto de acuerdo a las necesidades de los estudiantes en su futuro profesional así como de la facilidad para conseguir los insumos y equipos en el mercado local. Además se seguirán los análisis siguiendo las normas internacionales antes mencionadas.

Se presenta un resumen de cada una de los principales métodos de soldadura a considerarse. Esto se lo hace con el fin de tener una idea global de cada una de estos métodos. Se procede a la primera práctica, la cual es de Soldadura por Electrodo Revestido. Este es el método de soldadura más común en el ámbito del mercado local. Se analiza los diseños de las uniones así también como las diferentes posiciones de soldadura. Esto se lo hace con el objetivo de una familiarización de todos los insumos y equipos que se utilizan en este método.

Se continúa con el efecto de gases y mezclas sobre las características de la unión soldada en método GMAW. Aquí se utilizan Argón y CO₂ en diferentes proporciones.

La siguiente práctica tratará el método de soldadura GTAW. Aquí se utilizará Acero Inoxidable y se estudiara la solidificación para este metal. El acero inoxidable se utiliza ampliamente en nuestro medio para diferentes aplicaciones y el proceso de solidificación es muy importante en caso de soldar este metal.

Se estudiará el efecto del uso de gas en el método de FCAW, que es un proceso de cada vez mayor uso en nuestro medio.

El método de SAW se utiliza también de gran manera en nuestro medio. La práctica que se realiza es la variación de parámetros de soldadura. Por ejemplo: el voltaje, el amperaje y la velocidad de soldadura. Aquí se estudia estos efectos mediante un análisis macro y microscópico. La segunda parte de esta práctica es la medición de distribución de temperaturas durante todo el proceso.

Una parte muy importante relacionada con la soldadura es el corte de metales. Para esto se preparan dos prácticas. Una de oxicorte y la otra de corte con plasma. Se hará una familiarización de equipos y parámetros de operación.

Por último, se prepara una práctica de aplicación de métodos computacionales en análisis de soldadura. Se cuenta con dos softwares que se han venido utilizando como son los de Flujo de Calor y de Mecánica de Fractura. Además se realiza un programa en lenguaje de Visual Basic para el cálculo de costos en soldadura. Este programa es de gran utilidad por su facilidad en su aplicación y por ahorrar tiempo que se tomaría para hacer estos cálculos.

Las prácticas se realizarán en el laboratorio existente de la ESPOL y/o en empresas de soldadura que poseen estas facilidades, de tal manera de

documentar parámetros y condiciones reales para que puedan ser reproducidas por los estudiantes de la FIMCP durante las prácticas regulares dentro del curso de Soldadura.



CIB-ESPOL

INDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN.....	II
INDICE GENERAL.....	VI
ABREVIATURAS.....	X
INDICE DE FIGURAS.....	XI
INDICE DE TABLAS.....	XV
INTRODUCCION.....	1
CAPITULO 1	
1. ANALISIS DE PRACTICAS A DESARROLLARSE.....	4
1.1. Análisis de la necesidad académica.....	4
1.2. Normas a considerarse.....	5
CAPITULO 2	
2. METODOS DE SOLDADURA Y PROCESOS RELACIONADOS	
CONSIDERADOS.....	8
2.1. Soldadura al Arco con Electrodo Revestido, SMAW.....	8



CIB-ESPOL

2.2. Soldadura al Arco con Gas Protector, GMAW.....	12
2.3. Soldadura al Arco con Gas Protector y Electrodo de Tungsteno, GTAW.....	20
2.4. Soldadura al Arco con Electrodo de Núcleo de Fundente, FCAW.....	28
2.5. Soldadura por Arco Sumergido, SAW.....	35
2.6. Corte con Oxígeno-Acetileno.....	39
2.7. Corte con Plasma.....	43



CIB-ESPOL

CAPITULO 3

3. PRACTICAS DE LABORATORIO CONSIDERADAS BAJO NORMAS

ASME, AWS y API.....	47
3.1. SMAW.....	47
3.1.1. Diseño de Uniones.....	47
3.1.2. Posiciones de Soldadura.....	52
3.2. GMAW.....	58
3.2.1. Efecto de Gases y Mezclas (Ar, CO ₂ , Mezcla 80% Ar – 20% CO ₂) sobre las características de la unión soldada.....	58
3.3. GTAW.....	69
3.3.1. Estudio de la Solidificación en Soldaduras de Acero Inoxidable.....	69
3.3.2. Medición de la Distribución de temperatura durante el	

proceso.....	85
3.4.FCAW.....	86
3.4.1. Estudio y comparación del efecto del uso del procesos con gas y sin gas sobre las características de la unión soldada.....	86
3.5.SAW.....	97
3.5.1. Efecto de los parámetros de soldadura sobre las características de la unión soldada.....	97
3.6.OXICORTE.....	110
3.6.1. Familiarización de Equipos y Parámetros de operación.....	110
3.7.CORTE CON PLASMA.....	115
3.7.1. Familiarización de Equipos y Parámetros de operación.....	115
 CAPITULO 4	
4. APLICACIÓN DE MÉTODOS COMPUTACIONALES EN ANÁLISIS DE SOLDADURA.....	120
4.1. Flujo de Calor.....	120
4.2. Mecánica de la Fractura.....	120
4.3. Costos de Soldadura.....	14

CAPITULO 5

5. DISCUSION DE RESULTADOS..... 152

CAPITULO 6

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... 156

APÉNDICES

BIBLIOGRAFIA

RESUMEN

El objetivo de esta tesis es de desarrollar una guía para las clases prácticas de la materia Soldadura dictada en la Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción de la ESPOL, de acuerdo con las necesidades académicas de los estudiantes, bajo normas ASME, AWS y API. En muchos de los casos las clases teóricas no son complementadas con clases prácticas. Este complemento es el que permite a los estudiantes interiorizar los conocimientos al ver, probar, y analizar lo estudiado en el aula.

En primer lugar se hace un análisis de cuáles podrían ser las prácticas a considerarse. Esto de acuerdo a las necesidades de los estudiantes en su futuro profesional así como de la facilidad para conseguir los insumos y equipos en el mercado local. Además se seguirán los análisis siguiendo las normas internacionales antes mencionadas.

Se presenta un resumen de cada una de los principales métodos de soldadura a considerarse. Esto se lo hace con el fin de tener una idea global de cada una de estos métodos. Se procede a la primera práctica, la cual es de Soldadura por Electrodo Revestido. Este es el método de soldadura más común en el ámbito del mercado local. Se analiza los diseños de las uniones así también como las diferentes posiciones de soldadura. Esto se lo hace con el objetivo de una familiarización de todos los insumos y equipos que se utilizan en este método.

Se continúa con el efecto de gases y mezclas sobre las características de la unión soldada en método GMAW. Aquí se utilizan Argón y CO₂ en diferentes proporciones.

La siguiente práctica tratará el método de soldadura GTAW. Aquí se utilizará Acero Inoxidable y se estudiara la solidificación para este metal. El acero inoxidable se utiliza ampliamente en nuestro medio para diferentes aplicaciones y el proceso de solidificación es muy importante en caso de soldar este metal.

Se estudiará el efecto del uso de gas en el método de FCAW, que es un proceso de cada vez mayor uso en nuestro medio.

El método de SAW se utiliza también de gran manera en nuestro medio. La práctica que se realiza es la variación de parámetros de soldadura. Por ejemplo: el voltaje, el amperaje y la velocidad de soldadura. Aquí se estudia estos efectos mediante un análisis macro y microscópico. La segunda parte de esta práctica es la medición de distribución de temperaturas durante todo el proceso.

Una parte muy importante relacionada con la soldadura es el corte de metales. Para esto se preparan dos prácticas. Una de oxicorte y la otra de corte con plasma. Se hará una familiarización de equipos y parámetros de operación.

Por último, se prepara una práctica de aplicación de métodos computacionales en análisis de soldadura. Se cuenta con dos softwares que se han venido utilizando como son los de Flujo de Calor y de Mecánica de Fractura. Además se realiza un programa en lenguaje de Visual Basic para el cálculo de costos en soldadura. Este programa es de gran utilidad por su facilidad en su aplicación y por ahorrar tiempo que se tomaría para hacer estos cálculos.

Las prácticas se realizarán en el laboratorio existente de la ESPOL y/o en empresas de soldadura que poseen estas facilidades, de tal manera de

documentar parámetros y condiciones reales para que puedan ser reproducidas por los estudiantes de la FIMCP durante las prácticas regulares dentro del curso de Soldadura.

INDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN.....	II
INDICE GENERAL.....	VI
ABREVIATURAS.....	X
INDICE DE FIGURAS.....	XI
INDICE DE TABLAS.....	XV
INTRODUCCION.....	1
CAPITULO 1	
1. ANALISIS DE PRACTICAS A DESARROLLARSE.....	4
1.1. Análisis de la necesidad académica.....	4
1.2. Normas a considerarse.....	5
CAPITULO 2	
2. METODOS DE SOLDADURA Y PROCESOS RELACIONADOS	
CONSIDERADOS.....	8
2.1. Soldadura al Arco con Electrodo Revestido, SMAW.....	8
2.2. Soldadura al Arco con Gas Protector, GMAW.....	12

2.3. Soldadura al Arco con Gas Protector y Electrodo de Tungsteno, GTAW.....	20
2.4. Soldadura al Arco con Electrodo de Núcleo de Fundente, FCAW.....	28
2.5. Soldadura por Arco Sumergido, SAW.....	35
2.6. Corte con Oxígeno-Acetileno.....	39
2.7. Corte con Plasma.....	43

CAPITULO 3

3. PRACTICAS DE LABORATORIO CONSIDERADAS BAJO NORMAS

ASME, AWS y API.....	47
3.1. SMAW.....	47
3.1.1. Diseño de Uniones.....	47
3.1.2. Posiciones de Soldadura.....	52
3.2. GMAW.....	58
3.2.1. Efecto de Gases y Mezclas (Ar, CO ₂ , Mezcla 80% Ar – 20% CO ₂) sobre las características de la unión soldada.....	58
3.3. GTAW.....	69
3.3.1. Estudio de la Solidificación en Soldaduras de Acero Inoxidable.....	69
3.3.2. Medición de la Distribución de temperatura durante el proceso.....	85

3.4. FCAW.....	86
3.4.1. Estudio y comparación del efecto del uso del procesos con gas y sin gas sobre las características de la unión soldada.....	86
3.5. SAW.....	97
3.5.1. Efecto de los parámetros de soldadura sobre las características de la unión soldada.....	97
3.6. OXICORTE.....	110
3.6.1. Familiarización de Equipos y Parámetros de operación.....	110
3.7. CORTE CON PLASMA.....	115
3.7.1. Familiarización de Equipos y Parámetros de operación.....	115
 CAPITULO 4	
4. APLICACIÓN DE MÉTODOS COMPUTACIONALES EN ANÁLISIS DE SOLDADURA.....	120
4.1. Flujo de Calor.....	120
4.2. Mecánica de la Fractura.....	126
4.3. Costos de Soldadura.....	141
 CAPITULO 5	
5. DISCUSION DE RESULTADOS.....	152

CAPITULO 6

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... 156

APÉNDICES

BIBLIOGRAFIA

SIMBOLOGIA

Amps.	Amperios
AC	Corriente Alterna
ASME	American Society of Mechanical Engineers
API	American Petroleum Institute
Aw	Área de sección transversal de la zona de fusión (mm ²)
AWS	American Welding Society
CFH	Pies cúbicos por hora
CL	Línea central de Soldadura
CO ₂	Dióxido de Carbono
DC	Corriente Directa
FCAW	Flux Cored Arc Welding (Soldadura al Arco con Electrodo de Núcleo de Fundente)
GMAW	Gas Metal Arc Welding (Soldadura al Arco con Gas Protector)
GTAW	Gas Tungsten Arc Welding (Soldadura al Arco con Gas Protector y Electrodo de Tungsteno)
HCl	Ácido Clorhídrico
Hi	Calor Neto Suministrado
Ht	Calor Total Suministrado
J/mm.	Joules por milímetro
mm.	Milímetro
P	Penetración
Q	Entalpía de fusión: Calor requerido para fundir una unidad de metal
seg.	Segundos
SAW	Submerged Arc Welding (Soldadura por Arco Sumergido)
SMAW	Shielded Metal Arc Welding (Soldadura al Arco con Electrodo Revestido)
Tp	Temperatura Máxima (°C)
ZAC	Zona Afectada por el Calor

INDICE DE FIGURAS

		Pág.
Figura 2.1	Diagrama del proceso SAW.....	10
Figura 2.2.1	Equipos que se utilizan en soldadura GMAW.....	14
Figura 2.2.2	Esquema de la boquilla en el proceso MIG.....	18
Figura 2.3.1	Esquema de soldadura con electrodo de tungsteno y gas (GTAW).....	23
Figura 2.4.1	Soldadura por arco con núcleo de fundente protegida con gas.....	31
Figura 2.4.2	Soldadura por arco con núcleo de fundente y autoprotección.....	34
Figura 2.5.1	Esquema del proceso por arco sumergido.....	36
Figura 2.6.1	Equipos básicos para corte con oxígeno y acetileno.....	42
Figura 2.7.1	Corte de una boquilla para corte con plasma.....	45
Figura 3.1.1.1	Procedimiento de Soldadura según API 1104.....	50
Figura 3.1.1.2	Máquina para soldar SMAW.....	51
Figura 3.1.2.1	Posiciones de Soldadura.....	53
Figura 3.1.2.2	Norma ASME (QW-461.2) indicando posiciones de soldadura.....	55
Figura 3.1.2.3	Posiciones de Soldadura según ASME.....	56
Figura 3.1.2.4	Máquina para soldar SMAW.....	56
Figura 3.2.1.1	Corte transversal de cordón con CO ₂ como gas Protector.....	60
Figura 3.2.1.2	Corte transversal de cordón con mezcla de CO ₂ (20%) y Argón (80 %) como gas protector.....	60
Figura 3.2.1.3	Corte transversal de cordón con Argón como gas protector.....	61
Figura 3.2.1.4	Máquina Smashweld 316 para Soldadura Semi-automática MIG/MAG y Tubular.....	62
Figura 3.2.1.5	Relación entre la profundidad y el amperaje para los diferentes procesos.....	62
Figura 3.2.1.6	Relación entre la penetración y el calor suministrado para los diferentes procesos.....	64
Figura 3.2.1.7	Relación entre la dilución y el calor suministrado	

	para los diferentes procesos.....	64
Figura 3.2.1.8	Relación entre el ancho de la ZAC y el calor suministrado para los diferentes procesos.....	65
Figura 3.2.1.9	Relación entre el ancho del cordón y el calor suministrado para los diferentes procesos.....	65
Figura 3.3.1.1	Cordón 1 usando soldadura TIG.....	78
Figura 3.3.1.2	Cordón 2 usando soldadura TIG.....	78
Figura 3.3.1.3	Cordón 3 usando soldadura TIG.....	78
Figura 3.3.1.4	Cordón 4 usando soldadura TIG.....	78
Figura 3.3.1.5	Cordón 5 usando soldadura TIG.....	79
Figura 3.3.1.6	Cordón 6 usando soldadura TIG.....	79
Figura 3.3.1.7	Cordón 7 usando soldadura TIG.....	79
Figura 3.3.1.8	Cordón 8 usando soldadura TIG.....	79
Figura 3.3.1.9	Muestra 1 (800x) donde se observa la precipitación de carburos en los bordes de grano.....	80
Figura 3.3.1.10	Muestra 2 (800x) donde se observa la precipitación de carburos en los bordes de grano.....	80
Figura 3.3.1.11	Muestra 3 (800x) donde se observa la precipitación de carburos en los bordes de grano.....	80
Figura 3.3.1.12	Muestra 4 (800x) donde se observa la precipitación de carburos en los bordes de grano.....	80
Figura 3.3.1.13	Relación entre la Velocidad de soldadura y la relación L/W en diversos cordones utilizando soldadura GTAW en Aceros Inoxidables de la Serie 300.....	81
Figura 3.3.1.14	Relación entre el Calor Suministrado y la relación L/W en cordones utilizando soldadura GTAW en Aceros Inoxidables de la Serie 300.....	82
Figura 3.4.1.1	Muestra 1 usando soldadura FCAW con CO ₂ como gas de protección.....	87
Figura 3.4.1.2	Muestra 2 usando soldadura FCAW con CO ₂ como gas de protección.....	87
Figura 3.4.1.3	Muestra 3 usando soldadura FCAW con electrodo autoprotegido.....	88
Figura 3.4.1.4	Muestra 4 usando soldadura FCAW con CO ₂ con electrodo autoprotegido.....	88
Figura 3.4.1.5	Equipo de FCAW.....	90
Figura 3.4.1.6	Relación entre la penetración y el amperaje para los diferentes procesos de FCAW.....	91
Figura 3.4.1.7	Relación entre la penetración y el calor suministrado para los diferentes procesos.....	91

Figura 3.4.1.8	Relación entre la dilución y el calor suministrado para los diferentes procesos de FCAW.....	92
Figura 3.4.1.9	Relación entre el ancho de la ZAC y el calor suministrado para los diferentes procesos de FCAW.....	92
Figura 3.4.1.10	Relación entre el Ancho del Cordón y el Calor Suministrado para los diferentes procesos de FCAW.....	93
Figura 3.5.1.1	Equipo de SAW utilizado en la práctica.....	99
Figura 3.5.1.2	Relación entre la corriente y la penetración usando soldadura SAW.....	100
Figura 3.5.1.3	Relación entre el voltaje y la penetración usando soldadura SAW.....	100
Figura 3.5.1.4	Relación entre el Calor Suministrado y la penetración usando soldadura SAW.....	101
Figura 3.5.1.5	Relación entre el Calor Suministrado y la dilución usando soldadura SAW.....	101
Figura 3.5.1.6	Relación entre el calor suministrado y el ancho de la ZAC usando soldadura SAW.....	102
Figura 3.5.1.7	Relación entre el amperaje y el ancho del cordón usando soldadura SAW.....	102
Figura 3.5.1.8	Relación entre el Voltaje y el Ancho del Cordón usando soldadura SAW.....	103
Figura 3.5.1.9	Relación entre el Calor Suministrado y el Ancho del Cordón usando soldadura SAW.....	103
Figura 3.5.1.10	Muestra 1 en la práctica de SAW.....	104
Figura 3.5.1.11	Muestra 2 en la práctica de SAW.....	105
Figura 3.5.1.12	Muestra 3 en la práctica de SAW.....	105
Figura 3.5.1.13	Muestra 4 en la práctica de SAW.....	105
Figura 3.5.1.14	Muestra 5 en la práctica de SAW.....	106
Figura 4.1.1	Ventana de dimensiones de Software Flujo de Calor.....	123
Figura 4.1.2	Ventana de confirmación de primeros datos de Software Flujo de Calor.....	123
Figura 4.1.3	Ventana de confirmación de otros datos de Software Flujo de Calor.....	124
Figura 4.1.4	Ventana de ingreso de qué tipo de calor suministrado se desea en Software Flujo de Calor.....	124
Figura 4.1.5	Ventana de confirmación de últimos datos en Software Flujo de Calor.....	125
Figura 4.1.6	Ventana de resultados numéricos de Software Flujo de Calor.....	125
Figura 4.1.7	Ventana de resultados gráficos de Software Flujo de	

	Calor.....	126
Figura 4.2.1	Ventana de Inicio del programa Factor de Intensidad de Esfuerzos.....	128
Figura 4.2.2	Ventana del programa Factor de Intensidad de Esfuerzos en la cual muestra las opciones.....	128
Figura 4.2.3	Ventana del programa Factor de Intensidad de Esfuerzos para determinar qué tipo de fisura se requiere analizar.....	129
Figura 4.2.4	Gráfico para calcular el factor de intensidad de esfuerzos con una fisura en el centro de una plancha.....	130
Figura 4.2.5	Gráfico para calcular el factor de intensidad de esfuerzos con fisuras en los bordes de una plancha de ancho finito.....	134
Figura 4.2.6	Gráfico para calcular el factor de intensidad de esfuerzos con fisuras en un borde de una plancha de ancho finito.....	137
Figura 4.2.7	Gráfico para calcular el factor de intensidad de esfuerzo de una Fisura transversal a una soldadura en presencia de esfuerzo residual.....	140
Figura 4.3.1	Ventana inicial de “Costos de Soldadura”.....	146
Figura 4.3.2	Selección del proceso.....	147
Figura 4.3.3	Área de Soldadura.....	148
Figura 4.3.4	Costos Varios antes de procesar información.....	149
Figura 4.3.5	Ventana de Resultados.....	150

INDICE DE TABLAS

		Pág.
Tabla 1	Clasificación AWS para los Metales de Aporte de la Especificación AWS A5.1.....	11
Tabla 2	Clasificación AWS para los Metales de Aporte de la Especificación AWS A5.5.....	11
Tabla 3	Clasificación AWS para los Metales de Aporte de la Especificación A5.18 “Electrodos de Acero al Carbono para Soldadura de Arco Protegida por Gas”.....	16
Tabla 4	Clasificación AWS para los Metales de Aporte de la Especificación A5.28 “Electrodos de Acero al Carbono para Soldadura de Arco Protegida por Gas”.....	16
Tabla 5	Guía para determinar el tipo de corriente a usarse en GTAW.....	24
Tabla 6	Guía par determinar el tipo de corriente aplicada en GTAW.....	25
Tabla 7	Selección del Gas según el proceso y metal a ser Aplicado.....	27
Tabla 8	Parámetros Recomendados para Alambres de Soldadura de Arco Sumergido.....	38
Tabla 9	Selección de boquillas dependiendo del espesor de acero a cortar.....	111
Tabla 10	Condiciones Típicas de Corte con Plasma en Aceros Inoxidables.....	116
Tabla 11	Condiciones Típicas de Corte con Plasma en Aceros al Carbono.....	116

INTRODUCCION

La Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción de la ESPOLE en su afán de crecer constantemente y obtener la excelencia académica decidió hace mucho tiempo dar a los estudiantes la oportunidad de asimilar lo aprendido en las clases teóricas a través de la creación de laboratorios experimentales. Es así como existen hasta el momento diversos laboratorios relacionados con todas las carreras de esta facultad. Siguiendo este camino, se ha decidido crear el laboratorio de Ingeniería en Soldadura. Esta idea se llevará a cabo bajo el auspicio de la empresa AGA S.A., junto con el apoyo del Decanato de la Facultad.

Hasta el momento la materia Soldadura se dicta en un periodo de 3 horas teóricas, con una o dos visitas a empresas de soldadura para familiarizarse y luego realizar algún tipo práctica. A partir de ahora los estudiantes tendrán su propio laboratorio experimental donde podrán observar y aprender de mejor manera lo aprendido en la clase.

Si se cuenta con clases experimentales se necesita de una Guía Práctica que le sirva al estudiante para poder desarrollar diferentes procedimientos y estudiarlos de una manera ordenada. Aparte de eso las prácticas se realizarán bajo Normas Internacionales como la AWS, API, ASM.

Las prácticas a realizarse serán las siguientes:

- 1) Soldadura al Arco con Electrodo Revestido, SMAW
- 2) Soldadura al Arco con Gas Protector, GMAW
- 3) Soldadura al Arco con Gas Protector y Electrodo de Tungsteno, GTAW
- 4) Soldadura al Arco con Electrodo de Núcleo de Fundente, FCAW
- 5) Soldadura por Arco Sumergido, SAW
- 6) Corte con Oxígeno-Acetileno
- 7) Corte con Plasma
- 8) Aplicación de Métodos Computacionales en Análisis de Soldadura

De este total se dictarán un promedio de 4 ó 5 prácticas por semestre. Esto es debido a que algunas prácticas pueden tomar más de una sesión.

El formato que se va a seguir en cada práctica es el siguiente:

Título

Objetivo

Breve Introducción Teórica

Procedimiento Experimental

Equipos Utilizados

Gráficos y/o Tablas

Análisis de Resultados

Conclusiones

Cuestionario

CAPITULO 1

1. ANALISIS DE PRACTICAS A DESARROLLARSE

1.1. Análisis de la Necesidad Académica

La materia Soldadura tiene muchos puntos a analizarse y por consiguiente a estudiarse. Actualmente se hace un estudio teórico y esporádicamente se realizan prácticas en diversas empresas a nivel local. Con la construcción del laboratorio de Soldadura se amplía la posibilidad del estudiante de aprender mucho mejor, ya que las instalaciones se encuentran en la misma facultad. Además, que no va a necesitar tantos permisos para poder realizar prácticas, como se lo hace en el caso que alguien requiera de las instalaciones del taller de Soldadura que se encuentra en el área de Tecnologías. Por consiguiente, el desarrollo de una Guía Práctica podrá llevar al estudiante por un camino ordenado. Esta guía contiene ocho diferentes prácticas que abarcan los procedimientos que más se utilizan en el ámbito local.

Otro punto a analizar es que esta guía no está hecha para preparar soldadores capacitados bajo normas internacionales, si no para realizar

estudios ingenieriles de varios procedimientos. Sin embargo, se estudiarán todos los equipos utilizados en cada tipo de soldadura y se familiarizará al estudiante para que puedan hacer cada uno de ellos algún cordón, con el fin de hacer un poco entretenida las clases prácticas también.

1.2. Normas a considerarse

Las normas que se van a considerar para realizar estos trabajos serán: ASME, AWS, API. Estas normas son las que en la práctica se utilizan para seguir procedimientos normados pero principalmente para realizar cualquier trabajo con todas las seguridades que se necesitan para garantizar que no haya accidentes de ningún tipo. Además las políticas de calidad exigen normas para cada labor en cualquier ámbito. Con estas normas, los estudiantes siempre trabajarán con exigencias y seguridades adecuadas. Otro aspecto importante acerca de utilizar estas normas es realizar los trabajos organizadamente y sabiendo que se va a tener problemas ni retrasos por un procedimiento poco eficiente. A continuación se detalla de las normas indicadas, las que más se utilizan en la construcción soldada en nuestro medio:

ASME Boiler and Pressure Vessel Code

- Section I, Power Boilers;

- Section II, Materials;
- Section III, Rules for Construction of Nuclear Power Plant Components;
- Section IV, Rules for Construction of Heating Boilers;
- Section V, Nondestructive Examination;
- Section VII, Recommended Guidelines for the Care of Power Boilers;
- Section IX, Welding and Brazing Qualifications;
- Section XI, Rules for In-Service Inspection of Nuclear Power Plant Components.

AWS – American Welding Society

- AWS D1.1, Structural Welding Code, Steel
- AWS D.1.5, Bridge Welding Code
- AWS A5.1 a A5.32, AWS Filler Metal Specifications

API – American Petroleum Institute

- API Std. 620, Design and Construction of Large, Welded, Low-Pressure Storage Tanks
- API Std. 650, Welded Tanks for Oil Storage
- API Std. 653, Tank Inspection, Repair, Alteration, and Reconstruction

- API Std. 1104, Welding of Pipelines and Related Facilities
- API 5L, Specification for Line Pipe

CAPITULO 2

2. METODOS DE SOLDADURA Y PROCESOS RELACIONADOS

2.1. Soldadura al Arco con Electrodo Revestido, SMAW

El sistema de Soldadura al Arco con Electrodo Revestido, se define como el proceso en que se unen dos metales mediante una fusión localizada, producida por un arco eléctrico entre un electrodo metálico y el metal base que se desea unir. La soldadura al arco se conoce desde fines del siglo pasado. En esa época se utilizaba una varilla metálica descubierta que servía de metal de aporte. Pero cuando las evoluciones a nivel científicos trajeron estudios acerca de porosidad y fragilidad en los metales, se lo añadió un revestimiento al núcleo de esta varilla que al quemarse se gasificaba, actuando como atmósfera protectora, a la vez que contribuía a mejorar notablemente otros aspectos del proceso.

El electrodo consiste en un núcleo o varilla metálica, rodeado por una capa de revestimiento, donde el núcleo es transferido hacia el metal base a través de una zona eléctrica generada por la corriente de

soldadura. El revestimiento del electrodo, que determina las características mecánicas y químicas de la unión, está constituido por un conjunto de componentes minerales y orgánicos que cumplen las siguientes funciones:

1. Producir gases protectores para evitar la contaminación atmosférica y gases ionizantes para dirigir y mantener el arco.
2. Producir escoria para proteger el metal ya depositado hasta su solidificación.
3. Suministrar materiales desoxidantes, elementos de aleación e hierro en polvo.

AWS (por sus siglas en inglés que significan Sociedad Americana de Soldadura) pudo encontrar un sistema de denominación para identificar los metales de aporte o electrodos, que se ha hecho muy común en Latino América por su fácil utilización. Sin embargo, en algunos casos los fabricantes denominan sus productos de la manera que ellos le parecen. A pesar de esto, el mercado se maneja en su gran mayoría por lo establecido por AWS.

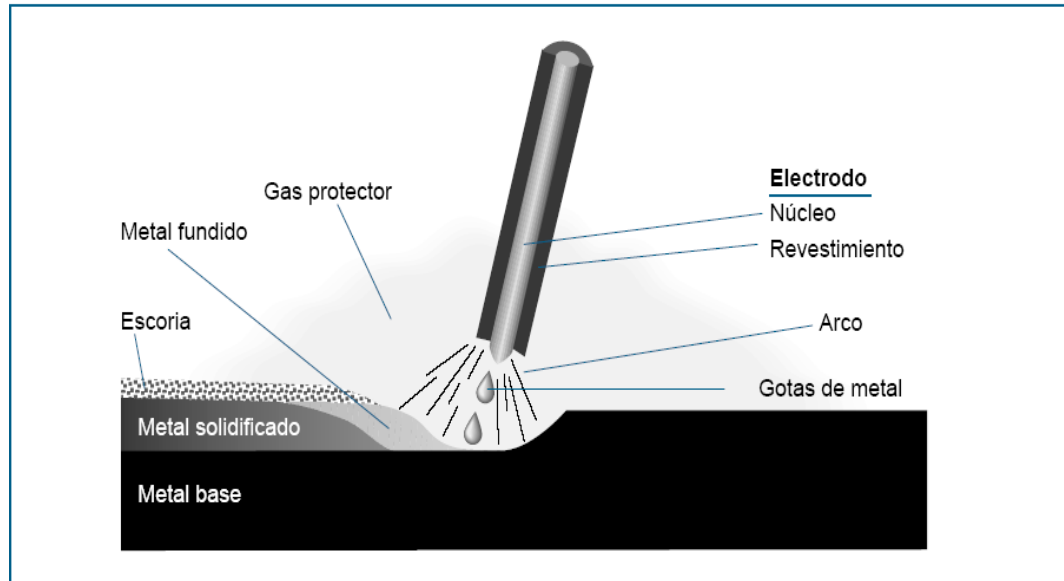


Figura Obtenida de Manual de Soldadura de Indura

Figura 2.1 Diagrama de el proceso SMAW

AWS tiene códigos con ciertas denominaciones que se diferencian entre sí por el tipo los tipos de aceros del electrodo. La referencia que más comúnmente se usa para Clasificar, son el AWS A5.1 para los electrodos de acero al carbono y el AWS A5.5 para los electrodos de aceros de baja aleación. A continuación se podrán observar dos tablas con un resumen de estos dos tipos de denominaciones.

TABLA 1
CLASIFICACION AWS PARA LOS METALES DE APORTE DE LA
ESPECIFICACION AWS A5.1

<u>E - X X X X</u>		
	(1) (2) (3) (4) (5)	
(1) Identificación por ser Electrodo		(4) Indica la posición recomendada
(2) y (3) Indica la resistencia mínima a la tensión del metal depositado. (KSI)		(5) Diversas características: tipo de fundente y tipo de corriente a utilizarse.

Para saber la clasificación de los dígitos (4) y (5) ir al Apéndice A.

TABLA 2
CLASIFICACION AWS PARA LOS METALES DE APORTE DE LA
ESPECIFICACION AWS A5.5

<u>E - X X X X X X</u>						
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)(7)
(1) Lo identifica como electrodo						(4) Diversas características: tipo de fundente o tipo de corriente a utilizarse.
(2) y (3) Indica la resistencia mínima a la tensión del metal depositado. (KSI)						(5) Indica la posición recomendada
						(6) y (7) Indica la composición química del metal depositado

2.2. Soldadura al Arco con Gas Protector, GMAW

En la soldadura GMAW (Gas Metal Arc Welding) o Soldadura MIG (Metal Inert Gas) un arco eléctrico es mantenido entre un alambre sólido, que funciona como electrodo continuo, y los metales a soldar. La manera en que se protege la soldadura es por medio de un gas inerte o activo. El proceso tiene un amplio rango de aplicación entre los metales a soldar así como una gran variedad de alambres.

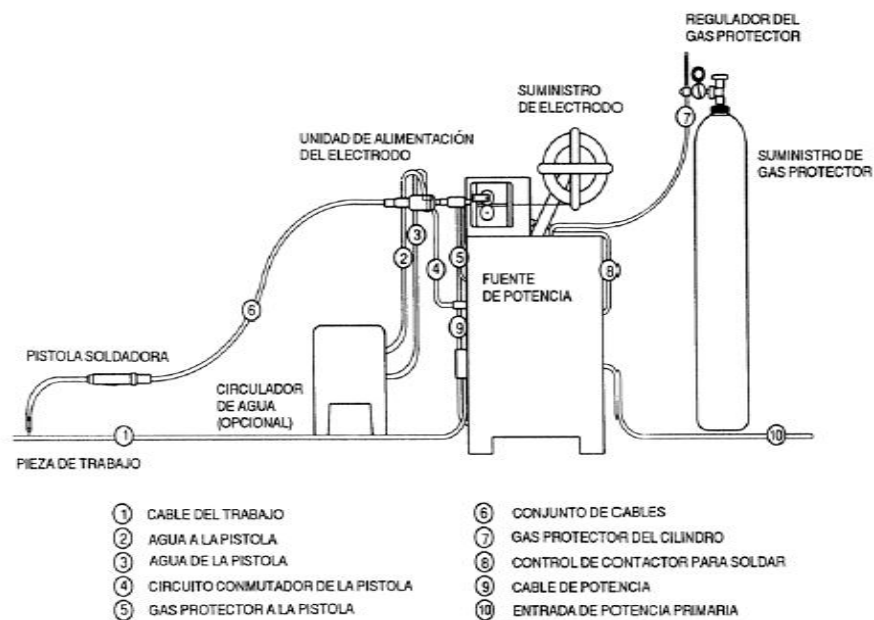
La diferencia con la soldadura SMAW radica es que este método utiliza un alambre continuo y la manera de proteger el cordón es mediante un gas externo. En el proceso SMAW la protección lo daba el revestimiento del electrodo.

Entre las ventajas de este método se encuentran los siguientes puntos:

1. Es un proceso eficiente que puede ser utilizado para soldar todos los metales comerciales.
2. Mejora la deficiencia de tener un electrodo pequeño como el que se utiliza en el SMAW.
3. La soldadura puede ser efectuada en todas las posiciones.

4. Las tasas de deposiciones son mayores, comparadas con la de SMAW.
5. Como el cable es largo, se puede depositar grandes cordones de soldadura.

El proceso MIG trabaja normalmente con corriente directa (DC) siendo el electrodo positivo. Cuando el electrodo es positivo y la pieza de trabaja es la negativa, se lo conoce como Polaridad Negativa. Cuando es lo contrario se lo conoce como Polaridad Positiva. Esta última es utilizada cuando los espesores son pequeños ya que la penetración que se obtiene no es mucha. En este proceso las corrientes varían entre 50 y 600 Amperios y entre 15 y 32 Voltios. La ventaja de utilizar los equipos de con voltaje alimentación de alambre constantes es un arco auto estabilizado.



Esquema Cortesía de AWS en Welding Handbook, Welding Processes Part I

Figura 2.2.1 Equipos que se utilizan en soldadura GMAW

El equipo necesario para GMAW se muestra en la figura 2.2.1. Los componentes básicos del equipo son la unidad de pistola soldadora y cables, la unidad de alimentación del electrodo, la fuente de potencia y la fuente de gas protector. La pistola guía el electrodo consumible, conduce la corriente eléctrica y el gas protector a la pieza, de modo que proporciona la energía para establecer y mantener el arco y fundir el electrodo, además de la protección necesaria contra la atmósfera del entorno.

El proceso básico MIG incluye tres técnicas muy distintas: Transferencia de "Arco Rociado (Spray Arc)", transferencia "Globular" y la transferencia por "Corto Circuito". Estas técnicas describen la manera en la cual el metal es transferido desde el alambre hasta la soldadura fundida.

Transferencia Spray

El metal es transportado a alta velocidad en partículas muy finas a través del arco. La fuerza electromagnética es bastante fuerte para expulsar las gotas desde la punta del electrodo en forma lineal con el eje del electrodo, sin importar la dirección a la cual el electrodo está apuntando. Se tiene transferencia Spray al soldar, con Argón, acero inoxidable y metales no ferrosos como el aluminio.

Transferencia Globular

El metal se transfiere en gotas de gran tamaño. La separación de las gotas ocurre cuando el peso de éstas excede la tensión superficial que tiende a sujetarlas en la punta del electrodo. La fuerza electromagnética que actuaría en una dirección para separar la gota, es pequeña en relación a la fuerza de gravedad en el rango de transferencia globular (sobre 250 Amp.) La transferencia globular se utiliza para soldar acero dulce en espesores mayores a 1/2" (12,7 mm.), en que se requiere gran penetración.

Transferencia por Corto Circuito

El metal no es transferido libremente a través del arco, sino que se deposita, cuando la punta del electrodo toca el metal base. Los cortos circuitos producidos por el contacto del electrodo con el baño fundido, ocurren con mucha regularidad, hasta 200 o más veces por segundo. El resultado final es un arco muy estable usando baja energía (inferior a 250 Amp.) y bajo calor. El bajo calor reduce a un mínimo la distorsión, deformación del metal y otros efectos metalúrgicos perjudiciales. Esta transferencia metálica se obtiene en presencia de CO₂ o Ar-CO₂.

De igual manera que en los electrodos de SMAW, los metales de aporte necesitaban algún tipo de denominación para poder comercializarlos de una manera ordenada y sencilla. Por eso la Sociedad Americana de Soldadura, AWS, creó dos códigos por separado, uno para las aleaciones de bajo contenido de Carbón o también conocido como acero dulce y uno para las aleaciones de alto contenido de Carbón o donde la composición química final de el material aportado fuera cambiada de forma dramática.

Tabla 3

**Clasificación AWS para los Metales de Aporte de la Especificación
AWS A5.18, “Electrodos de Acero al carbono para Soldadura de
Arco Protegida por Gas”**

<u>ER - XX S - X</u>			
(1)	(2)	(3)	(4)
(1) Las primeras dos letras lo identifican como alambre desnudo		(3) Sólido	
(2) Indica la resistencia mínima a la tensión del metal depositado. (KSI)		(4) Composición química del alambre	

Tabla 4

**Clasificación AWS para los metales de aporte de la especificación
AWS A5.28, “Electrodos de acero al carbono para soldadura de arco
protegida por gas”-**

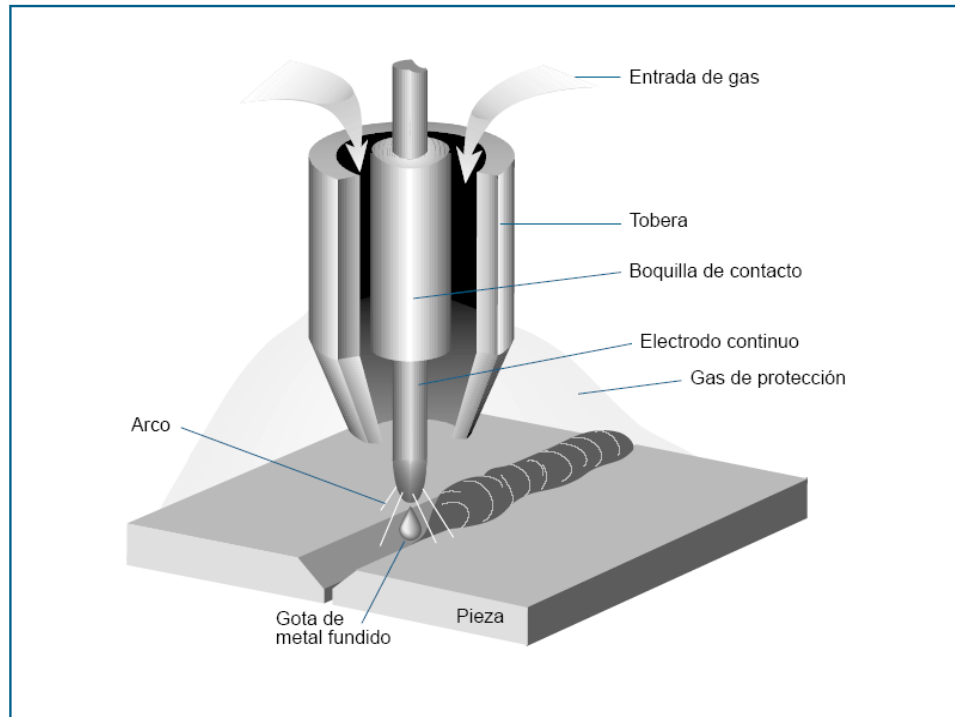
<u>ER - XXX S - XXX</u>			
(1)	(2)	(3)	(4)
(1) Las primeras dos letras lo identifican como alambre desnudo		(3) La letra intermedia indica su estado físico Sólido	
(2) Indica la resistencia mínima a la tensión del metal depositado. (KSI)		(4) Los últimos tres dígitos indican la composición química del alambre	

La soldadura MIG tiene una ventaja en cuanto a la eficiencia cuando se la compara con la Soldadura de Arco Manual, la cual se pierde tiempo cuando hay que cambiar el electrodo cuando ya está por terminarse. Además en SMAW, se desperdicia material ya que siempre queda un restante que usualmente es botado a la basura. El uso de alambre sólido y el alambre tubular ha incrementado la eficiencia entre 80-95 % a los procesos de soldadura.

Una de las ventajas del proceso MIG es que se pueden utilizar con diversos materiales, en los cuales se incluyen al acero, aluminio, acero inoxidable, cobre y algunos otros. Materiales por encima de 3 pulgadas de espesor pueden ser soldados en cualquier posición, incluyendo "de piso", vertical y sobre cabeza.

Como dato especial, por cada kilogramo de varilla de electrodo cubierto comprado, solamente al rededor del 65% es aprovechado como parte de la soldadura.

.



Esquema cortesía de Manual Soldadura de INDURA

Figura 2.2.2 Esquema de la boquilla en el proceso MIG

Uso de los diferentes Gases

En este tipo de soldadura se utilizan diferentes tipos de gases para diferentes aplicaciones, de lo cuales se pueden nombrar al Helio, Argón, Dióxido de Carbono, y Oxígeno. También es muy común utilizar combinaciones de estos gases dependiendo de algunos factores.

Los gases inertes que se utilizan son el Argón y el Helio. Estos gases inertes se aplican cuando se quiere soldar materiales como el aluminio,

aceros inoxidable y aleaciones de bajo carbono. Las diferencias físicas entre estos dos gases son su densidad, conductividad térmica y potencial de ionización. Al ser la densidad del Helio 0.14 veces la del aire y la del Argón 1.4 veces mayor, entonces se necesita un flujo de Helio grande comparado con el del Argón para cubrir el mismo cordón con los mismos parámetros. Si es que tratamos el tema de la conductividad térmica, la del Helio es mayor teniendo como consecuencia una distribución de energía de arco mucho mas uniforme. Esto tiene un efecto en la forma del cordón a formarse. Mientras se utilice Argón, el cordón va a tener una penetración profunda y estrecha, mientras que con el Helio la forma de la penetración va a ser mucho más de forma parabólica. El último punto a tratarse era del potencial de ionización. El Helio tiene un potencial de ionización mayor al del Argón y por eso produce un voltaje de arco mayor. La combinación de estos dos gases produce un mejor resultado en algunos aceros de bajo carbono y en aceros inoxidable que el uso de dióxido de carbono. Esto es debido a que el calor producido es mayor dando como resultado mejores características de fusión. Además el Dióxido de Carbono afecta en las propiedades mecánicas de una manera adversa.

Cuando se trata de metales ferrosos se recomienda el uso de ciertos porcentajes de oxígeno o de dióxido de carbono. Esto está alrededor de 1 a 5% para el oxígeno y 3 a 25% para el CO₂. Cuando se usan estas combinaciones con estos porcentajes se logra una buena estabilidad de arco y se evita la tendencia a las socavaduras. También se usan varios tipos de mezclas como las que se denominan tri-mix; Argón, Helio y Dióxido de Carbono y la quad: argón, helio, dióxido de carbono y oxígeno. Cada uno de estas mezclas tienen diferentes aplicaciones y consideraciones, una de las cuales que hay que tomar en cuenta es la economía de la soldadura.

2.3. Soldadura al Arco con Gas Protector y Electrodo de Tungsteno,

GTAW

La soldadura GTAW (Gas Tungsten Arc Welding) o Soldadura TIG (Tungsten Inert Gas) es también conocida como soldadura Heliarc, es un proceso en el que se usa un electrodo no consumible de tungsteno sólido. El electrodo, el arco y el área alrededor de la soldadura fundida son protegidas de la atmósfera por un escudo de gas inerte. Si algún metal de aporte es necesario es agregado a la soldadura desde el frente del borde de la soldadura que se va formando.

La Soldadura TIG fue desarrollada inicialmente con el propósito de soldar metales anticorrosivos y otros metales difíciles de soldar, no obstante al pasar del tiempo, su aplicación se ha expandido incluyendo tanto soldaduras como revestimientos endurecedores (hardfacing) en prácticamente todos los metales usados comercialmente.

En cualquier tipo de proceso de soldadura la mejor soldadura, que se puede obtener, es aquella donde la soldadura y el metal base comparten las mismas propiedades químicas, metalúrgicas y físicas. Para lograr esas condiciones la soldadura fundida debe estar protegida de la atmósfera durante la operación de la soldadura, de otra forma, el oxígeno y el nitrógeno de la atmósfera se combinarían, literalmente, con el metal fundido resultando en una soldadura débil y con porosidad. En la soldadura TIG la zona de soldadura es resguardada de la atmósfera por un gas inerte que es alimentado a través de la antorcha, Argón y Helio pueden ser usados con éxito en este proceso. El Argón es mayormente utilizado por su gran versatilidad en la aplicación exitosa de una gran variedad de metales, además de su alto rendimiento permitiendo soldaduras con un bajo flujo para ejecutar al proceso. El Helio genera un arco más caliente, permitiendo una elevación del voltaje en el arco del

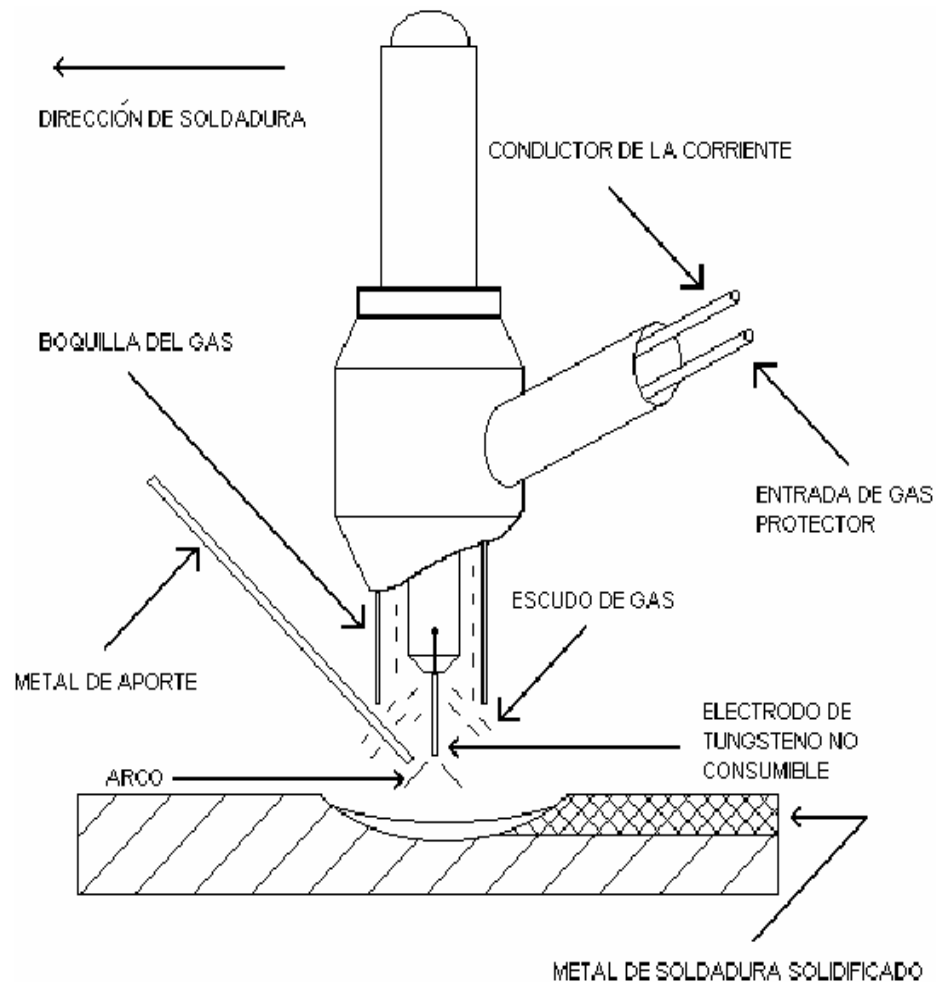
50-60%. Este calor extra es útil especialmente cuando la soldadura es aplicada en secciones muy pesadas. La mezcla de estos dos gases es posible y se usa para aprovechar los beneficios de ambos, pero la selección del gas o mezcla de gases dependerá de los materiales a soldar.

Dado que la atmósfera está aislada 100% del área de soldadura y un control muy fino y preciso de la aplicación de calor, las soldaduras TIG, son más fuertes, más dúctiles y más resistentes a la corrosión que las soldaduras hechas con el proceso ordinario de arco manual (electrodo cubierto). Además del hecho de que no se necesita ningún fundente, hace este tipo de soldaduras aplicable a una amplia gama de diferentes procedimientos de unión de metales.

La fuente de poder para TIG puede ser AC o DC, sin embargo, algunas características sobresalientes obtenidas con cada tipo, hacen a cada tipo de corriente mejor adaptable para ciertas aplicaciones específicas.

En el apéndice A se podrán encontrar varias tablas muy útiles acerca del tipo de gases a utilizarse, además del tipo de corriente que se recomienda escoger para diferentes circunstancias. El escudo de gas que expulsa la antorcha es muy importante para asegurar soldaduras de

calidad. La forma de todas las partes internas y externas de la boquilla han sido creadas para lograr las características apropiadas del flujo de gas.



Esquema Cortesía de Ciro Bazán

Figura 2.3.1 Esquema de soldadura con electrodo de tungsteno y gas (GTAW)

Las siguientes son unas referencias utiles al momento de efectuar los ajustes iniciales de los sistemas aplicados.

Tabla 5

Guía para determinar el tipo de corriente a usarse en GTAW

Diámetro del electrodo en Pulgadas	AC*		DCSP	DCRP
	Usando Tungsteno Puro (Amp.)	Usando Tungsteno Thoriado o Electroodos "Rare Earth" ** (Amp.)	Usando Tungsteno Puro, Thoriado, o "Rare Earth" (Amp.)	
1/16"	50 – 100	70 – 150	70 – 150	10 – 20
3/32"	100 – 160	140 – 235	150 – 250	15 – 30
1/8"	150 – 210	225 – 325	250 – 400	25 – 40
5/32"	200 – 275	300 – 425	400 – 500	40 – 55
3/16"	250 – 350	400 – 525	50 – 800	55 – 80
1/4"	325 – 475	500 – 700	800 – 1000	80 – 125

* Los valores maximos mostrados han sido determinados usando un transformador de onda desbalanceada, si un transformador de onda balanceada es usado, reduzca estos valores 30% o use el proximo diametro de electrodo mas grueso. Esto es necesario dado el alto calor que aplica al electrodo una onda balanceada.

**Los electrodos con la punta redondeada son los que mejor sostienen estos niveles de corriente.

DCSP= Corriente Directa Polaridad Directa
DCRP= Corriente Directa Polaridad Inversa

Tabla 6

Guía para determinar el tipo de corriente aplicada en GTAW

Material	Corriente Alternada*	Corriente Directa	
	Con estabilización de alta frecuencia	Con Polaridad Negativa (DCSP)	Con Polaridad Positiva (DCRP)
Magnesio hasta 1/8" de espesor	1	NR	2
Magnesio sobre 3/16" de espesor	1	NR	NR
Magnesio Colado	1	NR	2
Aluminio hasta 3/32" de espesor	1	NR	2
Aluminio sobre 3/32" de espesor	1	NR	NR
Aluminio Colado	1	NR	NR
Acero Inoxidable	2	1	NR
Aleaciones de Latón Bronze	2	1	NR
Plata	2	1	NR
Revestimientos de Plata	1	NR	NR
Endurecimientos	1	1	NR
Hierro Colado	2	1	NR
Acero bajo Carbono, 0.015 a 0.030 in	2**	1	NR
Acero bajo Carbono, 0.030 a 0.125 in.	NR	1	NR
Acero alto Carbono, 0.015 a 0.030 in.	2	1	NR

Acero alto Carbono, 0.030 in. o mas	2	1	NR
Cobre desoxidado***	NR	1	NR
Titanio	NR	1	NR
<p>1. Excelente Operación</p> <p>2. Buena Operación</p> <p>NR No recomendado</p> <p>* Donde AC es recomendado como segunda opción, use cerca de 25% corriente mas alta de lo recomendado para polaridad negativa</p> <p>** No use corriente AC cuando las piezas tengan texturas muy complejas</p> <p>*** Use Fundente de Silicón Bronce para 1/4 pulgadas o más grueso</p>			

Tabla 7
Selección del Gas según el proceso y metal a ser aplicado

Metal	Tipo de Soldadura	Gas o Mezcla de Gases	Rasgos sobresalientes / Ventajas
Acero Dulce	Punteada	Argón	Larga duración del electrodo, mejor contorno del cordón, más fácil de establecer el arco inicial
	Manual	Argón	Mejor control del cordón especialmente en soldaduras en posiciones especiales
	Mecanizada	Argon-Helio	Alta velocidad, menos flujo de gas que con Helio
		Helio	Más velocidad que la obtenida con Argón
Aluminio y Magnesio	Manual	Argón	Mejor arranque del arco, mejor acción de limpieza y calidad de soldadura, menos consumo de gas
		Argón-Helio	Más alta velocidad de soldadura, mayor penetración que con Argón
	Mecanizada	Argón-Helio	Buena calidad de soldadura, más bajo flujo de gas requerido que con Helio sólo
		Helio DCSP	Más profunda penetración y mayor velocidad de soldadura, puede proveer acción de limpieza para las soldaduras en aluminio y magnesio
Acero Inoxidable	Punteada	Argón	Excelente control de la penetración en materiales de bajo calibre
		Argón-Helio	Más alta entrada de calor para materiales de mayor calibre
	Manual	Argón	Excelente control de el cordón, penetración controlada
	Mecanizada	Argón	Excelente control de penetración en materiales de bajo calibre
		Argón-Helio	Más alta entrada de calor, más velocidad de soldadura es posible
		Argón-Hidrogeno (Hasta 35% H ₂)	Minimiza el corte en los bordes del cordón, produce soldaduras de contornos deseables a bajo nivel de corriente, requiere bajo flujo de gas
Cobre, Nickel y Aleaciones Cu-Ni	Manual solamente	Argón	Excelente control del cordón, penetración en materiales de bajo calibre
		Argón-Helio	Alta entrada de calor para compensar la alta disipación térmica de los materiales más pesados
		Helio	Más alta temperatura para sostener más altas velocidades de soldadura en secciones de materiales mas pesados

2.4. Soldadura al arco con Electrodo de Núcleo de Fundente

La soldadura por arco con núcleo de fundente (flux cored arc welding, FCAW) es un proceso de soldadura por arco que aprovecha un arco entre un electrodo continuo de metal de aporte y el charco de soldadura. Este proceso se emplea con protección de un fundente contenido dentro del electrodo tubular, con o sin un escudo adicional de gas de procedencia externa, y sin aplicación de presión. El electrodo con núcleo de fundente es un electrodo tubular de metal de aporte compuesto que consiste en una funda metálica y un núcleo con diversos materiales pulverizados. Durante la soldadura, se produce un manto de escoria abundante sobre la superficie de la franja de soldadura.

El aspecto que distingue al proceso FCAW de otros procesos de soldadura por arco es la inclusión de ingredientes fundentes dentro de un electrodo de alimentación continua. Las notables características de operación del proceso y las propiedades de la soldadura resultante se pueden atribuir al empleo de este tipo de electrodo.

El proceso FCAW tiene dos variaciones principales que difieren en su método de protección del arco y del charco de soldadura contra la

contaminación por gases atmosféricos (oxígeno y nitrógeno). Una de ellas, la FCAW con autoprotección, protege el metal fundido mediante la descomposición y vaporización del núcleo de fundente en el calor del arco. El otro tipo, la FCAW con escudo de gas, utiliza un flujo de gas protector además de la acción del núcleo de fundente. En ambos métodos, el material del núcleo del electrodo proporciona una cubierta de escoria sustancial que protege el metal de soldadura durante su solidificación.

Normalmente, la soldadura por arco con núcleo de fundente es un proceso semiautomático, aunque también se emplea para soldadura automática y mecanizada.

Ciertas investigaciones realizadas sobre soldaduras manuales hechas con electrodo recubierto incluyeron un análisis del gas que se producía al desintegrarse la cobertura de los electrodos. Los resultados de dichos análisis indicaron que el gas predominante en las emisiones de la cobertura era CO₂. Este descubrimiento pronto condujo al empleo de CO₂ como protección en el proceso de arco de metal y gas aplicado a aceros al carbono. Aunque los primeros experimentos con CO₂ como gas

protector fracasaron, finalmente se desarrollaron técnicas que permitían su uso. La GMAW con escudo de dióxido de carbono apareció en el mercado a mediados de la década de 1950.

Aproximadamente en la misma época se combinó el escudo de CO₂ con un electrodo tubular relleno de fundente que resolvía muchos de los problemas que se habían presentado anteriormente. Las características de operación se mejoraron mediante la adición de los materiales del núcleo, y se elevó la calidad de las soldaduras al eliminarse la contaminación por la atmósfera.

El proceso se está mejorando continuamente. Las fuentes de potencia y los alimentadores de alambre se han simplificado mucho y son más confiables que sus predecesores. Las nuevas pistolas son ligeras y resistentes. Los electrodos se mejoran día con día. Entre los avances más recientes están los electrodos de aleación y de diámetro pequeño [hasta 0.9 mm. (0.035 pulg.)].

Características principales

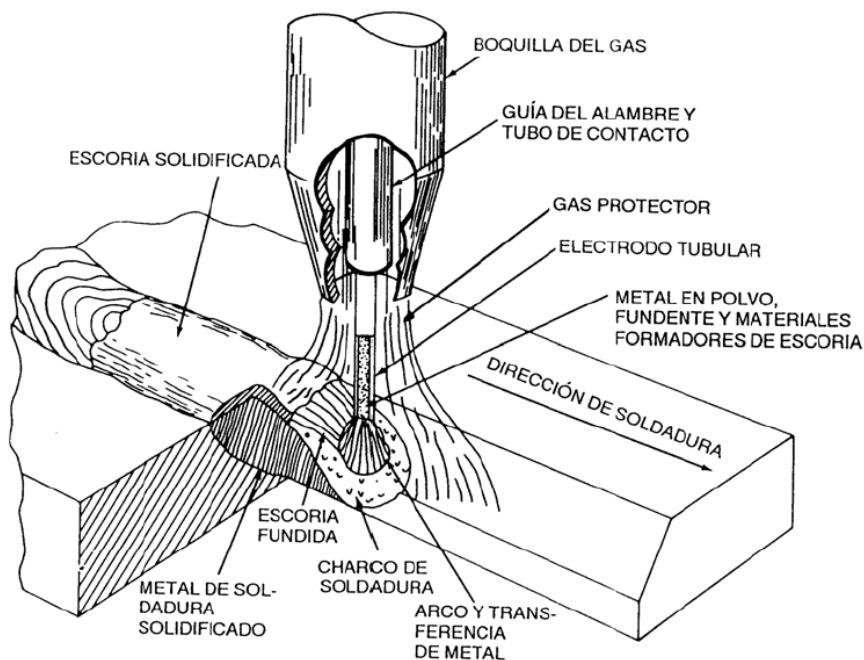
Los beneficios de FCAW se obtienen al combinarse tres características generales:

- 1.- La productividad de la soldadura de alambre continuo.

2.-Las cualidades metalúrgicas que pueden derivarse de un fundente.

3.- Una escoria que sustenta y moldea la franja de soldadura.

El proceso FCAW combina características de la soldadura por arco de metal protegido (SMAW), la soldadura por arco de metal y gas (GMAW) y la soldadura por arco sumergido (SAW).



Esquema cortesía de Ciro Bazán

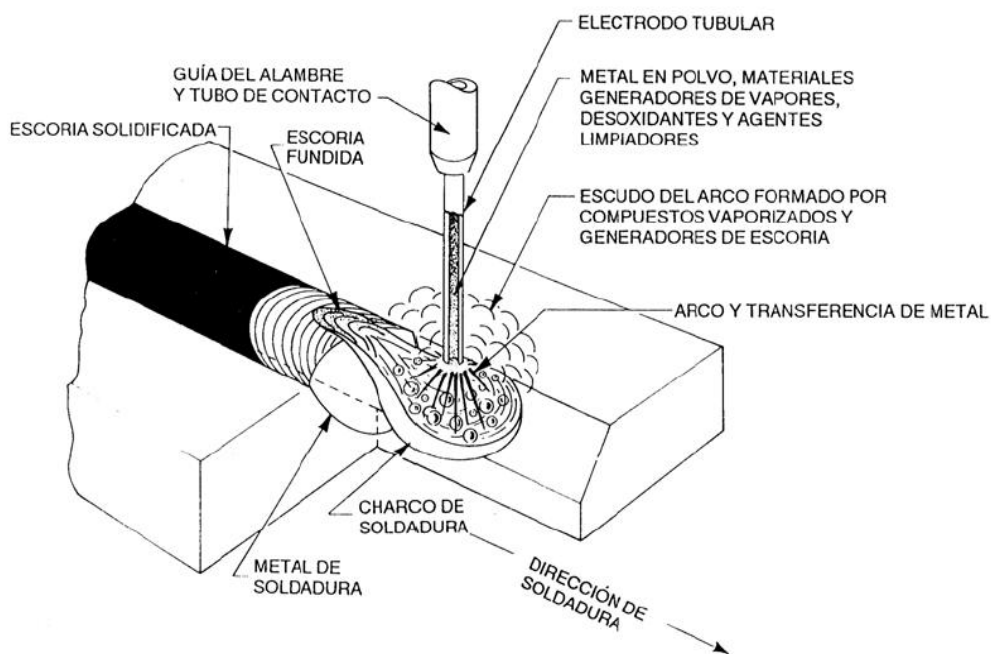
**Figura 2.4.1 Soldadura por arco con núcleo de fundente protegida
con gas**

En el método con escudo de gas el gas protector (por lo regular dióxido de carbono o una mezcla de carbón y dióxido de carbono) protege el metal fundido del oxígeno y el nitrógeno del aire al formar una envoltura alrededor del arco y sobre el charco de soldadura. Casi nunca es necesario desnitrificar el metal de soldadura porque el nitrógeno del aire queda prácticamente excluido. Es posible, empero, que se genere cierta cantidad de oxígeno por la disociación de CO_2 para formar monóxido de carbono y oxígeno. Las composiciones de los electrodos incluyen desoxidantes que se combinan con cantidades pequeñas de oxígeno en el escudo de gas.

En el método con autoprotección, la protección se obtiene a partir de ingredientes vaporizados del fundente que desplazan el aire y por la escoria que cubre las gotas de metal derretido y el charco de soldadura durante la operación. La producción de CO_2 y la introducción de agentes desoxidantes y desnitrurantes que proceden de ingredientes del fundente justo en la superficie del charco de soldadura explican porqué los electrodos con autoprotección pueden tolerar corrientes de aire más fuertes que los electrodos con escudo de gas. Es por esto que la FCAW con autoprotección es el método preferido para trabajo en el campo. Una característica de ciertos electrodos con autoprotección es el empleo de

extensiones de electrodo largas. La extensión del electrodo es el tramo del electrodo no fundido que se extiende más allá del extremo del tubo de contacto durante la soldadura. En general se usan extensiones de 19 a 95 mm. (0.5 a 3.75 pulg.) con los electrodos autoprotegidos, dependiendo de la aplicación. Al incrementarse la extensión del electrodo aumenta el calentamiento por resistencia del electrodo. Esto precalienta el electrodo y reduce la caída de voltaje a través del arco. Al mismo tiempo, la corriente de soldadura baja, con la consecuente reducción en el calor disponible para fundir el metal base. La franja de soldadura que resulta es angosta y poco profunda, lo que hace al proceso ideal para soldar materiales de calibre delgado y para salvar huecos causados por un embonamiento deficiente. Si se mantiene la longitud (voltaje) del arco y la corriente de soldadura (subiendo el voltaje en la fuente de potencia e incrementando la velocidad de alimentación del electrodo), el aumento en la extensión del electrodo elevará la tasa de deposición. Con ciertos tipos de electrodos con núcleo de fundente y autoprotección, la polaridad recomendable es polaridad directa, ya que produce menor penetración en el metal base. Esto hace posible usar con éxito electrodos de diámetro pequeño [de 0.8 mm. (0.030 pulg.), 0.9 mm. (0.035 pulg.) y 1.2 mm. (0.045 pulg.)] para soldar materiales de calibre delgado. Se han

desarrollado electrodos autoprotectidos específicamente para soldar los aceros recubiertos de cinc y aluminizados que se usan comúnmente en la actualidad para fabricar automóviles.



Esquema Cortesía de Ciro Bazán

**Figura 2.4.2 Soldadura por arco con núcleo de fundente
y autoprotección**

En contraste, el método con escudo de gas es apropiado para la producción de soldaduras angostas y penetrantes. Se usan extensiones

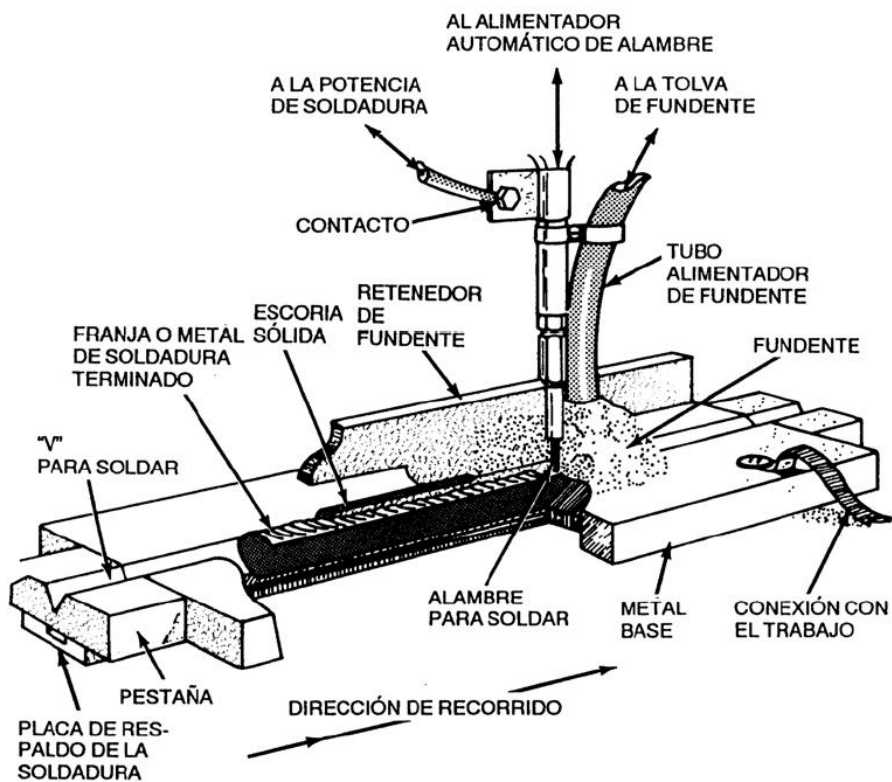
de electrodo cortas y corrientes de soldadura elevadas con alambres de todos los diámetros. Las soldaduras de filete hechas por FCAW son más angostas y de garganta más profunda que las producidas con SMAW. El principio de extensión del electrodo no puede aplicarse al método con escudo de gas porque una extensión grande afecta adversamente la protección.

2.5. Soldadura por Arco Sumergido, SAW

En el proceso de Arco Sumergido "SAW", el arco es iniciado entre el material base a ser soldado y la punta de un electrodo consumible, los cuales son cubiertos por una capa de un fundente granulado. El arco es, por consiguiente, escondido en esta capa densa de fundente granulado el cual parte se funde para formar una cubierta protectora sobre el cordón de soldadura fundido, en donde sus remanentes pueden ser recuperados para ser usado nuevamente.

El proceso de arco sumergido es, principalmente llevado a cabo con equipo totalmente automático, aunque hay algunas pistolas de mano para el proceso. Para incrementar la productividad un arreglo con varios electrodos o multi-alambre puede ser implementado. Por su alto poder

de deposición de metal de aporte, es particularmente conveniente para las soldaduras rectas de gran longitud con excelente calidad en posición de piso, siendo muy usado en la fabricación de grandes tanques, plantas químicas, pesadas estructuras y en la industria de la fabricación y reparación de barcos.



Esquema Cortesía de Manual Soldadura de Indura

Figura 2.5.1 Esquema del proceso por arco sumergido

Cuando la soldadura comienza, un arco es creado entre el electrodo y la pieza de trabajo, en ese momento el fundente que es o derramado sobre la soldadura, o puede ser previamente servido, se derrite produciendo una costra protectora, el material fundente restante es recuperado, y reciclado para ser usado nuevamente en un proceso futuro o en el mismo proceso, dependiendo del tipo de fundente que se este usando o de los materiales envueltos en el proceso.

La soldadura es formada de manera uniforme, con una alta deposición en donde se usan alambres de hasta 3/16 de diámetro y altas corrientes que son suministradas por una fuente de poder de voltaje constante de alta capacidad que puede ser AC o DC, según el proceso, y que una vez arreglado y establecido puede ejecutar soldaduras de alta calidad con altísima producción.

A continuación se podrá observar una tabla que puede guiar a las personas para poder utilizar parámetros que están dentro de marcos de seguridad así como de mayor eficiencia.

Tabla 8
Parámetros Recomendados para Alambres de Soldadura de Arco Sumergido

Diámetro de Alambre Pulgadas (mm.)	Rango de Corriente en Amperios	Rango de Tensión en Voltios
1/16" (1,6)	150-500	22-30
5/64" (2,0)	175-600	24-32
3/32" (2,4)	250-700	26-34
5/32" (4,0)	400-1000	28-38

Entre las ventajas de este método, se incluyen:

- Alta productividad
- Bajo costo en la etapa de preparación.
- El hecho de que se puede ejecutar en un solo pase, hasta en materiales de gran diámetro.
- Es muy confiable si los parámetros de operación son los correctos.
- Muy poca tensión transversal.
- Muy bajo riesgo de grietas por Hidrógeno.

Entre las desventajas encontramos que:

- El lado malo del proceso es que los equipos son muy costosos.
- La instalación que se puede convertir en algo compleja, en donde grandes estructuras metálicas son fabricadas para poder instalar las cabezas de soldadura que tendrán que moverse transversal,

horizontal, vertical, orbital, y a veces hasta diagonalmente. Aunque también hay casos en que el proceso solo se puede ejecutar si el movimiento de traslación esta en la pieza a ser soldada.

El fundente

Entre las principales funciones del fundente para la soldadura de arco sumergido podríamos enumerar las siguientes:

- Protege la soldadura fundida de la interacción con la atmósfera.
- Limpia y desoxida la soldadura fundida.
- Ayuda a controlar las propiedades químicas y mecánicas del metal de aporte en la soldadura.

2.6. Corte con Oxígeno-Acetileno

Uno de los factores indispensables para que todo un proceso de soldadura sea óptimo es que el corte de metales usando oxígeno-acetileno sea lo más eficiente posible. En esta parte se estudiará el corte de metales y las diferentes características.

En el proceso de soldadura y corte con Gas, el principio es simple, una intensa flama es producida por la combustión controlada de una mezcla de Oxígeno y un gas combustible (Acetileno). Los gases son obtenidos de fuentes o tanques separados y pasados a través de reguladores y luego a través de una antorcha en donde se mezclan, para salir por la cabeza de soldadura o boquilla donde ocurre la ignición.

En operaciones de corte, la flama es concentrada para precalentar y mantener el metal en su temperatura de ignición, mientras que un chorro de oxígeno es dirigido al área precalentada. Este chorro de oxígeno rápidamente oxida el metal en un camino angosto y la escoria es expulsada para formar una ranura.

Existen dos tipos de corte con oxígeno-acetileno o también denominado oxicorte:

- Oxicorte manual
-
- Oxicorte a máquina

Oxicorte manual:

Se usan sopletes de aspiración, equipados con boquilla de presión. Para cortar chapas delgadas se usan “boquillas escalonadas”. Para grosores mayores se usan boquillas anulares, ranuradas o de bloque. Se pueden recomendar también sopletes de oxicorte manual sin boquilla de presión –con boquillas de corte que mezclan gases. Estas herramientas ofrecen gran seguridad con respecto a al retroceso de la llama. La presión del oxígeno para el corte suele ser de un orden de 6 bar como mínimo. La presión de trabajo correcta se puede consultar en la tabla de corte que viene troquelada en la boquilla. El diseño de la boquilla y la presión del oxígeno de corte se relacionan entre sí. Por lo tanto, solo tiene sentido establecer una presión mayor que la indicada en la tabla cuando se produce una pérdida de presión, como por ejemplo, en mangueras muy largas.

Oxicorte a máquina:

También existen sopletes de aspiración para máquinas de oxicorte, que tienen una boquilla de presión con tubo de mezcla, donde se mezclan el oxígeno y el acetileno y son llevados hasta la boquilla de corte; o bien

sopletes para boquillas mezcladoras de gases. Las boquillas de corte se dividen en:

- Boquillas tipo estándar: Hasta una presión de 6 bar aprox.
- Boquilla de corte rápido: Hasta una presión de oxígeno de corte de 8 bar aprox.
- Boquilla de gran potencia: Hasta una presión de oxígeno de corte de 11 bar aprox.

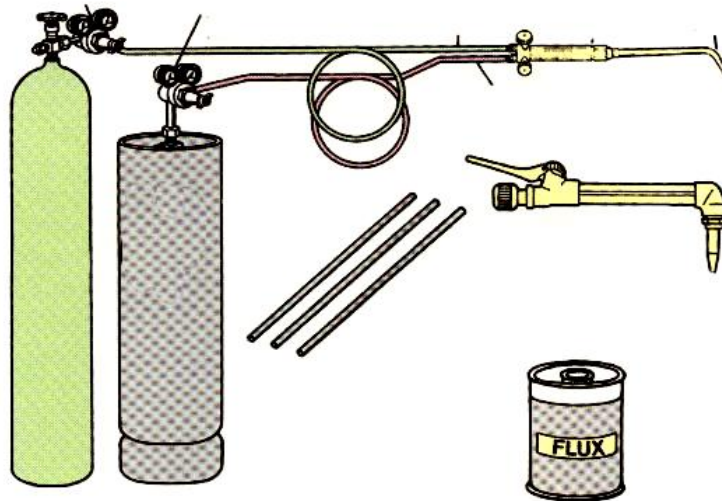


Figura Cortesía de Dr. Weld

Figura 2.6.1 Equipos básicos para corte con oxígeno y acetileno

2.7. Corte con Plasma

Para entender perfectamente este proceso de corte se explicará brevemente el significado de la palabra plasma. Plasma es un estado de la materia, así como lo es el estado líquido, sólido o gaseoso. Se lo considera el cuarto estado de la materia. Plasma es un estado que se lo podría explicar como un estado gaseoso pero ionizado. Esto se debe a que cuando se calienta un gas a partir ya de 7000 °C, los electrones del último nivel se comienzan a desprender debido al gran movimiento que está siendo ocasionado por la elevación de la temperatura. Al desprenderse estos electrones, las moléculas adquieren carga positiva ya que lo único que se queda es el núcleo. Al ser el núcleo positivo se considera que el gas es ionizado o está en estado de plasma. Ahora, si se hace pasar una gran corriente por este plasma, que es igual conductor que los metales, se llegan a temperaturas de alrededor de 20000 °C (casi 4 veces la temperatura de la superficie del Sol) ocasionando la fusión de los núcleos y debido a esto se produce gran liberación de energía.

Desde su descubrimiento a mediados de los años cincuentas hasta la actualidad el procedimiento se lo ha considerado conveniente para el sector comercial. Esto es debido a su amplia gama de aplicabilidad ya que se puede utilizar, a diferencia del corte oxiacetilénico, con materiales no ferrosos. En sus inicios se lo utilizaba únicamente para materiales como aceros inoxidable y aluminio.

Principios de Funcionamiento del Corte con Plasma

Plasma existe todos en todos los arcos eléctricos, pero el término arco de Plasma, se lo relaciona con las boquillas que tienen un inyector especial que confina el arco. Este confinamiento es debido a un orificio pequeño que se encuentra en la boquilla. Entonces lo primero que se tiene que hacer es crear un arco. Luego se hace pasar un gas por este arco. Como se lo explicó anteriormente, se elevará la temperatura del gas y a su vez se expandirá y acelerará debido a la disminución del área. Como se va a encontrar el metal fundido, el gas que se está acelerando corta la pieza de trabajo. A continuación se observará un corte de una boquilla para corte con plasma.

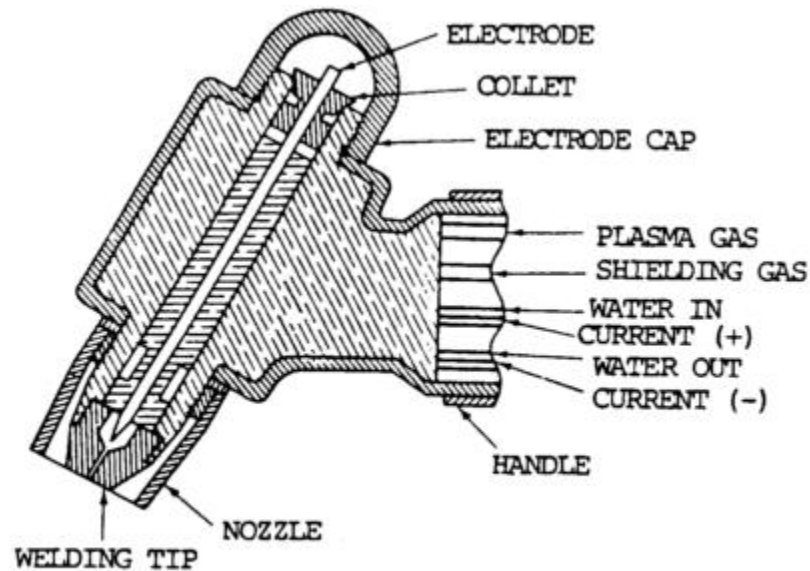


Figura 2.7.1 Corte de una boquilla para corte con plasma

Ventajas del corte con Plasma:

1. Se puede utilizar en una gran variedad de metales ferrosos y no ferrosos.
2. Se pueden hacer biselados, perforaciones, y cortes de diversas formas.
3. A diferencia de corte oxiacetilénico, el corte con plasma trabaja a un nivel energético mucho mayor, haciendo que la velocidad de corte disminuya. Esto a la final se va a transmitir en ahorro de dinero.

4. No se necesita pre-calentamiento de la pieza de trabajo.
5. Los cortes son de alta calidad comparados con los de corte oxiacetilénico.
6. La Zona afectada por el calor es pequeña, dando como efectos favorables en la resistencia de la pieza de trabajo y en la resistencia a la corrosión.

Limitaciones:

1. Se tiene cierto peligro como de fuego, descarga eléctrica, alta luminosidad, ciertos vapores o gases y niveles de ruido un poco elevados.
2. Los equipos son más costosos que los que se usan con corte oxiacetilénico.
3. Se requiere una alta corriente eléctrica.

CAPITULO 3

3. PRACTICAS DE LABORATORIO CONSIDERADAS BAJO NORMAS ASME, AWS y API

3.1. SMAW

3.1.1. Diseño de Uniones

FIMCP
LABORATORIO DE SOLDADURA
GUIA DE PRACTICA No. 1

TITULO

Diseño de Uniones de Soldadura usando el proceso de SMAW

OBJETIVO

1. Conocer las precauciones que hay que tener a realizar cualquier tipo de soldadura
2. Conocer los equipos básicos de la soldadura SMAW.
3. Realizar cordones en una pieza de trabajo.
4. Realizar la unión de dos piezas.

BREVE INTRODUCCIÓN TEORICA

La introducción teórica se la hizo en la Sección 2.1 “Soldadura Arco con Electrodo Revestido, SMAW”.

Las seguridades que se tienen que tener en esta práctica se resumen en el apéndice A en la práctica No. 1

PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

- **Llenar un procedimiento de soldadura según API 1104**
 1. Tomar todas las medidas de seguridad descritas en la primera parte.
 2. Preparar dos piezas para poder soldarlas como se lo describe en la norma que está a continuación.
 3. Realizar el cordón para la unión de las dos piezas.
 4. Llenar un Procedimiento de Soldadura de acuerdo a la norma internacional API 1104. Este procedimiento se encuentra en la API 1104 “WELDING OF PIPELINES AND RELATED FACILITIES” edición de Septiembre de 1999, página 4.

5. Se puede preparar este procedimiento con la figura que se muestra en la hoja de procedimiento que se anexa a continuación. El estudiante sólo llenará la hoja ya que la pieza debe de estar previamente preparada.

Figura 3.1.1.1 Procedimiento de Soldadura según API

1104

EQUIPOS UTILIZADOS



Figura 3.1.1.2 Máquina para soldar SMAW

Dimensiones:

Alto:	Ancho:
59 cm	59 cm
Largo:	Peso Total:
59 cm	93 kg

Especificaciones Técnicas:

Voltajes de Alimentación :220 Volts / 60 Hz/ 2 Fases

Rango de Salida :	40 / 270 (C.A.)
(amperes)	35 / 200 (C.D.)

GRAFICOS Y/O TABLAS

- Realizar esquemas acerca de todos lo equipos que se utilizan.

ANALISIS DE RESULTADOS

- Describir posibles causas que soldadura quedó con poros.

CONCLUSIONES

3.1.2. Posiciones de Soldadura

FIMCP
LABORATORIO DE SOLDADURA
GUIA DE PRACTICA No. 2

TITULO

Posiciones de Soldadura según normas aplicables

OBJETIVO

- Conocer las diferentes posiciones de Soldadura recomendada por AWS.
- Realizar cordones en posiciones verticales, horizontes, y sobre cabeza en planchas de Acero ASTM A36 de 6 mm. de grosor.

BREVE INTRODUCCIÓN TEORICA

En el siguiente cuadro se pueden observar las diferentes posiciones de soldadura que existen.

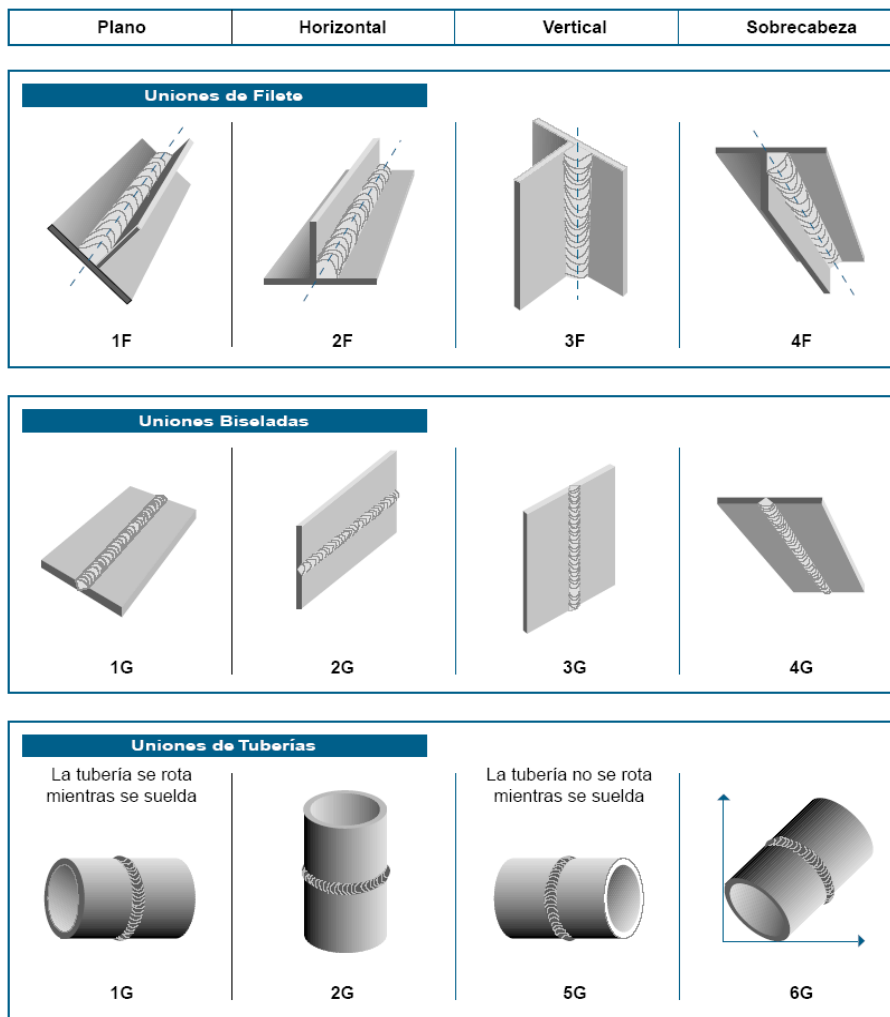


Figura 3.1.2.1 Posiciones de Soldadura

PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

- Indicar todos los pasos a seguir para realizar una unión en filete.
1. Observar que se tiene todas las seguridades descritas en la introducción de esta práctica.

2. Limpiar las piezas a soldar con un cepillo de hierro.
3. Poner en posición las dos piezas como lo dice la norma ASME Capítulo IX “QUALIFICATION STANDARD FOR WELDING PROCEDURES, WELDERS, BRAZERS, AND WELDING AND BRAZING OPERATORS”, Edición 2003, página 148. Figura (b) “2F”.
4. Realizar 3 cordones en tres posiciones como lo indica la norma en la página 148. Estos cordones tienen que estar dentro de los rangos establecidos en la norma en la página 147 en la figura QW-461.2 “POSITIONS OF WELDS – FILLET WELDS”. A continuación se anexan estas páginas de la norma.

Figura 3.1.2.2 Norma ASME (QW-461.2) indicando posiciones de soldadura

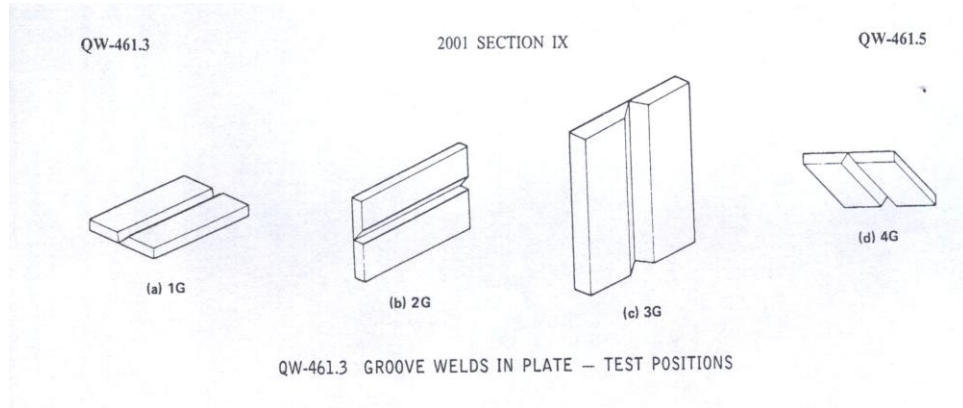


Figura 3.1.2.3 Posiciones de Soldadura según ASME

EQUIPOS UTILIZADOS



Figura 3.1.2.4 Máquina para soldar SMAW

GRAFICOS Y/O TABLAS

- Realizar esquemas acerca de todos lo equipos que se utilizan.

ANALISIS DE RESULTADOS

- Describir lo experimentado en todas las uniones soldadas.

CONCLUSIONES

- Resumir la práctica y concluir.

3.2. GMAW

3.2.1. Efecto de Gases Mezclas (Ar, CO₂, Mezcla 80% Ar – 20% CO₂)

sobre las características de la unión soldada

FIMCP
LABORATORIO DE SOLDADURA
GUIA DE PRACTICA No. 3

TITULO

Efecto de Gases y Mezclas (Ar, CO₂, Mezcla 80% Ar – 20% CO₂,
sobre las características de la unión soldada

OBJETIVO

Análisis microscópico de las 3 cordones utilizando soldadura MIG y tres diferentes tipos de gases: Ar, CO₂ y mezcla 80% Ar – 20% CO₂.

BREVE INTRODUCCIÓN TEORICA

Esta parte se puede tomar como referencia a la sección 2.2 de esta tesis como objetivo de no ser repetitivo.

PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

- Indicar todos los pasos a seguir para esta práctica
 1. Se utiliza una plancha de Acero al carbono A36 de 6 mm. de espesor.

2. Se procede a depositar 3 cordones de soldadura GMAW con tres tipos diferentes de protección de gas. Los gases utilizados son los siguientes: Argón, Mezcla de Argón 80% y CO₂ 20%, y por último sólo CO₂.
3. Se procede a analizar todos los cortes transversales de las cordones de soldadura.
4. Se preparan todos los cortes para hacer un ataque macroscópico y poder analizar el ancho de la ZAC, el ancho del cordón, la penetración y la dilución en cada cordón.
5. Para el cordón que utiliza Argón como gas protector se utiliza una plancha de Acero inoxidable 304 de 7mm.
6. El ácido que sirve para revelar la ZAC en acero inoxidable es un mezcla de ácidos que es constituido por los siguientes ácidos: ácido acético, ácido clórico, ácido nítrico y glicerina.
7. A todas las probetas se las preparó metalográficamente primero con el esmeril.
8. Luego se pasaron lijas 100, 150, 220, 320, 400 y 600.

9. Al final se la pulió y se la secó con alcohol para poder tomarle la foto.

A continuación se mostrarán las fotos de cada probeta:



Figura 3.2.1.1 Corte transversal de cordón con CO₂ como gas protector

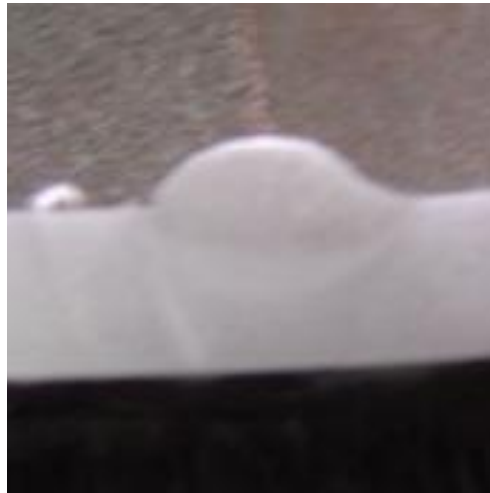


Figura 3.2.1.2 Corte transversal de cordón con mezcla de CO₂ (20%) y Argón (80 %) como gas protector

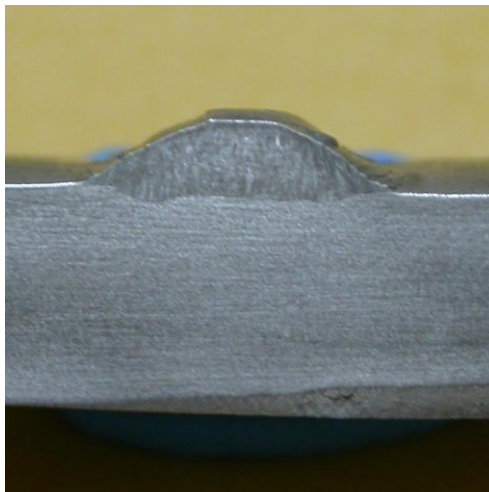


Figura 3.2.1.3 Corte transversal de cordón con Argón como gas protector

COMPLETAR LA SIGUIENTE TABLA

Siguiendo con el procedimiento, se tiene que llenar la siguiente tabla

Cordón	Gas usado	Flujo L/min	Voltaje (V)	Amperaje (Amps)	Diámetro Electrodo (mm)	Velocidad de soldadura (mm/s)
1	Argón	14	20	125	1.2	8
2	CO ₂	12	20	140	1.2	8
3	80% Ar- 25%CO ₂	12	20	140	1.2	8

Con esta tabla se podrá llenar la siguiente tabla:

Tabla de Resultados

Cordón	Calor suministrado (J/mm)	Dilución (%)	Penetración (mm.)	Ancho del cordón (mm.)	Ancho de ZAC (mm.)
1	312,5	6	1	8	0,1
2	350	61.1	3	9	1
3	350	51.9	0,5	11	0,9

EQUIPOS UTILIZADOS

Estos cordones fueron realizados con una máquina de soldar marca ESAB tipo Smashweld 316. Esta práctica se la realizó en el taller de enseñanza de la empresa AGA.



Figura 3.2.1.4 Máquina Smashweld 316 para Soldadura Semi-automática MIG/MAG y Tubular

A continuación se detalla las especificaciones generales de la máquina utilizada en esta práctica:

Rango de tensión en vacío 18 a 45 V

Rango de corriente/tensión 25/15 - 400/34

Corriente nominal 270 A

Corriente máxima de soldadura 400 A

Cargas autorizadas 220 A/25 V @ 100% 270 A/28 V @ 60%

Tensión de alimentación 3 Ø, 220/380/440 - 50/60 Hz

Grado de protección IP 22

Dimensiones (A x L x A) mm 530 x 980 x 850

GRAFICOS

1. P vs. Amperaje

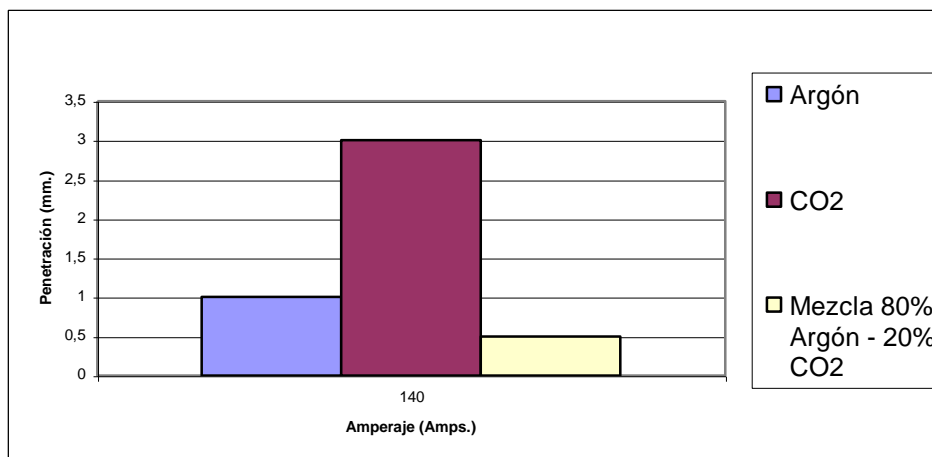


Figura 3.2.1.5 Relación entre la penetración y el amperaje para los diferentes procesos.

2. P vs. H

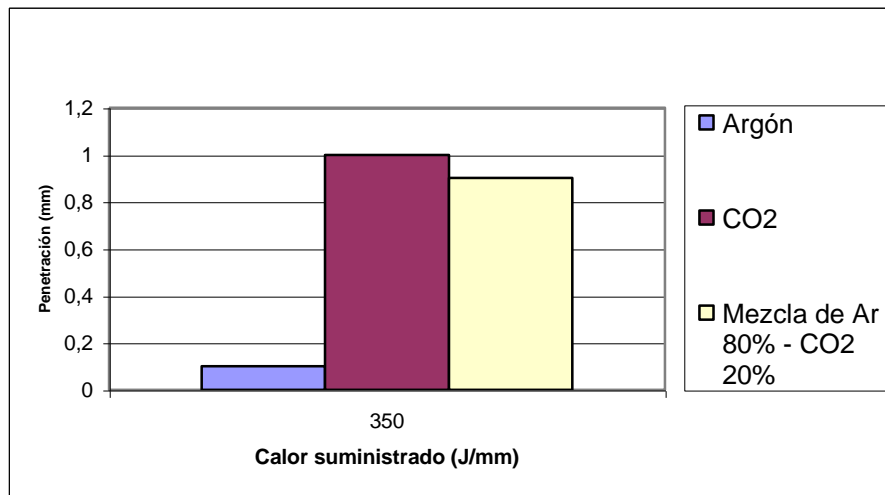


Figura 3.2.1.6 Relación entre la penetración y el calor suministrado para los diferentes procesos.

3. Dilución vs. H (calor suministrado)

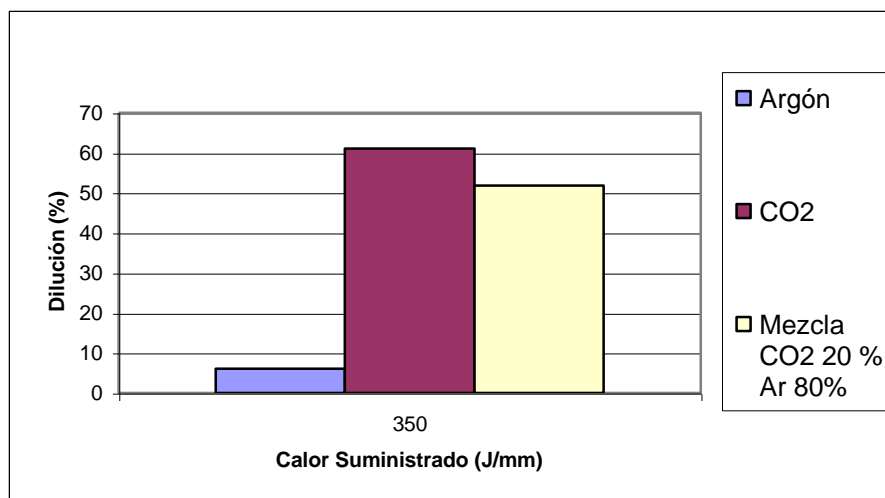


Figura 3.2.1.7 Relación entre la dilución y el calor suministrado para los diferentes procesos.

4. Ancho de la ZAC vs. H

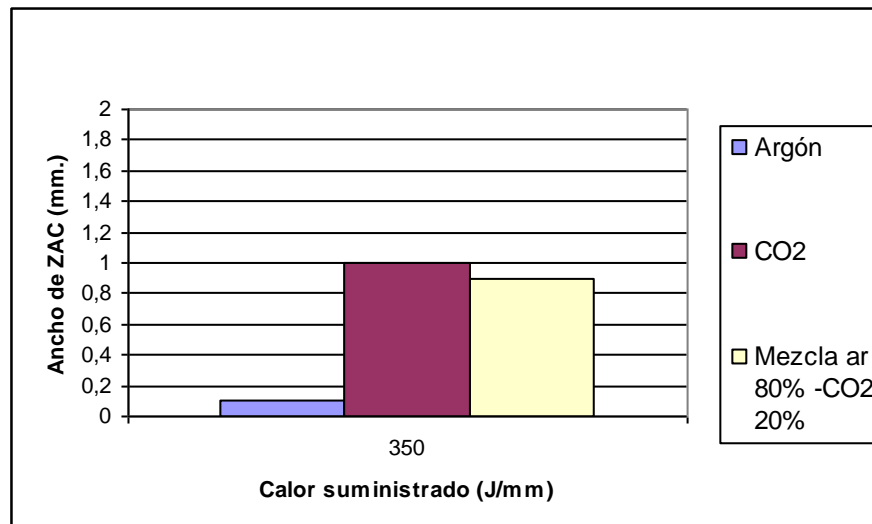


Figura 3.2.1.8 Relación entre el ancho de la ZAC y el calor suministrado para los diferentes procesos.

5. Ancho del cordón vs. H

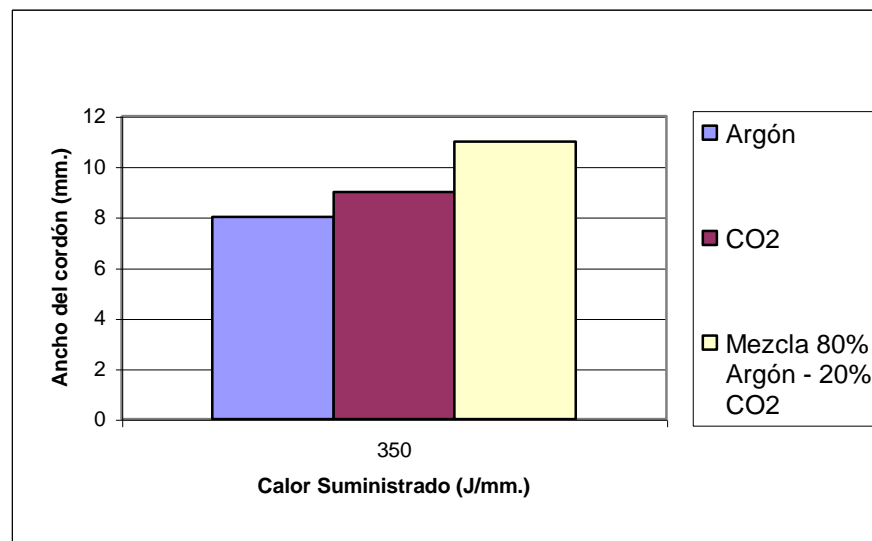


Figura 3.2.1.9 Relación entre el ancho del cordón y el calor suministrado para los diferentes procesos.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

En los dos primeros gráficos el análisis es igual ya que el amperaje es directamente proporcional al calor suministrado. Se puede observar que cuando se usa CO₂, la profundidad del cordón es mayor. Como el amperaje y el calor suministrado es el mismo para los tres procesos en esta práctica, entonces se puede aceptar que es debido al CO₂ que la profundidad es mayor. Después le sigue el Argón y por último la mezcla de Ar al 80% con CO₂ al 20%.

En el gráfico de la dilución se observó con relativa sorpresa que la dilución en el acero inoxidable fue casi nula. En las conclusiones se explicará el por qué de esta situación. Por lo que respecta al resto del gráfico el CO₂ tuvo una mayor dilución que la mezcla.

Con lo que respecta a la ZAC, se pudo observar que levemente es más grande la ZAC cuando se utiliza CO₂. Luego, la mezcla tiene una ZAC similar pero cuando se utilizó solo Argón se pudo observar que la ZAC fue mínima ya que aparentemente la platina es muy gruesa.

El último gráfico nos indica que en la platina de Acero Inoxidable 304 tuvo un ancho de cordón más fino. El más grueso fue el de la mezcla y segundo solo con CO₂. Sin embargo, la diferencia en este parámetro no es demasiada.

CONCLUSIONES

A partir del análisis de los gráficos, establecer relaciones entre las variables analizadas.

Como se pudo observar en los gráficos, la influencia de los gases es muy importante en diferentes parámetros de soldadura. Como se utilizaron los mismos parámetros para todos los cordones, las diferencias se tienen que atribuir exclusivamente al uso de diferentes gases.

Los resultados podrían ser un poco extraños, como por ejemplo la dilución para el acero inoxidable salió 6%. Esto es debido a que se utilizaron valores de amperajes, voltajes y velocidad de soldadura referenciales acorde a la norma internacional AWS C5.6 (Recommended Practices for GMAW) que son referentes al uso de CO₂ como gas protector. Por lo tanto, los valores de los parámetros de soldadura son los recomendados para este tipo uso con este gas protector. Como el propósito de esta práctica es

analizar las diferencias del uso de diferentes gases y no establecer si la norma está bien o no, la práctica estuvo acorde a los objetivos de esta tesis.

3.3. GTAW

3.3.1. Estudio de la Solidificación en Soldaduras de Acero Inoxidable

FIMCP
LABORATORIO DE SOLDADURA
GUIA DE PRACTICA No. 4

TITULO

Análisis del control de parámetros de soldadura TIG en los efectos de solidificación del acero inoxidable AISI 304

OBJETIVO

1. Realizar un análisis macroscópico y microscópico de la solidificación de depósitos de soldadura TIG.
2. Analizar el fenómeno de Sensitización.

BREVE INTRODUCCIÓN TEORICA

- Solidificación en Soldadura
- Sensitización

Para esta práctica se usaron una platinas de 6 mm. de espesor de Acero Inoxidable 304 y se realizaron 8 cordones con Soldadura TIG. Como resultado de la solidificación las condiciones de soldadura produjeron dos tipos de figuras en el cordón: elípticas y en forma de gota. Valores altos de

velocidad de soldadura favorece la formación de cordones en forma de gota.

Para entender el fenómeno de sensitización debemos entender lo que ocurre cuando se solidifica el acero inoxidable en el momento que se suelda. La Zona Afectada por el Calor (ZAC) es donde ocurre algunos de los problemas a nivel de estructura de los metales entre los cuales están: el excesivo crecimiento de grano, la precipitación de compuestos intermetálicos, balance de fase inapropiada y la precipitación de carburos de cromo.

Los problemas que ocurran en la ZAC de los aceros inoxidables van a depender de qué familia sea el acero inoxidable. Los aceros que más comúnmente se utiliza son los austeníticos. Estos son aceros que tienen como estructura cristalina a la cúbica de cara centrada. Se incluyen entre otros a los de grado 304/304L y 316/316L como aleaciones bajas y 904L y 254 SMO con 6% Molibdeno como aleaciones altas.

La familia ferrítica es la segunda más utilizada y es una que tiene como estructura cristalina a una cúbica centrada en el

cuerpo. Esta familia incluye grados comunes como los 409, 430, 436, 444.

El otro tipo de aceros inoxidable que son los dúplex son una combinación generalmente de 50% ferrita y 50% austenita. La última clase de Aceros inoxidable son los martensíticos pero no se los va a tratar en este trabajo.

Luego de haber hecho un resumen de los tipos de aceros inoxidable se va a explicar el fenómeno de la Sensitización. Este es un fenómeno que físicamente aparece como una precipitación de carburos de cromo en los bordes de grano. Para los aceros inoxidable austeníticos, esta precipitación aparecerá en los bordes de grano si el acero es mantenido por un tiempo suficiente a temperaturas entre 420 °C a 815 °C. Esto puede ser un factor porque la región de la ZAC va a estar a este rango de temperatura durante el proceso de soldadura. Los carburos de cromo por sí solos no disminuyen la resistencia a la corrosión. Sin embargo la región aledaña que es la que se queda sin presencia de cromo sí va a reducir esta resistencia. Por definición, esta condición se denomina Sensitización.

La sensitización ocurre cuando átomos de Cromo y Carbono se difunden hacia los bordes de grano donde el Carburo de Cromo (Cr_{23}C_6) se precipita y crece. Mientras el Carburo crece, una región fina cerca de los bordes de grano se vuelve una zona con poco Cromo. Como se va a observar en las fotos de la micro-estructura de la práctica, esta condición se observa como una zona de precipitación en forma de “rosario”. Durante la soldadura, hay un volumen de metal en la ZAC que está expuesto al rango de temperaturas donde existe la Sensitización. La cinemática de este fenómeno es una función de tiempo, temperatura y porcentaje de carbono en el Acero Inoxidable. Por ejemplo, un Acero Inoxidable 304 que contenga un porcentaje de carbono de 0,062 % se va a sensitizar a unos pocos minutos mientras uno que tenga 0,030% de Carbono se va a sensitizar aproximadamente en 1 hora.

Para contrarrestar este fenómeno se puede hacer lo siguiente:

1. Bajo Suministro de Calor
2. Utilización de Aceros con grados de bajo carbono
3. Un tratamiento térmico después de soldar

Para el caso de las hojas de Acero inoxidable se necesita muy poco calor para soldar. Si se usa un bajo suministro de calor el resultado va a ser muy poco tiempo en el rango de temperatura de sensitización y por lo tanto muy poca probabilidad a que se precipiten los carburos en los bordes de grano.

Existen ciertos aceros inoxidables que tienen un grado de bajo contenido de carbono. Estos aceros inoxidables son identificados con un sufijo L, como por ejemplo los aceros 304L ó 306L. Entonces al tener poco carbono va a tener dificultades el metal para sensitizarse.

Por último si ocurre la precipitación se puede hacer un post tratamiento térmico. Para aceros inoxidables de la serie 300 un temple típico llega a los 1000 °C para después enfriar rápidamente. Este procedimiento es muy efectivo pero no es práctico para aplicaciones como tanques, embarcaciones y sistemas de tuberías.

Se observará en esta práctica si ocurre o no el fenómeno de la precipitación de carburos en los bordes de grano o también llamado Sensitización.

Por otro lado, se tiene que estudiar algo de la Solidificación, por lo que a continuación se hablará un poco de este tema.

La solidificación en la soldadura es un caso muy cercano a la nucleación heterogénea, debido a que los granos fusionados incompletamente en la zona parcialmente fusionada proveen un sustrato ideal en donde el metal fundido se solidifica. A nivel macroscópico una vez que la solidificación en soldadura se inicia, el crecimiento de los sólidos ocurren paralelamente al gradiente de temperatura máximo que está localizado perpendicular a la superficie sólida/líquida.

Entonces cuando se está solidificando el metal pueden ocurrir dos formas de solidificación: de forma de elipse o de forma de gota. Generalmente, los dos mecanismos de crecimiento pueden ser identificados durante el periodo de enfriamiento del proceso de soldadura.

En una colada en forma de gota, los granos que tienen una dirección de crecimiento sencillo son paralelos a la dirección del gradiente máximo. El crecimiento converge a la línea soldadura central. Este crecimiento es debido al hecho de que

la orientación del gradiente máximo es constante a lo largo de un gran parte de la superficie sólida/líquida. Como resultado de esta forma de gota hay una tendencia para encerramiento de líquido enriquecido de soluto fusionado incompletamente que puede causar una quebradura en la línea central. En la otra forma, elíptica, la orientación del gradiente de temperatura cambia de grano en grano y por el proceso competitivo, los granos curvan en dirección de la soldadura con un tamaño pequeño y minimizando la segregación en la línea central.

PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

- Indicar todos los pasos a seguir para esta práctica
 1. Se hacen 8 cordones de soldadura usando el proceso GTAW.
 2. 4 cordones con voltaje constante de 16 Voltios, amperaje constante de 240 Amperios y diferentes velocidades de soldadura: 1,4, 1,6, 2, 2,4.
 3. Luego se hace lo mismo pero con un voltaje constante de 12 Voltios y un amperaje de 180 Amperios para producir un calor neto bajo.
- Completar la siguiente tabla

Cordón	E (volts)	v (mm./min.)	I (amp.)
1	16	1,4	240
2	16	1,6	240
3	16	2	240
4	16	2,4	240
5	12	1,4	180
6	12	1,6	180
7	12	2	180
8	12	2,4	180

Hi (J/mm.)	L (mm.)	W (mm.)	L/W	Forma observada	R (°C/seg.)	Hi (J/mm.)
2057	17	9	1,89	GOTA	6,82	2057
1800	9	8	1,13	ELIPTICA	8,91	1800
1440	11	6,5	1,69	GOTA	13,92	1440
1200	9,5	5	1,90	GOTA	20,04	1200
1157	7	6,5	1,08	ELIPTICA	21,55	1157
1013	6,5	5,5	1,18	ELIPTICA	28,15	1013
810	6	4	1,50	GOTA	43,99	810
675	5,5	4	1,38	ELIPTICA	63,34	675

Datos necesarios:

$$R = 2 \pi \lambda \rho C_p$$

$$\eta_1 = \frac{H_i}{H_r}$$

$$H_r = \frac{EI}{\nu}$$

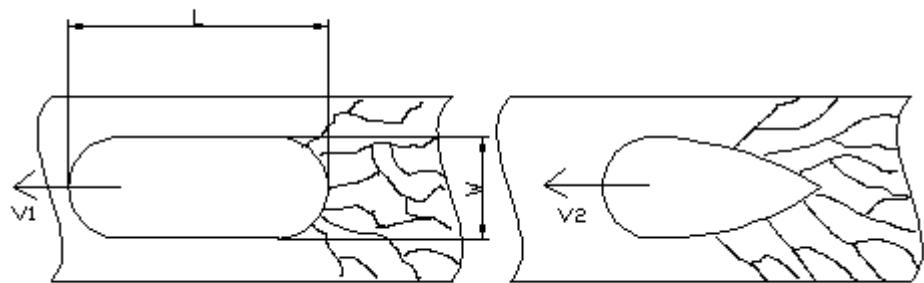
$$\lambda = 0.0206 \frac{J}{\text{sec} \cdot \text{mm} \cdot ^\circ\text{C}}$$

$$\eta_1 = 0.75$$

$$\rho = 7.8 \times 10^{-3} \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

$$C_p = 0.4895 \frac{J}{\text{g} \cdot ^\circ\text{C}}$$

$$T_c = 1200^\circ\text{C}; T_o = 30^\circ\text{C}$$



Forma elíptica

Forma de Gota



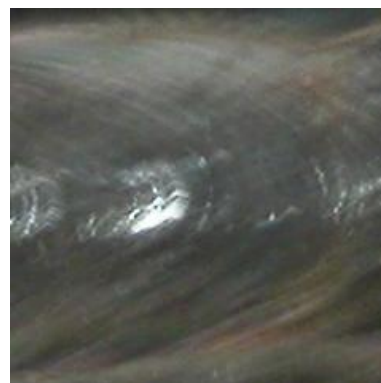
**Figura 3.3.1.1 Cordón 1
usando soldadura TIG**



**Figura 3.3.1.2 Cordón 2
usando soldadura TIG**



**Figura 3.3.1.3 Cordón 3
usando soldadura TIG**



**Figura 3.3.1.4 Cordón 4
usando soldadura TIG**



**Figura 3.3.1.5 Cordón 5
usando soldadura TIG**



**Figura 3.3.1.6 Cordón 6
usando soldadura TIG**



**Figura 3.3.1.7 Cordón 7
usando soldadura TIG**



**Figura 3.3.1.8 Cordón 8
usando soldadura TIG**

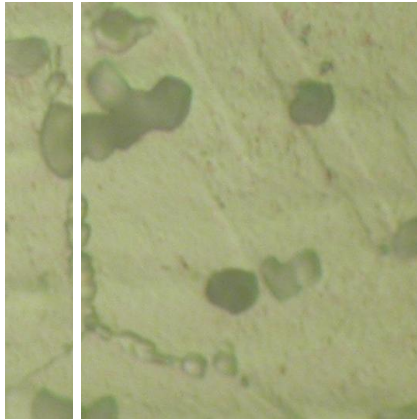


Figura 3.3.1.9 Muestra 1 (800x)
donde se observa la precipitación de carburos en los bordes de grano

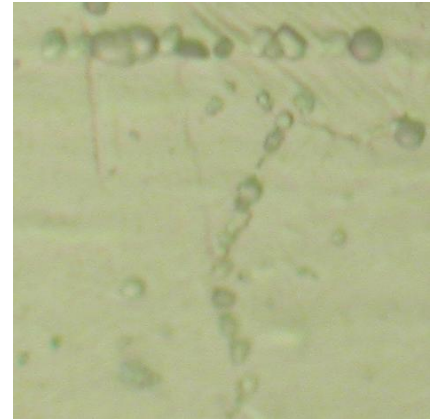


Figura 3.3.1.10 Muestra 2 (800x)
donde se observa la precipitación de carburos en los borde de grano

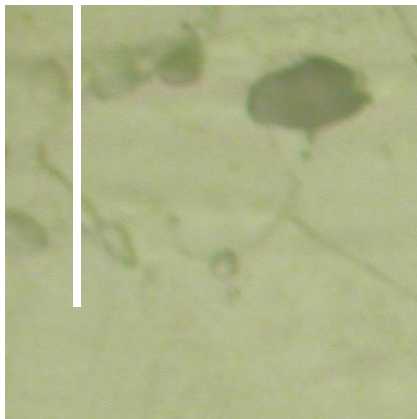


Figura 3.3.1.11 Muestra 3 (800x)
donde se observa la precipitación de carburos en los bordes de grano

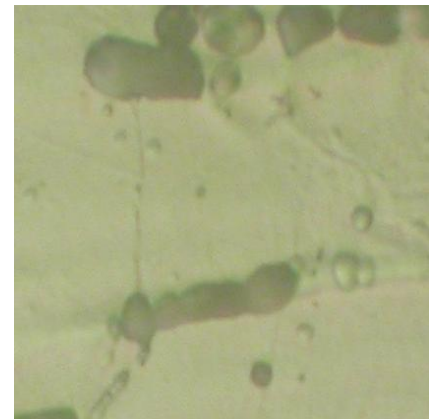


Figura 3.3.1.12 Muestra 4 (800x)
donde se observa la precipitación de carburos en los bordes de grano

EQUIPOS UTILIZADOS

El equipo utilizado fue el mismo que se utilizó en la práctica “Efecto de Gases Mezclas (Ar, CO₂, Mezcla 80% Ar – 20% CO₂)”.

GRAFICOS Y/O TABLAS

1. L/W vs. V

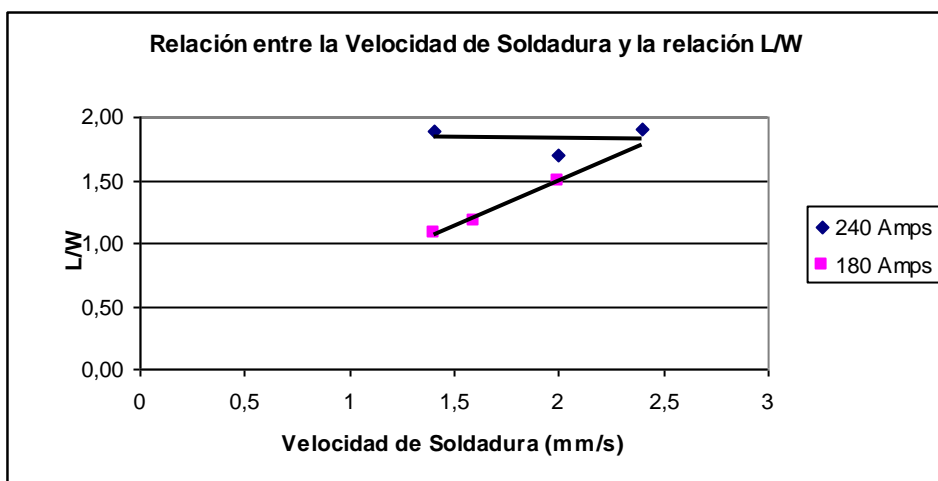


Figura 3.3.1.13 Relación entre la Velocidad de soldadura y la relación L/W en diversos cordones utilizando soldadura GTAW en Aceros Inoxidables de la Serie 300

2. L/W vs. Hi

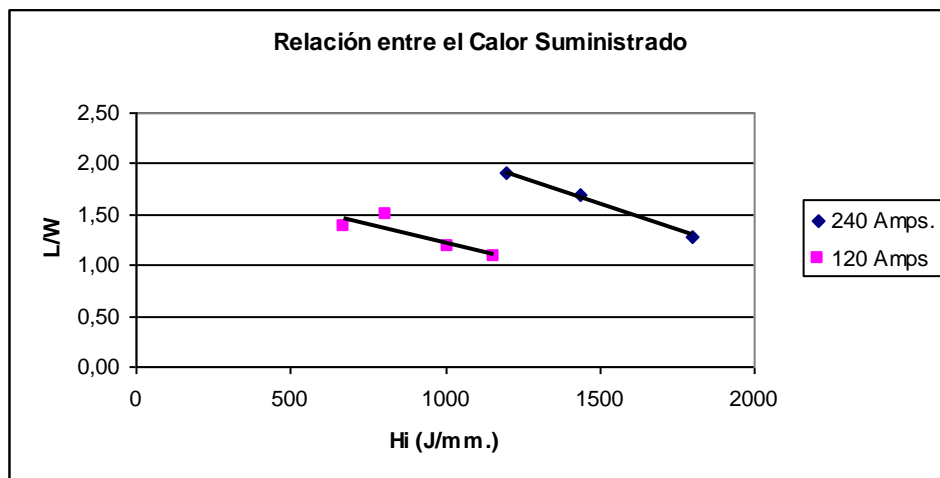


Figura 3.3.1.14 Relación entre el Calor Suministrado y la relación L/W en cordones utilizando soldadura GTAW en Aceros Inoxidables de la Serie 300

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Análisis de cada gráfico

Las figuras 3.3.1.1 a la 3.3.1.8 muestran fotos de los cordones de soldadura utilizando TIG en piezas de Acero Inoxidable AISI 304. Con estas fotos uno puede observar qué tipo de forma tiene la colada, ya sea de forma de gota o elíptica.

La figura 3.3.1.13 muestra que si la velocidad de soldadura se incrementa para una determinada corriente, la relación L/W se incrementa. Esto se debe a que el ancho de los cordones va disminuyendo a medida que se aumenta la velocidad. Además

esta relación se la puede considerar un poco sensible para altas corrientes ya que los valores no están bien alineados, contrario a lo que es para bajas corrientes donde la relación es más controlable. La forma de la colada de soldadura que se muestra en la tabla indica que no existe una velocidad de soldadura definida para cual esta forma cambia de la una a la otra. Se esperaba que a altos valores de velocidad de soldadura se iba a producir coladas en forma de gota. Sin embargo existe una relación entre L/W con la forma de la colada. Para valores de L/W arriba de 1,50 la forma de la colada cambia de elíptica a forma de gota, que normalmente es el resultado de altas velocidades de soldadura.

La figura 3.3.1.14 muestra la relación entre L/W vs. El Calor Suministrado para los cordones utilizando 240 Amperios y 180 Amperios. También se observa una relación lineal pero en este caso, esta relación disminuye en cuanto se aumenta el Calor Suministrado. Esto es porque el Calor Suministrado decrece mientras aumenta la velocidad de soldadura. Esta figura también

demuestra que los datos son más inestables cuando se usa corrientes de 240 Amps.

En los gráficos 3.3.1.9 al 3.3.1.12 se observa como se han precipitado los carburos en los bordes de grano. Se tomaron las fotos a 800X y el reactivo fue Ácido Oxálico al 10% (electrolítico).

CONCLUSIONES

A partir del análisis de los gráficos, establecer relaciones entre las variables analizadas.

Condiciones de soldadura usando GTAW in platinas de 6 mm. de espesor de Acero Inoxidable Austenítico produce formas de coladas de soldadura de forma elíptica y de forma de gota, como resultado del fenómeno competitivo de crecimiento. Si se incrementa la velocidad de soldadura resulta en un aumento de la relación L/W. Para valores de L/W mayores a 1,50 la forma de la colada cambia de elíptica a forma de gota.

El fenómeno de la sensitización ocurrió en todas las piezas de acero inoxidable que se hicieron los cordones. Se puede apreciar fácilmente como se precipitaron los carburos de cromo en los bordes de grano. Es decir es un fenómeno que se lo pudo observar en todas las piezas.

3.3.2. Medición de la distribución de temperaturas durante el proceso de GTAW

Para ver esta práctica dirigirse al Apéndice A.

3.4. FCAW

3.4.1. Estudio y comparación del efecto del uso del proceso con gas y sin gas sobre las características de la unión soldada.

FIMCP
LABORATORIO DE SOLDADURA
GUIA DE PRACTICA No. 6

TITULO

Estudio y comparación del efecto del uso del proceso con gas y sin gas sobre las características de la unión soldada.

OBJETIVO

Análisis microscópico de los cordones utilizando el proceso de FCAW cuando se utilizan los dos tipos de procesos.

BREVE INTRODUCCIÓN TEORICA

Comparación de los dos tipos de procesos de FCAW

Esta parte de la práctica está explicada en el capítulo 2.4 de este trabajo.

PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

- Indicar todos los pasos a seguir para esta práctica
 1. Se preparan dos planchas de Acero A36 de 6 mm. de espesor.
 2. Se procederá a realizar 4 cordones de soldadura. Dos cordones con alambre autoprotegido y dos con alambre recubierto para uso de protección externa.
 3. Se hace un corte transversal a todos estos cordones.

4. Se preparan las piezas para un análisis macroscópico.
5. Se lima, se lija y se pule.
6. Se ataca con nital al 3% y se espera hasta que se revela la ZAC y la profundidad de los cordones.

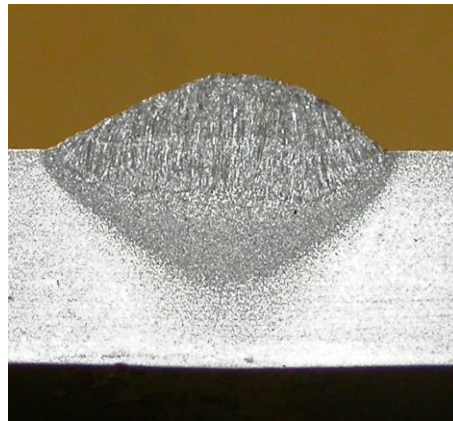


Figura 3.4.1.1 Muestra 1 usando soldadura FCAW con CO₂ como gas de protección

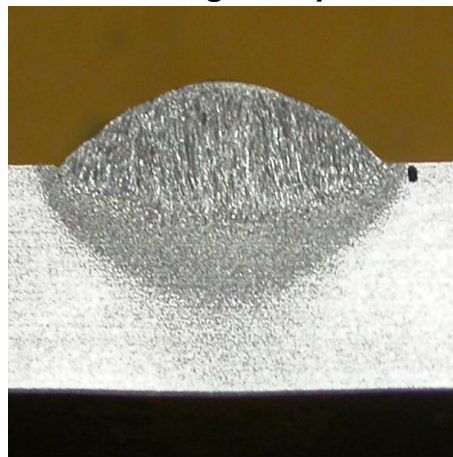


Figura 3.4.1.2 Muestra 2 usando soldadura FCAW con CO₂ como gas de protección

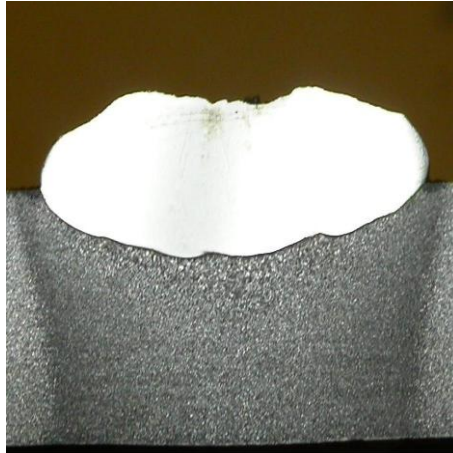


Figura 3.4.1.3 Muestra 3 usando soldadura FCAW con electrodo autoprotegido

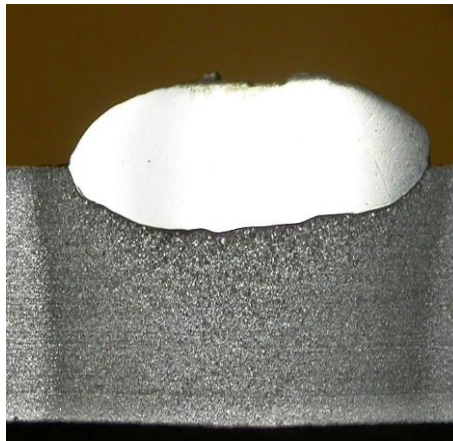


Figura 3.4.1.4 Muestra 4 usando soldadura FCAW con electrodo autoprotegido

- Completar la siguiente tabla

Para los todos los cordones se utiliza planchas de acero ASTM A36.

Cordón	Tipo de electrodo	Voltaje (V)	Amperaje (Amps.)	Diámetro Electrodo (mm.)	Velocidad de soldadura (mm./s)
1	E70T-1	22	180	1,6	7
2	E70T -1	22	180	1,6	10
3	E70T - 4	31	300	2	10
4	E70T - 4	31	300	2	13

Con estos valores se podrá llenar la siguiente

Tabla de Resultados

Calor suministrado (J/mm)	Dilución (%)	Penetración (mm.)	Ancho del cordón (mm.)	Ancho de ZAC (mm.)
566	44,4	1,7	9,2	1
396	45,8	2,4	9	1
930	42,5	1,8	12,9	2,5
715	31,9	2,1	15	2,6

EQUIPOS UTILIZADOS

Para la parte de la práctica de FCAW-G se utilizó la misma máquina que para la práctica de GMAW. Para la parte de FCAW-S se utilizó la siguiente máquina.



Figura 3.4.1.5 Equipo de FCAW

- Requiere 1 fase
- Datos de Salida: 200 Amps at 28 VDC, 60% duty cycle

250 Amps at 28 VDC, 40% duty cycle

- Rango de Amperaje 30 - 300 Amps.
- Peso : 215 lb (98 kg)
- Aplicación: MIG, FCAW-S, FCAW-G

GRAFICOS

1. Amperaje vs. Penetración

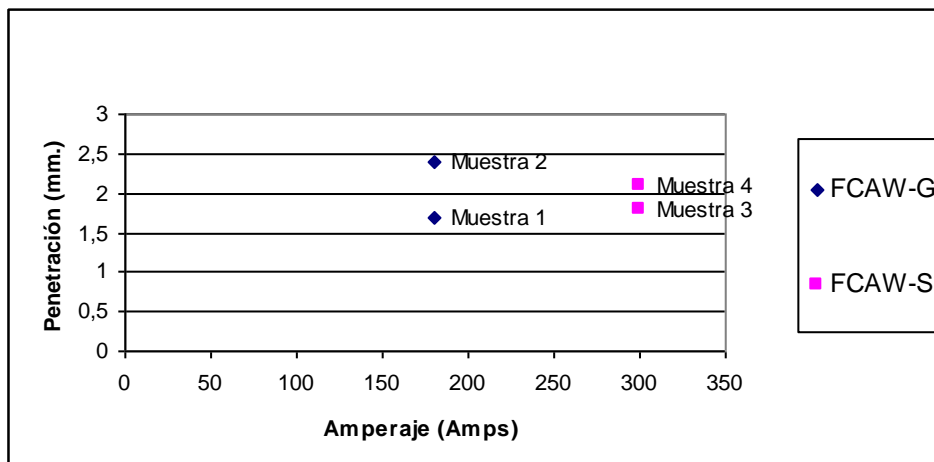


Figura 3.4.1.6 Relación entre la penetración y el amperaje para los diferentes procesos de FCAW.

2. Calor suministrado vs. Penetración

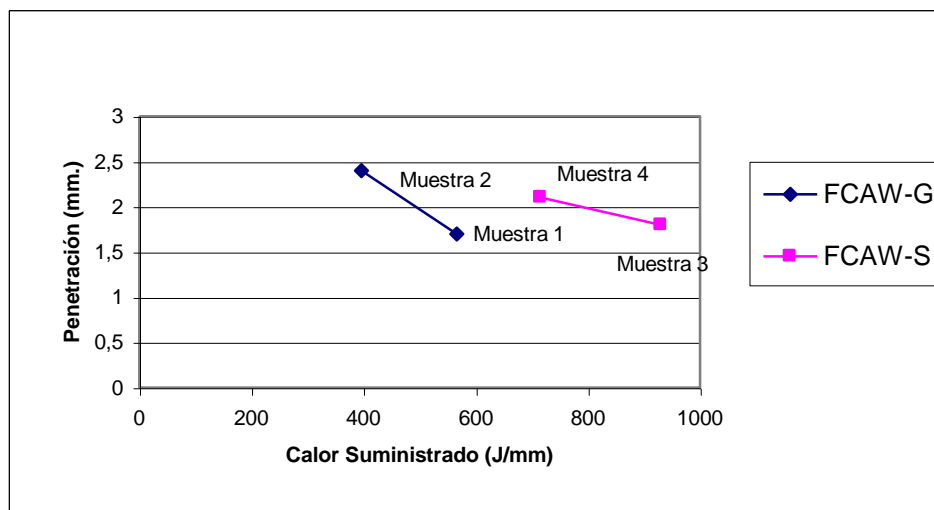


Figura 3.4.1.7 Relación entre la penetración y el calor suministrado para los diferentes procesos.

3. Calor suministrado vs. Dilución

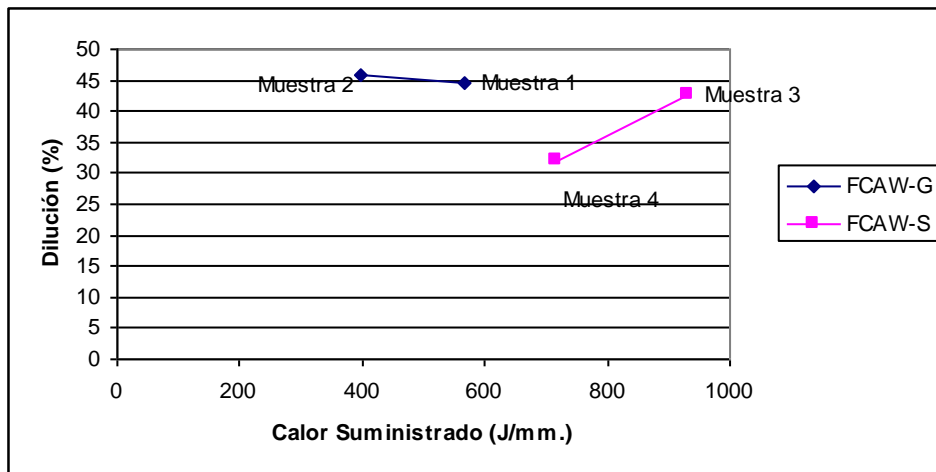


Figura 3.4.1.8 Relación entre la dilución y el calor suministrado para los diferentes procesos de FCAW.

4. Calor Suministrado vs. Ancho de ZAC

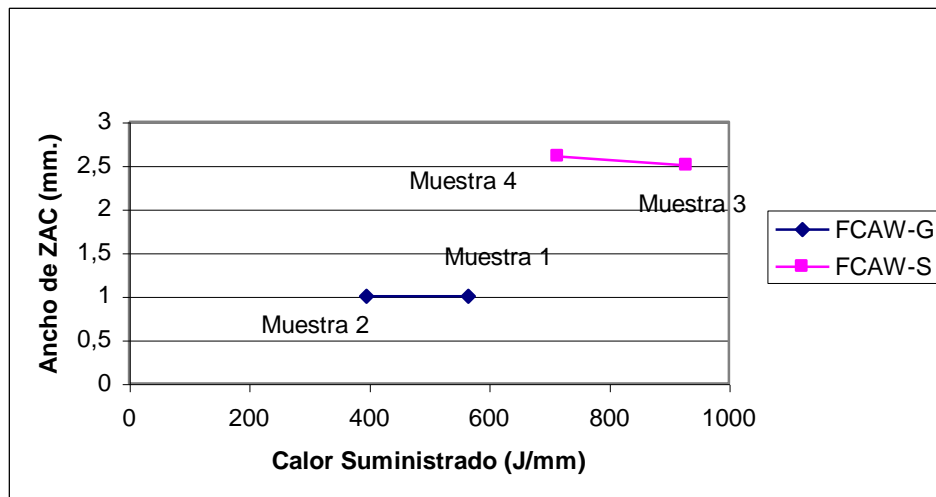


Figura 3.4.1.9 Relación entre el ancho de la ZAC y el calor suministrado para los diferentes procesos de FCAW.

5. Calor Suministrado vs. Ancho del cordón

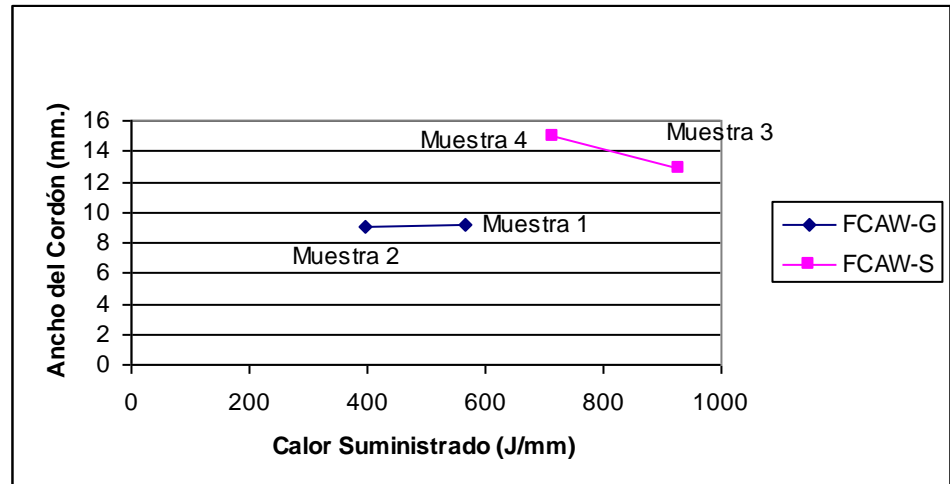
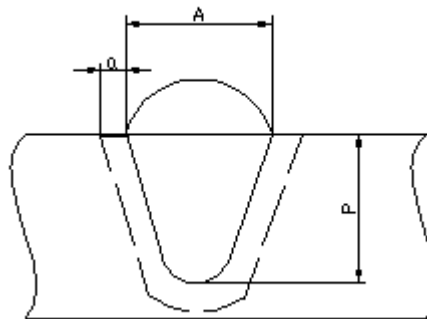


Figura 3.4.1.10 Relación entre el Ancho del Cordón y el Calor Suministrado para los diferentes procesos de FCAW.



ANÁLISIS DE RESULTADOS

Análisis de cada gráfico

En el primer gráfico podemos observar que cuando el aumento en el amperaje no tuvo un efecto directo en la penetración. Se tiene

que analizar el hecho que las muestras 1 y 2 son hechas con un electrodo diferente al de la muestra 3 y 4. Aunque es lógico suponer que cuando aumente el amperaje y se mantienen los otros parámetros sin moverse, la penetración aumentará.

En el segundo gráfico, se puede observar que cuando la velocidad es muy baja para parámetros como amperaje y voltaje normales, la penetración tiende a disminuir. Cuando comienza a aumentar la velocidad la penetración aumentará. Como se puede observar en las tablas de resultados, esto se cumple. Hay que tener en cuenta que la velocidad está inversamente relacionada con el calor suministrado.

En el caso de la dilución en relación con el Calor Suministrado las cosas son un poco diferentes. Cuando se utiliza un electrodo para uso de protección externa, la dilución aumentó muy escasamente, a tal punto que es casi 1% mayor. En el caso del electrodo autoprotegido, cuando se aumentó la velocidad y por lo tanto se disminuyó el calor suministrado, la dilución fue menor de manera más notoria.

En la siguiente gráfica se puede observar que la ZAC permanece casi igual en los dos tipos de electrodos. Aumentó ligeramente cuando se incrementó la velocidad de soldadura.

Se puede observar en el gráfico de Calor suministrado vs. Ancho del cordón que para las muestras 1 y 2 el ancho del cordón permaneció casi igual. Para las muestras 3 y 4 el ancho del cordón se aumentó cuando se aumentó la velocidad de soldadura y por consiguiente la disminución en el calor suministrado.

CONCLUSIONES

A partir del análisis de los gráficos, establecer relaciones entre las variables analizadas.

En esta práctica se buscó encontrar cualquier relación que exista entre los dos tipos de soldadura al Arco con Núcleo de Fundente: la que utiliza gas externo (FCAW-G) y la que utiliza un electrodo autoprotegido (FCAW-S). Estos dos métodos son utilizables para diversas aplicaciones y su uso va a depender de la disponibilidad de equipos y electrodos así como de situaciones ambientales y de trabajo. Se puede asegurar que el método de FCAW-G es aplicable a situaciones similares a las de GMAW y que el método

de FCAW-S es aplicable a situaciones similares a la de SMAW. Sin embargo existen ventajas y desventajas con el uso de FCAW y los dos otros métodos antes mencionados. Entre otros las ventajas de FCAW son las siguientes: excelente apariencia de cordón, alto factor de operación, 4 veces mayor la tasa de deposición comparada con SMAW, se requiere menos limpieza previa que GMAW, resulta menos distorsión que SMAW. Entre las desventajas están que: los equipos son más caros que los de SMAW, los cables tubulares son más caros que los cables utilizados en GMAW, etc. Por eso es que los resultados obtenidos en esta práctica son muy similares a los resultados obtenidos en la práctica de GMAW.

Como dato importante de concluir en esta práctica es que a primera vista, si uno suelda a velocidades lentas, uno tiende a pensar que la penetración será mayor. Pero esto no ocurre en este caso, ya que lo que va a aumentar no es la penetración, sino el ancho del cordón.

3.5. SAW

3.5.1. Efecto de los parámetros de soldadura sobre las características de la unión soldada

FIMCP
LABORATORIO DE SOLDADURA
GUIA DE PRACTICA No. 7

TITULO

Efecto de los parámetros de soldadura en SAW sobre las características del cordón.

OBJETIVO

Estudio del efecto de la variación de los parámetros de soldadura: I (corriente), V (voltaje), v (velocidad del alambre) sobre la geometría, dureza y microestructura de cordones depositados mediante el proceso SAW.

BREVE INTRODUCCIÓN TEORICA

Naturaleza del proceso SAW

Esta parte se puede referir al capítulo 2.5 de este trabajo.

PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

- Indicar todos los pasos a seguir para esta práctica

1. Indicar al operador los parámetros a ser utilizados para que los ponga en la máquina de soldar de SAW.
 2. Una vez que estén hechos todos los cordones proceder al análisis macroscópico.
 3. Se hace un corte transversal a la plancha y se lima este corte.
 4. Luego se pasan las lijas desde la más gruesa hasta la más fina.
 5. Luego de pule para proceder a atacar con Nital al 3% para poder revelar la ZAC y la profundidad del cordón.
- Completar la siguiente tabla

Muestra	I (amp)	V (voltios)	Velocidad de Soldadura (mm. /Seg.)
1	390	27	10
2	550	27	10
3	620	27	10
4	390	30	14
5	390	30	8

TABLA DE RESULTADOS

Calor Suministrado (Joule/mm.)	Dilución (%)	Penetración (mm.)	Ancho del cordón (mm.)	Ancho de ZAC (mm.)
1037.2	65.52	3	12.5	2
1462.7	72.88	6	10.5	2
1648.9	61.33	8	10	3
813.5	64.71	2.5	10.5	1.5
1382.9	80.49	3	15.5	2.5

EQUIPOS UTILIZADOS



Figura 3.5.1.1 Equipo de SAW utilizado en la práctica

Especificaciones técnicas:

- Monofásico 115 VAC
- 50/60 Hz.
- Corriente y voltaje constante
- Contactor remoto
- Voltaje de Soldadura: 0-60 V
- Amperaje de Soldadura: 0-1500 A
- Dimensiones: Altura: 178mm. Ancho: 286 mm. Largo: 292mm.

GRAFICOS Y/O TABLAS

1. P vs. I (V=cte)

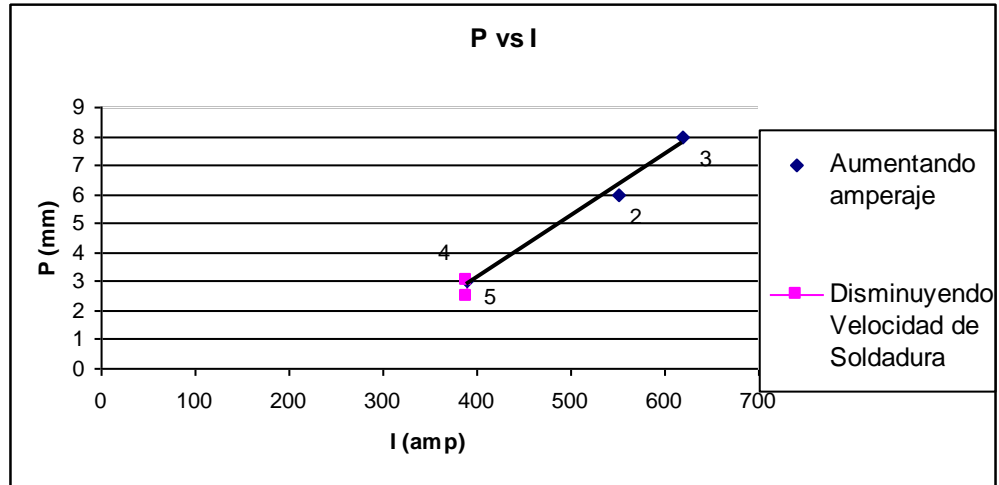


Figura 3.5.1.2 Relación entre la Corriente y la Penetración usando soldadura SAW

2. P vs. V (I=cte)

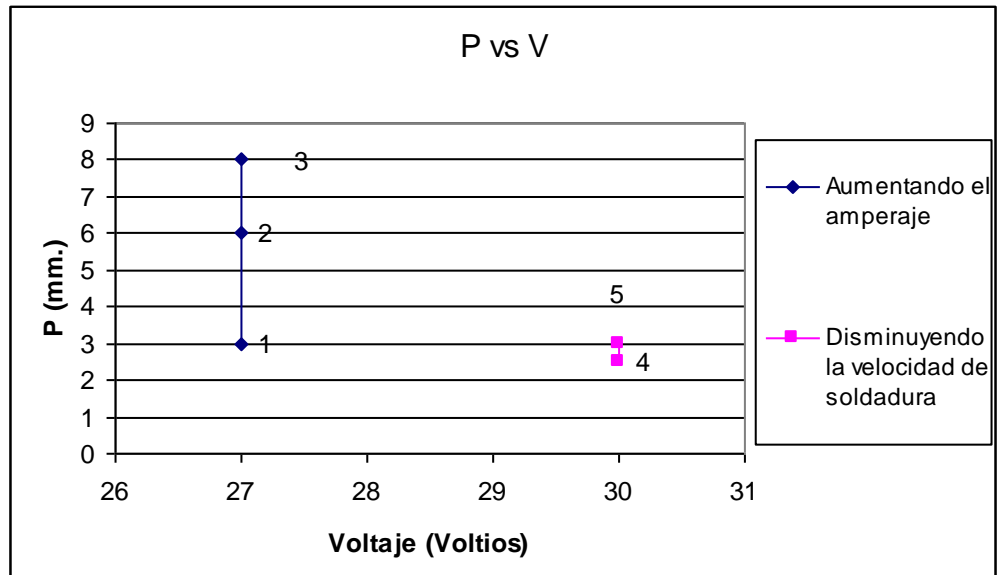


Figura 3.5.1.3 Relación entre el Voltaje y la Penetración usando soldadura SAW

3. Calor Suministrado vs. Penetración

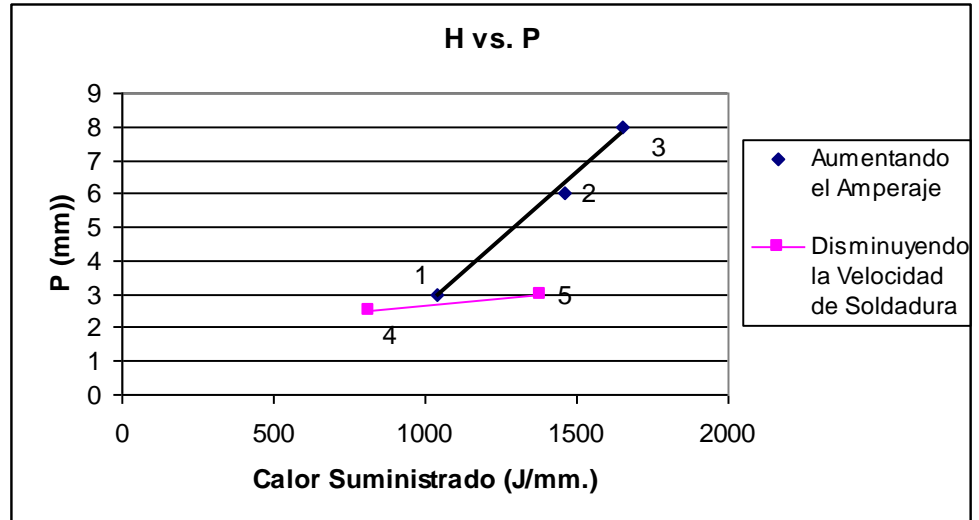


Figura 3.5.1.4 Relación entre el Calor Suministrado y la Penetración usando soldadura SAW

4. Calor Suministrado vs. Dilución

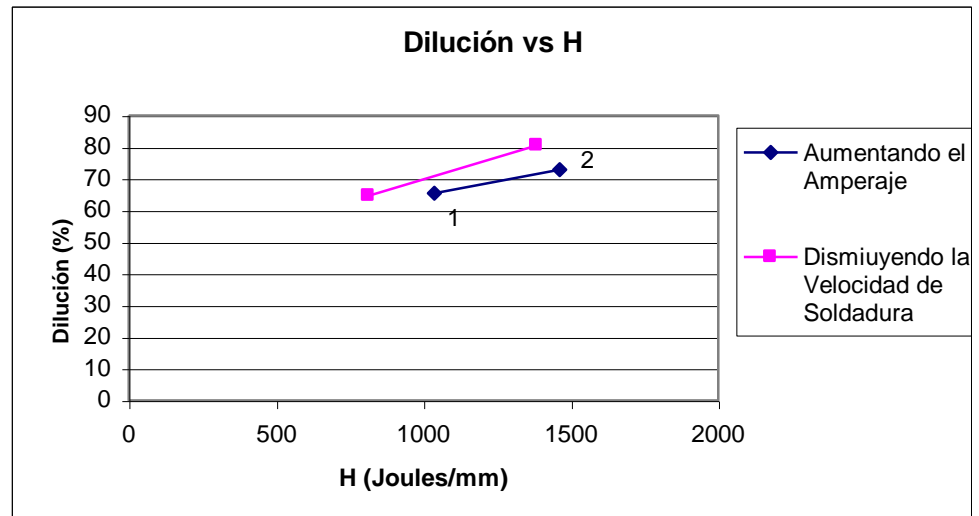


Figura 3.5.1.5 Relación entre el Calor Suministrado y la Dilución usando soldadura SAW

5. Ancho de ZAC vs. H

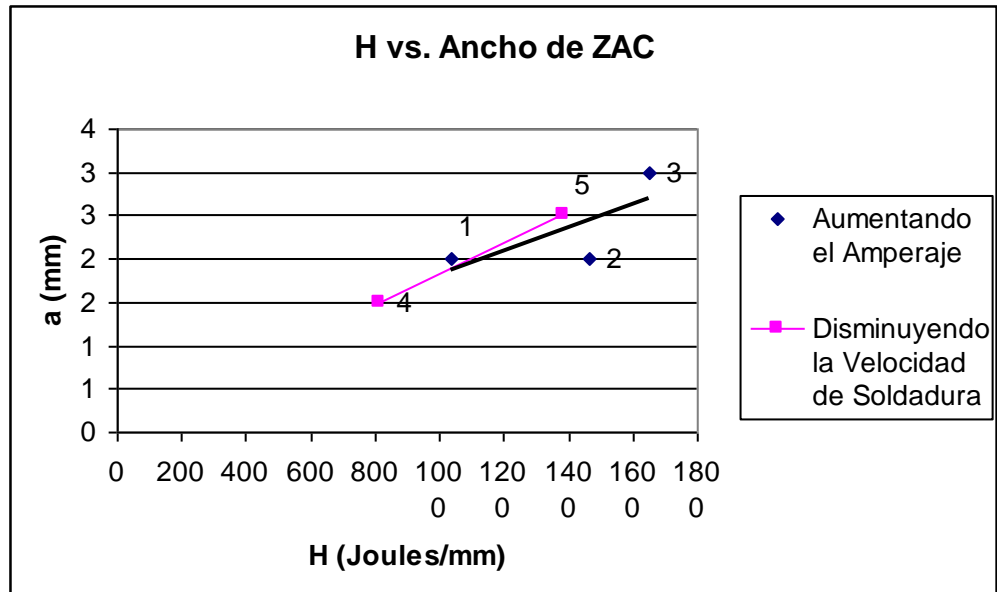


Figura 3.5.1.6 Relación entre el Calor Suministrado y el Ancho de la ZAC usando soldadura SAW

6. A vs. I (V=cte.)

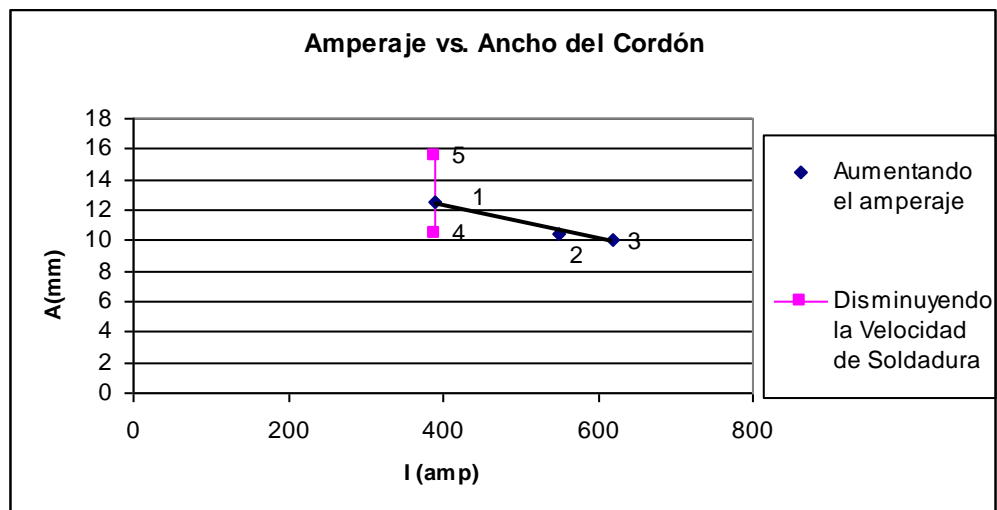


Figura 3.5.1.7 Relación entre el Amperaje y el Ancho del Cordón usando soldadura SAW

7. A vs. V (I=cte)

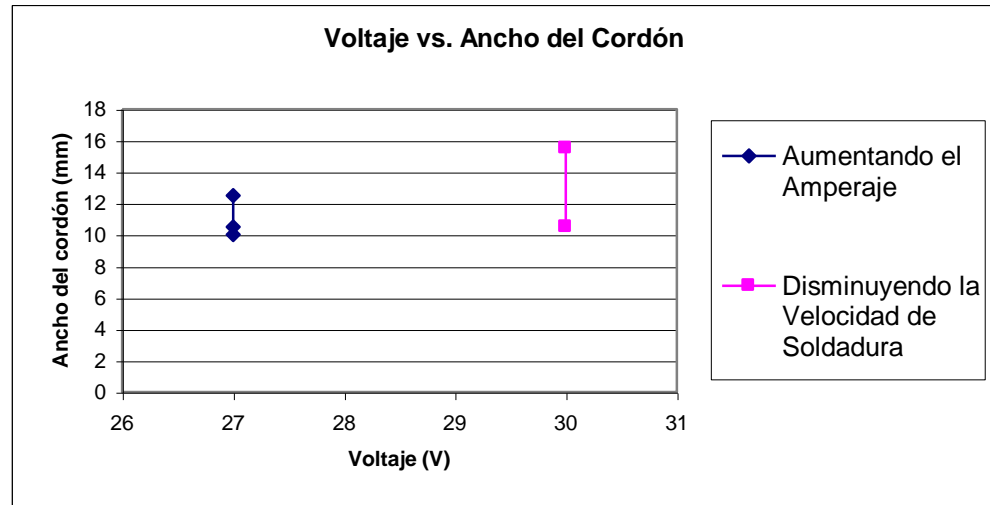


Figura 3.5.1.8 Relación entre el Voltaje y el Ancho del Cordón usando soldadura SAW

8. A vs. H

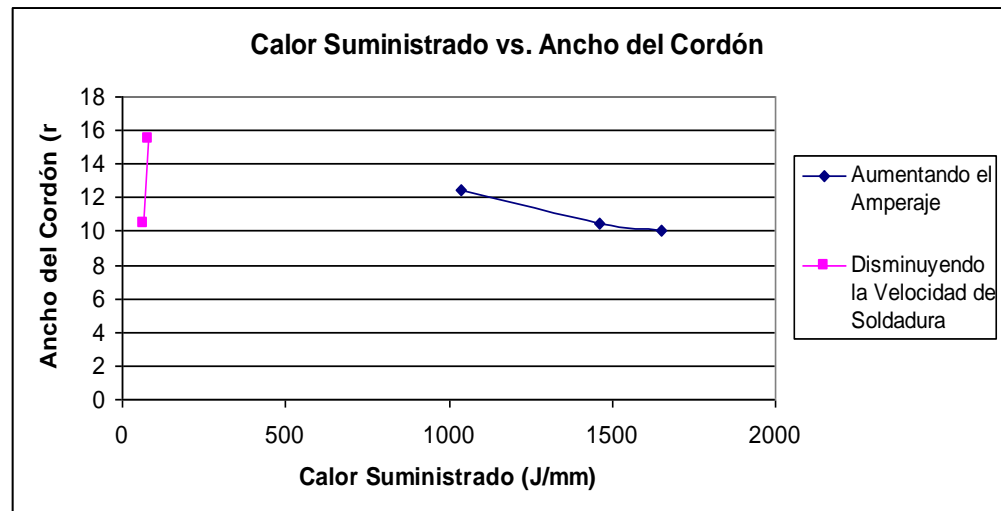


Figura 3.5.1.9 Relación entre el Calor Suministrado y el Ancho del Cordón usando soldadura SAW

OBSERVACIONES

1. Se cortó la muestra con sierra manual ya que no se la podía cortar con corte oxiacetilénica ni con plasma ya que iba a cambiar la ZAC.
2. Se atacó el corte con Nital al 3% para poder apreciar la ZAC.
3. Se tuvo que cambiar los números de las muestras para poder realizar un análisis ingenieril más preciso. Es decir para cumplir el objetivo de analizar el comportamiento del cordón con la variación de los parámetros de soldadura. Los cambios que se hicieron fueron los siguientes: La muestra que se le puso el número 1 en la práctica es la número 2 en este reporte. La muestra que era la 2 en la práctica es la 3 en este reporte. La muestra que era la 3 en la práctica era la 1 en este reporte.
4. Se editaron las figuras para que se vean los nuevos números en vez de los que se pusieron en la práctica.



Figura 3.5.1.10 Muestra 1 en la práctica de SAW



Figura 3.5.1.11 Muestra 2 en la práctica de SAW



Figura 3.5.1.12 Muestra 3 en la práctica de SAW

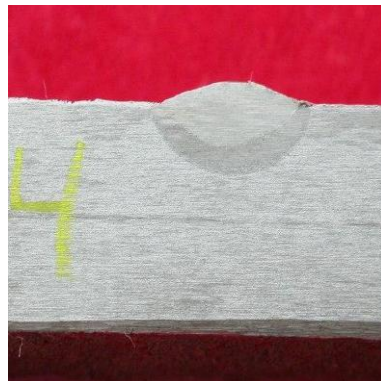


Figura 3.5.1.13 Muestra 4 en la práctica de SAW



Figura 3.5.1.14 Muestra 5 en la práctica de SAW

CONCLUSIONES

A partir del análisis de los gráficos, establecer relaciones entre las variables analizadas

En esta práctica de SAW se variaron los parámetros de soldadura como requería el objetivo. Para las tres primeras muestras se varió el amperaje y se mantuvo constante la velocidad de soldadura y el voltaje. Para las dos últimas muestras se varió la velocidad y se mantuvo constante el amperaje y el voltaje.

En el primer gráfico se analizó el comportamiento de la penetración vs. el amperaje. Para los primeros tres caso se observó que la penetración aumentaba conforme se aumentaba la corriente. Para los otros dos

casos, se observó que como la velocidad disminuía, la profundidad aumentaba. Esto era lógico porque mientras más lento ocurría el suministro de calor, más profundo era la penetración.

Para el gráfico de penetración vs. voltaje se puede observar que cuando el voltaje y la velocidad de soldadura son constantes, la penetración igual aumenta. Cuando la corriente y el voltaje fueron constantes la penetración aumentó porque la velocidad disminuyó. Este comportamiento nos indica que la penetración depende mucho más del amperaje mas no del voltaje. Ya se comprobó anteriormente que la penetración sí depende de la velocidad de soldadura.

El siguiente gráfico estudia la penetración vs. el calor suministrado H ($H=VI/v$). La penetración va a aumentar a medida que aumenta el calor suministrado. Esto ya se explicó anteriormente, además se puede ver en la fórmula que el calor suministrado es directamente proporcional al amperaje. Para las últimas dos muestras donde la penetración aumentó cuando el calor suministrado también aumentó pero ahora debido al otro parámetro que es la velocidad. En la fórmula se puede observar la velocidad es indirectamente proporcional al calor suministrado.

Para el caso de la dilución en relación con el calor suministrado se puede observar casos un poco diferentes. Se pudo observar que para los dos primeros casos la dilución aumentó cuando aumentó el calor suministrado aumentó. Sin embargo, cuando en la muestra 3 el calor suministrado aumentó, la dilución disminuyó. En las muestras donde la velocidad disminuye, la dilución aumentó.

En el gráfico que relaciona la distancia máxima del ZAC vs. el calor suministrado se observó que la zona afectada por el calor aumentó conforme el calor suministrado aumentó. Hay que decir que si comparamos la muestra 1 con la 4 que tienen iguales amperajes y muy parecidos voltajes, pero la muestra 4 tiene una velocidad de soldadura mayor, la zona afectada por el calor disminuyó. Esto se puede entender fácilmente ya que no hubo mucho tiempo para que el calor suministrado afecte mayormente a la pieza. Cuando comparamos la 4 con la muestra 5 observamos que la zona afectada aumentó porque el tiempo que el calor estaba siendo suministrado fue mayor.

Para el gráfico de la corriente vs. el ancho del cordón (A) podemos observar que este parámetro está relacionado de diferente manera con el amperaje y con la velocidad de soldadura. En primer lugar podemos observar que cuando el amperaje aumentó el ancho de cordón

disminuyó. Si analizamos la muestra 3 con la 4 podemos ver que si aumentó un poco cuando el voltaje aumentó. Ahora, cuando analizamos la muestra 4 con la muestra 5 podemos ver que cuando la velocidad fue menor, el ancho del cordón aumentó de manera significativa. Esto nos da a entender que la velocidad tiene mucho que ver en el resultado del ancho del cordón y no solo el amperaje.

Para el gráfico del voltaje vs. ancho del cordón se pudo comprobar cuando el voltaje aumenta el ancho del cordón aumenta también. Pero este parámetro no es muy relevante comparado con el amperaje y la velocidad de soldadura.

Para el gráfico del calor suministrado con el ancho de soldadura se puede observar que mientras el calor aumenta, el ancho de cordón disminuye rápidamente solo si no disminuimos la velocidad. Si analizamos el comportamiento entre las muestra 4 con la muestra 5 y las tres primeras vemos que hay un cambio radical. Se puede observar que la velocidad de soldadura hizo que cambiara drásticamente el parámetro de ancho del cordón. Y como la diferencia fue mayor podemos concluir que en este caso, la velocidad de soldadura es la de mayor importancia.

3.6. OXICORTE

3.6.1. Familiarización de Equipos y Parámetros de operación

FIMCP
LABORATORIO DE SOLDADURA
GUIA DE PRACTICA No. 8

TITULO

Familiarización de Equipos y Parámetros de operación de oxicorte.

OBJETIVO

1. Conocer e identificar los equipos para oxicorte.
2. Aprender a manejar el equipo de soldadura oxiacetilénica para el oxicorte.
3. Realizar algunos cortes con las medidas de seguridad.

BREVE INTRODUCCIÓN TEORICA

Las boquillas de corte son usualmente hechas de cobre para resistir el alto calor que se disipa cuando se corta un metal. Estas boquillas tienen un ducto interno que elimina la turbulencia de la flama. Las boquillas con cámaras de mezclado individual dan la mejor relación oxígeno-acetileno. Como cada fabricante de boquillas tiene diferentes tipos de denominaciones, los soldadores utilizan unas tablas con especificaciones técnicas de estos fabricantes para determinar qué boquilla utilizar para diferentes

espesores. Los agujeros de estas boquillas son uniformes, rectos y taladrados con precisión a una medida en particular, para evitar las turbulencias en el flujo de gas para un buen corte. Estas boquillas tienen que ser cuidadosamente limpiadas y mantenidas para evitar problemas en el corte. A continuación se encontrará una tabla que recomienda qué boquilla utilizar para determinado espesor de metal.

TABLA 9
Selección de boquillas dependiendo del espesor de acero a cortar

Tamaño de boquilla	Longitud del cono de flama interior promedio (pulgadas)	Presión de Oxígeno (PSI)		Presión de Acetileno (PSI)		Consumo de Acetileno (CFH)		Espesor de Metal (pulgadas)
		Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	
000	7/32	½	2	½	2	½	3	Hasta 1/32
00	7/32	1	2	1	2	1	4	1/64 - 3/64
0	3/8	1	3	1	3	2	6	1/32 - 5/64
1	3/8	1	4	1	4	4	8	3/64 - 3/32
2	3/8	2	5	2	5	7	13	1/16 - 1/8
3	3/8	3	7	3	7	8	36	1/8 - 3/16
4	5/8	4	10	4	10	10	41	3/16 - ¼
5	1	5	12	5	15	15	59	¼ - ½
6	1 1/16	6	14	6	15	55	127	½ - ¾
7	1 ¼	7	16	7	15	78	152	¾ - 1 ¼
8	1 ¼	9	19	8	15	81	160	1 ¼ - 2
9	1 7/16	10	20	9	15	90	166	2 - 2 ½
10	1 7/16	11	22	10	15	100	169	2 ½ - 3
11	1 7/16	13	24	11	15	106	175	3 - 3 ½
12	1 ½	14	28	12	15	111	211	3 ½ - 4

PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Recomendaciones de seguridad previo a cualquier procedimiento de oxicorte:

1. Antes de abrir las válvulas de las botellas comprobar que los volantes de regulación de presiones de los reguladores están desenroscados, regulador cerrado y resto de válvulas cerradas.
2. Sitúese en el lado de la botella opuesto al regulador.
3. Abra las válvulas de las botellas lentamente.
4. Rosque los volantes de la regulación de presión en los reguladores para abrir el regulador hasta ajustar las presiones según el trabajo a realizar.

Para realizar el trabajo de corte

1. Consultar en la tabla de corte los parámetros de ajuste, que correspondan a la boquilla en cuestión.
2. Ajustar las presiones de los gases con las válvulas abiertas.
3. Usar el manómetro de comprobación.
4. Para ajustar la llama de calentamiento: abrir del todo la válvula del oxígeno de combustión en el soplete.
5. Abrir un poco la válvula de acetileno.
6. Encender la mezcla

7. Ajustar en primer lugar el sobrante de acetileno.
8. Reducir el gas combustible hasta obtener una llama neutra.
9. Abrir la válvula de oxígeno de corte y corregir si es necesario.

Para iniciar el corte

1. Elegir el sentido de corte de tal forma que los recortes puedan separarse solos.
2. Señalar el paso de la boquilla.
3. Iniciar practicando un agujero.
4. Recorrer por la seña a una velocidad moderada observando que se está cortando el metal.
5. Usar un martillo si es necesario para remover la pieza cortada.

Precauciones una vez finalizado el trabajo

1. Cerrar la válvula del oxígeno del soplete.
2. Cerrar la válvula del acetileno del soplete.
3. Cerrar las válvulas de la botella.
4. Abra las válvulas del soplete hasta que las agujas indicadoras de presión de los manoreductores estén en cero y cierre las válvulas del soplete.
5. Desenroscar los volantes de regulación de presión de los manoreductores para cerrar los reguladores.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Analizar el corte realizado, con fotografías y comentarios.

CONCLUSIONES

Establecer conclusiones de esta práctica.

3.7. CORTE CON PLASMA

3.7.1. Familiarización de Equipos y Parámetros de operación

FIMCP
LABORATORIO DE SOLDADURA
GUIA DE PRACTICA No. 9

TITULO

Familiarización de Equipos y Parámetros de operación.

OBJETIVO

1. Conocer e identificar los equipos para Corte con Plasma.
2. Aprender a manejar el equipo de Corte con Plasma
3. Realizar algunos cortes con las medidas de seguridad.

BREVE INTRODUCCIÓN TEORICA

Se puede observar la teoría en la sección 3.7 “Corte con Plasma”.

Como dato adicional se encuentra la siguientes tablas que indican condiciones típicas para corte con plasma.

TABLA 10

Condiciones Típicas de Corte con Plasma en Aceros Inoxidables

Espesor		Velocidad		Diámetro de orificio		Corriente	Energía
mm.	pulgadas	mm./S	Pulg/min.	mm.	pulgadas	Amperaje	kW
6	¼	86	200	3.2	1/8	300	45
13	½	42	100	3.2	1/8	300	45
25	1	21	50	4.0	5/32	400	60
51	2	9	20	4.8	3/16	500	100
76	3	7	16	4.8	3/16	500	100
102	4	3	8	4.8	3/16	500	100

TABLA 11

Condiciones Típicas de Corte con Plasma en Aceros al Carbono

Espesor		Velocidad		Diámetro de orificio		Corriente	Energía
mm.	pulgadas	mm/S	Pulg/min	mm.	pulgadas	Amperaje	kW
6	¼	86	200	3.2	1/8	275	40
13	½	42	100	3.2	1/8	275	40
25	1	21	50	4.0	5/32	425	64
51	2	9	20	4.8	3/16	550	110

PROCEDIMIENTO EXPERIMENTALRecomendaciones de seguridad previo a cualquier procedimientode corte con plasma:

Buscar los siguientes elementos

1. Compresor de aire limpio, sin agua ni aceite.
2. Presiones de aires correctas. Esto se lo puede verificar con los manómetros colocados en la unidad.

3. Observar que la boquilla y el electrodo estén colocados correctamente.
4. Observar que exista una adecuada ventilación en el lugar de trabajo.
5. Observar que no exista ningún líquido inflamable cerca del lugar de trabajo.

Para realizar el trabajo de corte tener en cuenta los siguientes parámetros de seguridad

1. Utilizar protección de ojos y cuerpo adecuada.
2. No tocar la boquilla con la pieza de trabajo. Si es que lo hace va a reducir enormemente la vida útil de la boquilla.
3. El corte normalmente se lo debería comenzar hacer en un ángulo de 60° con la horizontal para después rotarlo hasta 90° con la horizontal. Esto permitirá que el metal sea cortado alejándose del metal.
4. Corte con una velocidad apropiada. Los cortes que se efectúan o muy lentos o muy rápidos producen una calidad de corte mediocre.

5. Regule la corriente al máximo para después ir disminuyendo.
6. Mantenga una distancia constante. Se recomienda de 3/16" a 1/8" desde la boquilla a la pieza de trabajo.

Para iniciar el corte

1. Colocar la boquilla en la esquina del metal donde se desea cortar a una distancia recomendada anteriormente.
2. Presionar el gatillo. Después de dos segundos de un flujo de aire, el arco piloto comienza.
3. Cuando el arco de corte empieza, mover la antorcha a través del metal.
4. Ajuste la velocidad de corte para que las chispas atraviesen el metal y se puedan observar estas chispas abajo del corte.
5. En el final del corte, realice un cambio en la orientación de la antorcha para que se pueda retirar el metal correctamente.
6. Para enfriar la antorcha, aire continúa saliendo por 20 ó 30 segundos después que haya sacado el dedo del gatillo. Si es que aprieta el gatillo durante el flujo de enfriado, el arco comienza de nuevo.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Analizar el corte realizado, con fotografías y comentarios.

CONCLUSIONES

Establecer conclusiones de esta práctica.

CAPITULO 4

4. APLICACIÓN DE MÉTODOS COMPUTACIONALES DE SOLDADURA

4.1. Flujo de Calor

Este es un programa que fue desarrollado por Hsing-Sen Steven Hsiao y fue arreglado por el Ing. Nelson Guim. Sirve para la medición de la distribución de temperatura de una placa calentada bajo una fuente de calor puntual en movimiento a lo largo de la línea central en la dirección x. La dirección z es a través del espesor de la placa. El campo de temperatura, en estado casi-estacionario es calculado usando la teoría de la fuente puntual.

Se puede escoger un análisis en dos o tres dimensiones. Para dos dimensiones la placa sería relativamente delgada y de esta

manera el campo de temperatura en todos los planos x-y a través de la placa es el mismo.

Un sistema de red es usado para obtener la temperatura en cada nodo. En caso de que el usuario no especifique las divisiones de la red, el programa usará un formato general ya establecido, lo cual afecta el tamaño de la piletta soldada mostrado en el gráfico. Sin embargo si esta ocupa demasiado espacio, usted puede incrementar las dimensiones de la red para tener una mejor visualización del campo de distribución de temperatura en la placa que está siendo soldada.

El centro del arco está localizado en la división 11 a lo largo del eje x. Dado que el campo de temperatura es simétrico sobre el cordón de soldadura, sólo la distribución en un lado de la misma es graficada y el eje x es la línea central de la placa.

El sistema de red usado en este programa es 15 x 15 x 10, es decir 16 nodos a lo largo de los ejes x e y, 11 nodos a lo largo del eje z. El eje y es medido a partir del eje central del cordón de soldadura hasta el extremo de la placa, desde el nodo 1 hasta el

nodo 16. El eje z es medido desde la superficie hasta el fondo de la placa. Luego, el nodo 1 será en la superficie de la placa y el nodo 11 en el fondo de la misma.

Los estudiantes van a utilizar este programa con un ejemplo muy práctico y también real.

PROBLEMA 1

Una plancha de acero es soldada a una velocidad de 0.2 cm/seg. y el calor transferido es 1000 cal/seg.

El material está inicialmente a 25°C, y tiene una temperatura de fusión de 1500°C. La conductividad térmica es 0.117 cm²/seg.

Use el programa de computación “Flujo de Calor” para calcular y graficar la distribución de temperatura en los siguientes casos:

(discuta resultados)

- En la superficie y en el fondo de una plancha de 5 cm. De espesor (3-D)
- En la superficie de una plancha de 0.5 cm. De espesor (2-D)

En la siguiente ventana se describen las dimensiones del gráfico.

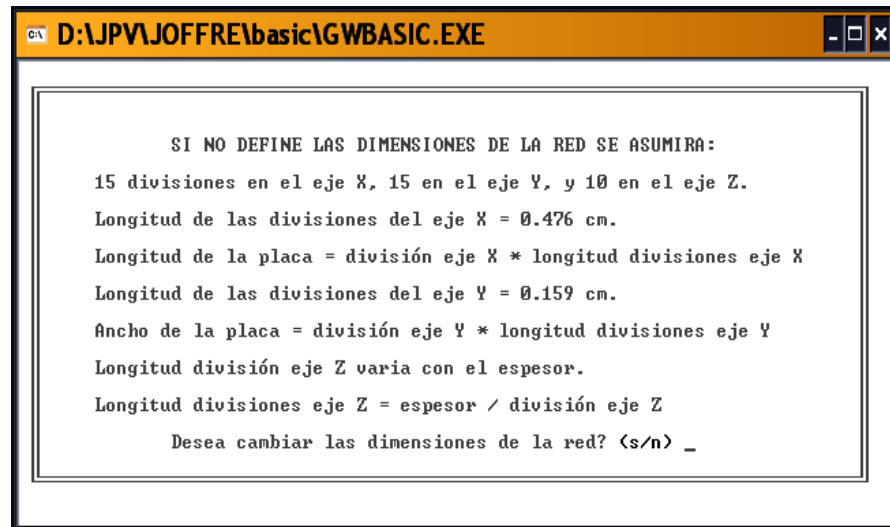


Figura 4.1.1 Ventana de dimensiones de Software Flujo de Calor

En la siguiente ventana se especifica el espesor de la placa y la velocidad de soldadura, luego le pide que confirme los datos:

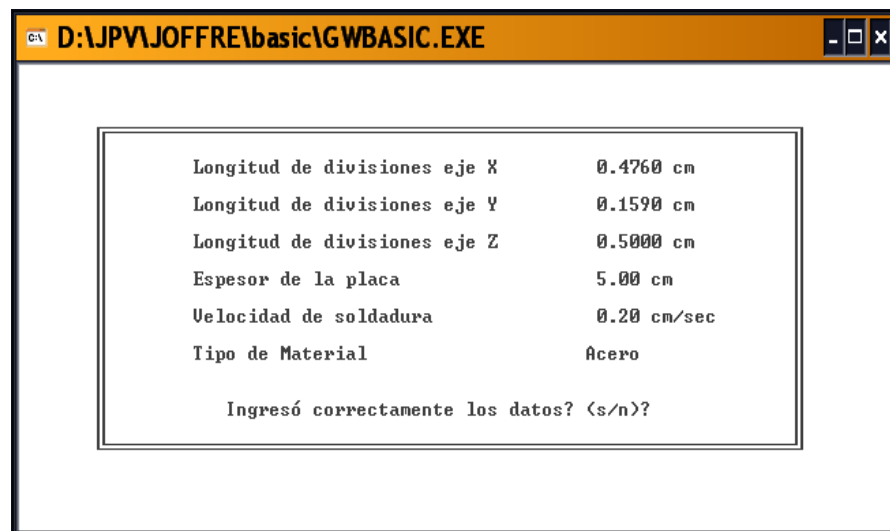


Figura 4.1.2 Ventana de confirmación de primeros datos de Software Flujo de Calor

Luego se sigue introduciendo los otros valores:

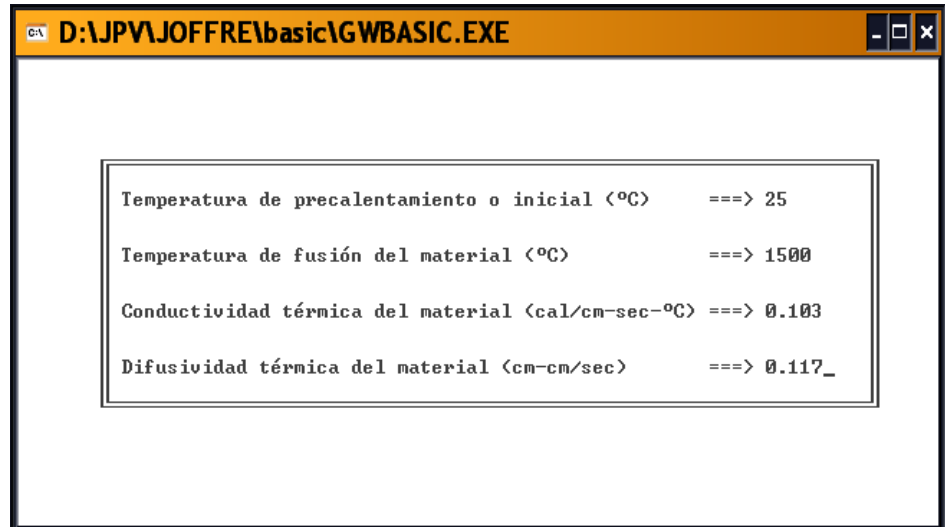


Figura 4.1.3 Ventana de confirmación de otros datos de Software Flujo de Calor

La siguiente ventana es para ver que tipo de calor se le está suministrando a la placa y su valor.

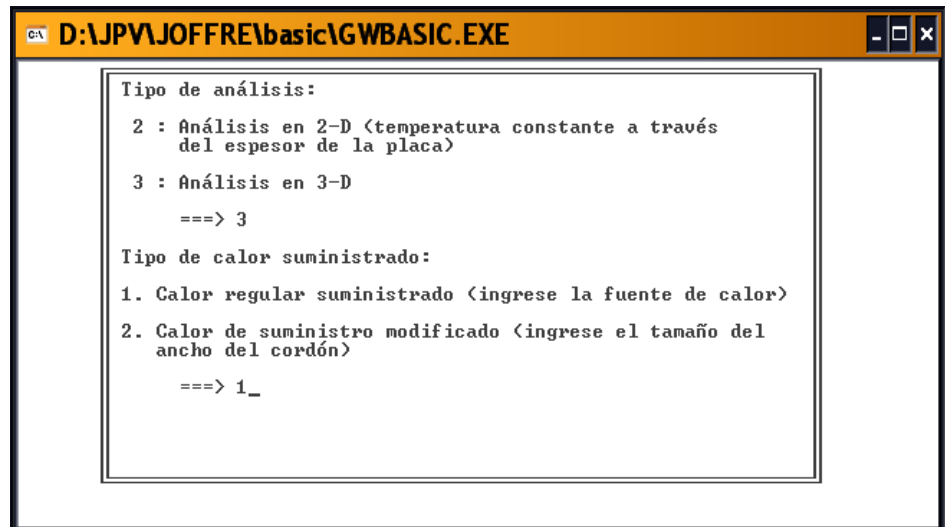


Figura 4.1.4 Ventana de ingreso de qué tipo de calor suministrado se desea en Software Flujo de Calor

A continuación se encuentra una ventana que es para confirmar los datos introducidos.

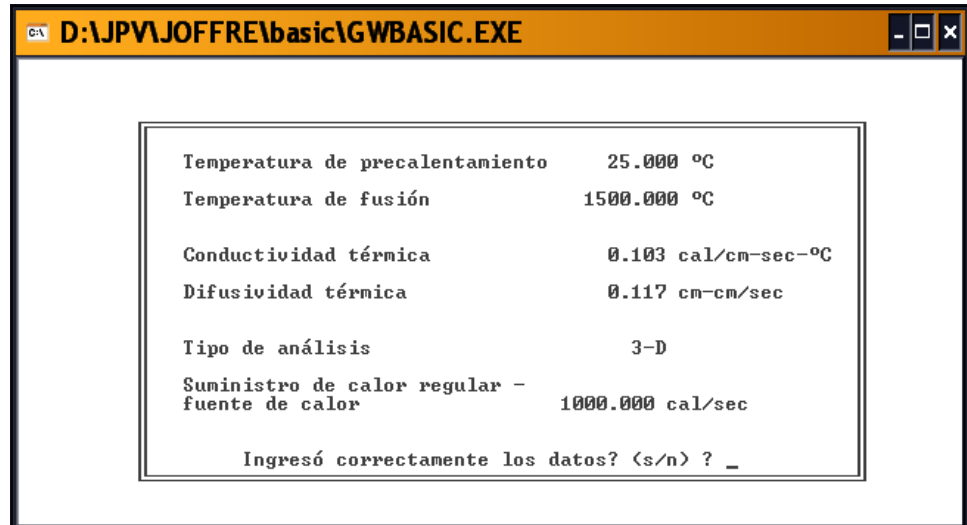


Figura 4.1.5 Ventana de confirmación de últimos datos en Software Flujo de Calor

Cuando se pide encontrar los resultados se obtiene la distribución de la temperatura en la placa,

Z-Nodo	IZ = 1	z = 0.000 cm	IY	YY (cm)	Temp. Max (°C)	IIV	W (cm)
1	0.000	1500.000	2	0.953			
2	0.159	1500.000	2	0.953			
3	0.318	1500.000	1	0.476			
4	0.476	1500.000	1	0.476			
5	0.635	1500.000	1	0.476			
6	0.794	1161.957	1	0.476			
7	0.953	902.390	1	0.476			
8	1.111	708.308	1	0.476			
9	1.270	590.789	2	0.953			
10	1.429	493.226	2	0.953			
11	1.588	420.524	3	1.429			
12	1.746	362.780	3	1.429			
13	1.905	317.413	4	1.905			
14	2.064	279.366	4	1.905			
15	2.222	249.645	5	2.381			
16	2.381	224.188	6	2.858			

Figura 4.1.6 Ventana de Resultados numéricos de Software Flujo de Calor

Los estudiantes van a utilizar este programa con un ejemplo muy práctico y también real.

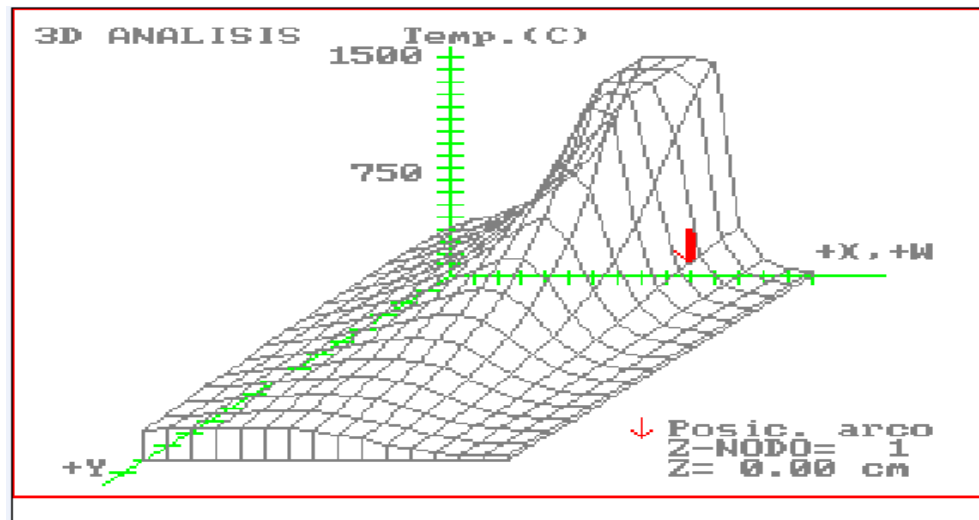


Figura 4.1.7 Ventana de Resultados Gráficos de Software Flujo de Calor

En el gráfico anterior se analiza la distribución de temperatura en la superficie de la plancha

4.2. Mecánica de la Fractura

Existe otro programa que nos ayuda a calcular el factor de intensidad de esfuerzos en distintos casos. Nosotros vamos a analizar algunos casos comunes como por ejemplo:

1. Fisura en el centro de una plancha de ancho infinito y finito.
2. Fisuras en los bordes de una plancha de ancho finito.
3. Fisura en un borde de una plancha de ancho finito.
4. Fisura transversal a una soldadura en presencia de esfuerzo residual.

El programa se llama "STRESS INTENSITY FACTORS" y fue escrito por Hsing-Sen Steven Hsiao en 1986. Lo que se pretende con este programa es hacer una comparación con los resultados obtenidos con este método gráfico con el método analítico en el cual se utilizan fórmulas dadas por teorías de diseño mecánico. A continuación se mostrará cómo se utiliza el programa.

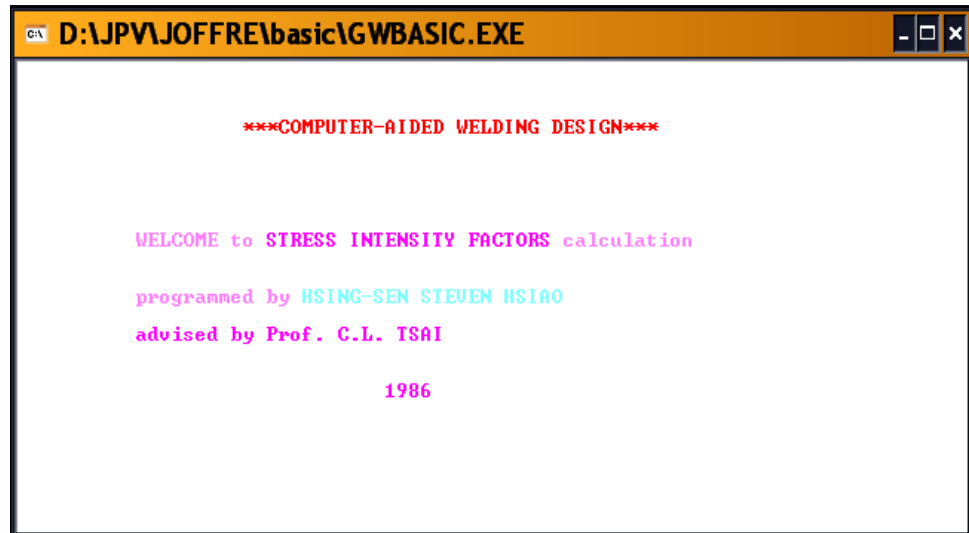


Figura 4.2.1 Ventana de Inicio del programa Factor de Intensidad de Esfuerzos

La siguiente ventana es para escoger las opciones.

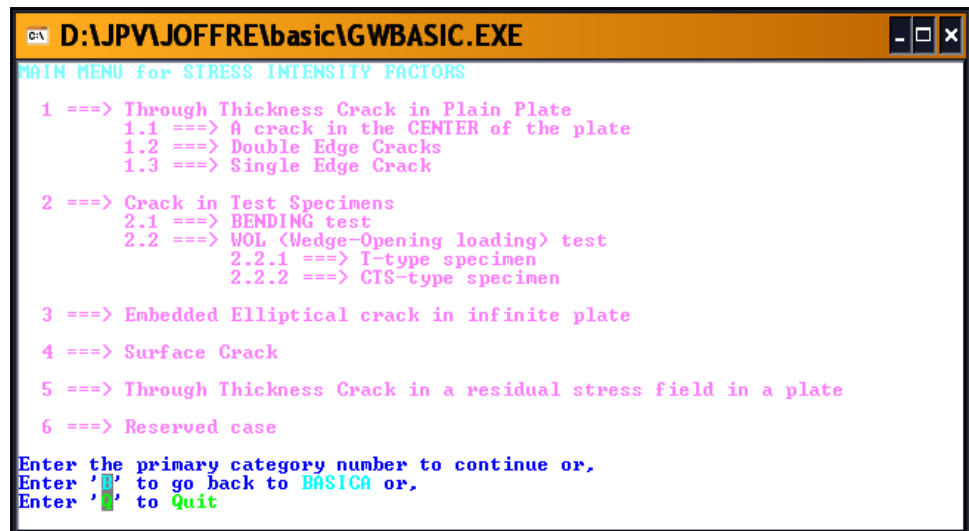
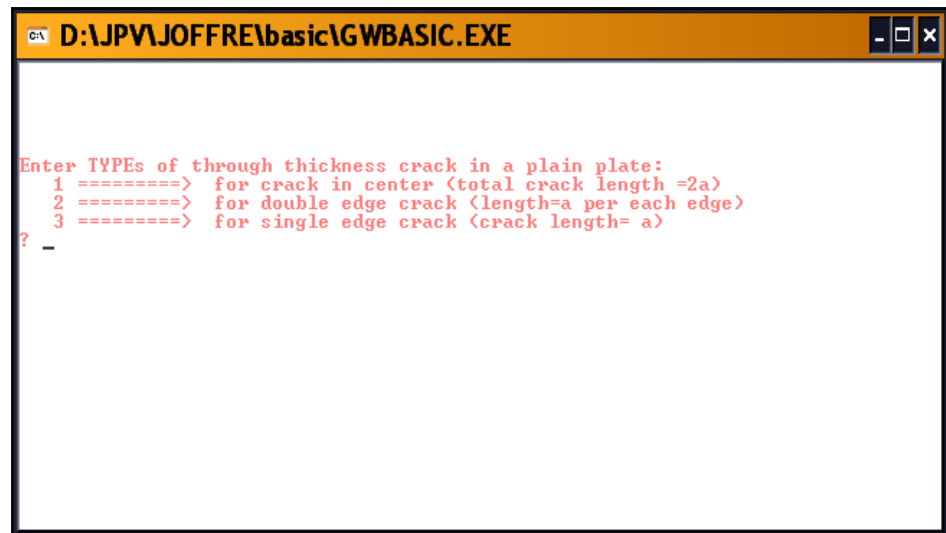


Figura 4.2.2 Ventana del programa Factor de Intensidad de Esfuerzos en la cual muestra las opciones

Para el primer caso, se escoge el número 1. Luego de lo cual, automáticamente aparece otra ventana.



```
D:\JPV\JOFFRE\basic\GW BASIC.EXE

Enter TYPEs of through thickness crack in a plain plate:
1 =====> for crack in center (total crack length =2a)
2 =====> for double edge crack (length=a per each edge)
3 =====> for single edge crack (crack length= a)
? -
```

Figura 4.2.3 Ventana del programa Factor de Intensidad de Esfuerzos para determinar qué tipo de fisura se requiere analizar

Como lo que queremos analizar es la fisura en el centro de la plancha entonces se vuelve a escoger la opción número 1. Cuando se hace esto, aparece en la siguiente ventana un gráfico que analiza distintas relaciones entre el semi ancho de la fractura (en el gráfico corresponde a la letra “a”) y el ancho de la plancha (en el gráfico corresponde a la letra “b”).

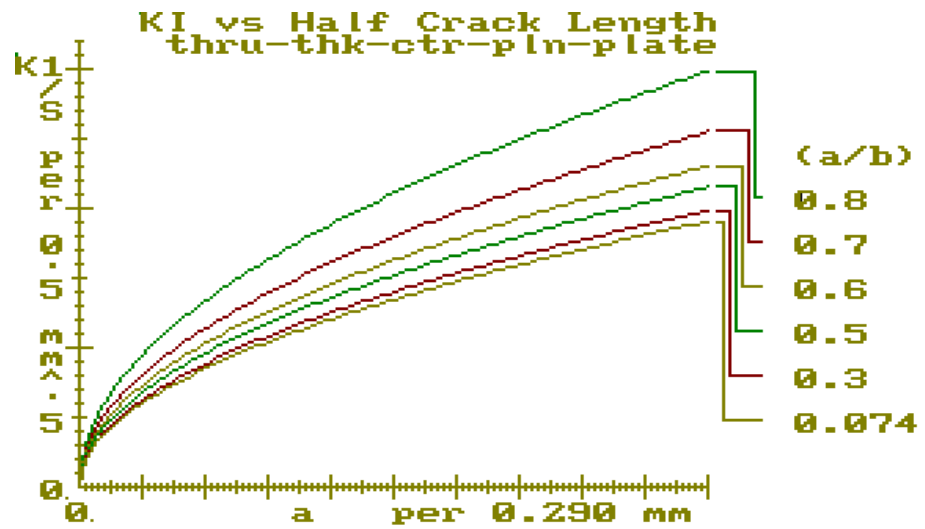
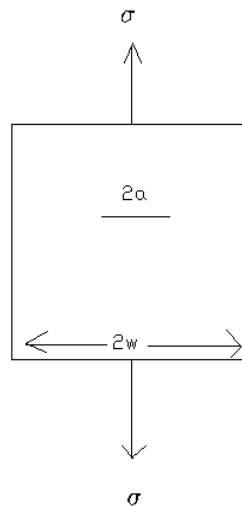


Figura 4.2.4 Gráfico para calcular el factor de intensidad de esfuerzos con una fisura en el centro de una plancha



En este gráfico se pueden observar diversas curvas. Para destacar, la primera curva que es la de la relación $a/b = 0.074$ es

para placas infinitas. En el eje de las abscisas, es donde se encuentra la medida del semi-ancho de la fisura, las divisiones son de 0.290 mm. En cambio en las ejes de las ordenadas la división es de $0.5 \sqrt{mm}$. Se comienza a analizar cada gráfico y se lo compara con los resultados de las fórmulas dando como resultado para cada literal expuesto anteriormente, como sigue:

Literal 1: Fisura en el centro de una plancha de ancho infinito y finito.

Se escoge la última curva donde la relación entre $a/b = 0.074$. Entonces le damos valores a la letra “a” y por facilidad se escogen las divisiones con múltiplos de 10 en las abscisas. Cada división es 0.290 mm. Los valores a relacionar son 2.90, 5.80, 11.60, 29.00.

A	b
2,90	39,19
5,80	78,38
11,60	156,76
29,00	391,89

Para una placa de ancho infinito las teorías de diseño han llegado a la conclusión de una fórmula, la cual es la siguiente:

$$\frac{K_I}{\sigma} = \sqrt{\pi a}$$

Los resultados son como sigue:

a	Resultados por cálculos	Resultados por gráfico
2,90	3,02	3
5,80	4,27	4,4
11,60	6,04	6
29,00	9,54	9,5

Los resultados por gráfico se los obtuvieron utilizando la curva que indica $a/b = 0.074$

Para una placa finita se tiene otra ecuación para calcular el factor de intensidad de esfuerzo la cual es la siguiente:

$$\frac{K_I}{\sigma} = \sqrt{\frac{2b}{\pi a} \tan\left(\frac{\pi a}{2b}\right) \sqrt{\pi a}}, \text{ en donde } b \text{ es el ancho de la placa.}$$

En este caso de placa finita cogemos cualquier curva, por ejemplo podemos coger la curva de la relación $a/b = 0.7$. Con esta relación se determina los nuevos valores de b

A	b
2,90	39,19
5,80	78,38
11,60	156,76
29,00	391,89

Se aplica la ecuación para placas infinitas como sigue:

$\frac{K_I}{\sigma} = \sqrt{\pi a}$, y se compara los resultados gráficos y analíticos:

a	Resultados analíticos	Resultados gráficos
2,90	3,02	4
5,80	4,27	5,7
11,60	6,04	8
29,00	9,54	12,75

Cuando la placa es finita se usa la otra ecuación antes descrita:

a	Resultados analíticos	Resultados gráficos
2,90	4,03	4
5,80	5,70	5,7
11,60	8,07	8
29,00	12,75	12,75

$\frac{K_I}{\sigma} = \sqrt{\frac{2b}{\pi a} \tan\left(\frac{\pi a}{2b}\right) \sqrt{\pi a}}$, y se compara los resultados:

CONCLUSIONES:

Se puede observar varios aspectos en este programa:

1. Cuando se quiera analizar una plancha de ancho infinito se tiene que escoger la curva que tiene como relación $a/b = 0,074$.

2. Para planchas infinitas este método gráfico no funcionó en todos los casos, esto quiere decir que sólo funciona cuando se utiliza la curva de relación $a/b = 0.074$
3. Para planchas finitas los resultados fueron muy buenos y se puede utilizar el método gráfico para todas las relaciones

Literal 2: Fisuras en los bordes de una plancha de ancho finito

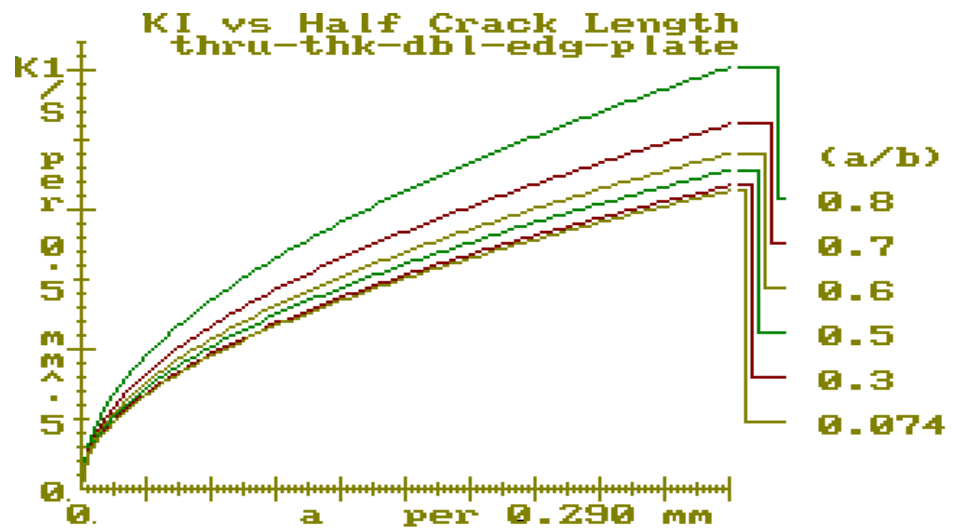
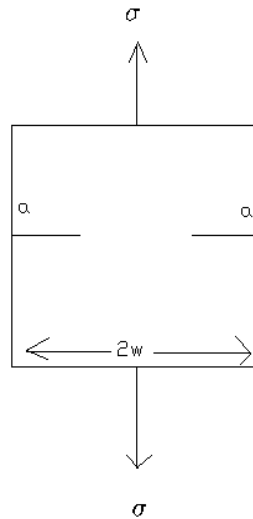


Figura 4.2.5 Gráfico para calcular el factor de intensidad de esfuerzos con fisuras en los bordes de una plancha de ancho finito

Para hacer el mismo análisis del literal 1, se tiene que tomar en cuenta que la fórmula que se utiliza para este caso es diferente:

$$\frac{K_I}{\sigma} = 1.12\sqrt{\pi a}$$



Hay que tomar en cuenta que como pudimos observar en el primer literal, cuando queremos analizar placas finitas, sólo se debe utilizar la curva que tiene como relación $a/b = 0,074$.

Utilizando esta relación se obtienen los valores de b (ancho de placa)

A	b
2,90	39,19
5,80	78,38
11,60	156,76
29,00	391,89

Ahora se va utilizar la primera ecuación y se va a utilizar el gráfico para hacer una comparación de resultados.

Los resultados gráficos se lo obtuvieron usando líneas rectas y multiplicando el número de divisiones por el factor de cada eje.

CONCLUSION:

Como se vio en el literal anterior, este método gráfico es muy útil y si sirve cuando se utiliza en placas finitas con el gráfico con la

a	B	Resultados analíticos	Resultados gráficos
2,90	39,19	3,38	3,40
5,80	78,38	4,78	4,70
11,60	156,76	6,76	6,75
29,00	391,89	10,69	10,50

relación $a/b = 0.074$.

Literal 3: Fisura en un borde de una plancha de ancho finito

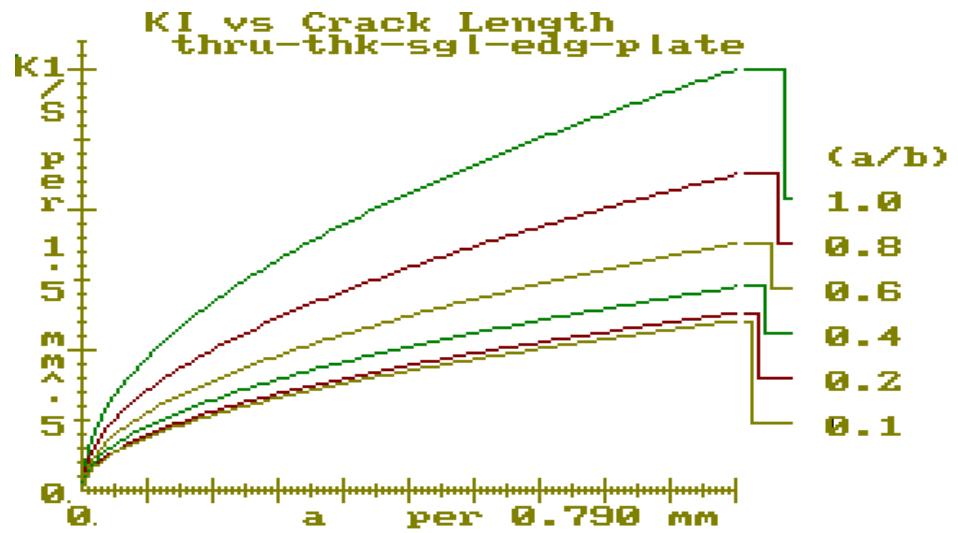
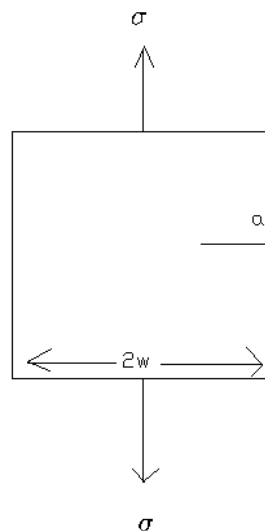


Figura 4.2.6 Gráfico para calcular el factor de intensidad de esfuerzos con fisuras en un borde de una plancha de ancho

finito



En este caso, la ecuación que se utiliza para obtener el factor de intensidad de esfuerzos es el siguiente:

$$\frac{K_I}{\sigma} = f\left(\frac{a}{b}\right)\sqrt{\pi a}, \text{ en donde esta función se la puede describir con}$$

una ecuación como sigue:

$$f\left(\frac{a}{b}\right) = 1.12 - 0.231\left(\frac{a}{b}\right) + 10.55\left(\frac{a}{b}\right)^2 - 21.72\left(\frac{a}{b}\right)^3 + 30.39\left(\frac{a}{b}\right)^4$$

Se aplica esta ecuación y se calculan los valores como sigue:

a/b	f(a/b)
0,1	1,15
0,2	1,21
0,4	1,38
0,8	2,14

Con estos valores se regresa a la ecuación original para comparar el método gráfico y el método analítico.

Además se utiliza las relaciones que se encuentran en los gráficos para poder calcular el valor de b como sigue:

a	a/b	b
7,9	0,1	79
15,8	0,2	79
31,6	0,4	79
79	0,8	99

Entonces se obtiene los resultados con la ecuación principal como

sigue:

$\frac{K_I}{\sigma} = f\left(\frac{a}{b}\right)\sqrt{\pi a}$, y se la compara con los resultados obtenidos del

gráfico.

Resultados analíticos	Resultados gráficos
5,72	5,85
8,52	8,85
13,74	13,5
33,71	33

Literal 4: Fisura transversal a una soldadura en presencia de esfuerzo residual.

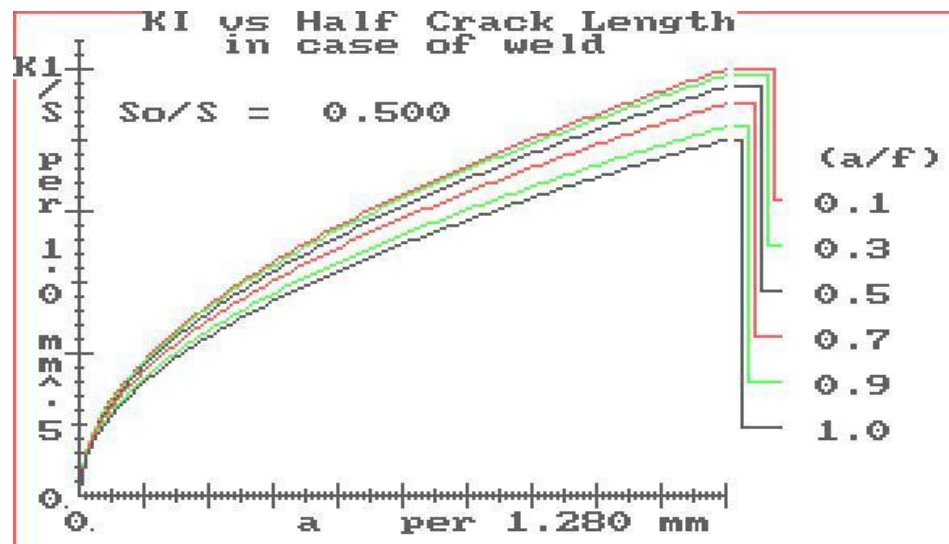
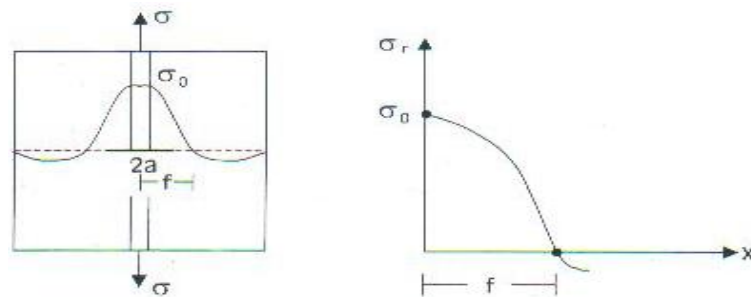


Figura 4.2.7 Gráfico para calcular el factor de intensidad de esfuerzo de una Fisura transversal a una soldadura en presencia de esfuerzo residual.



En este caso se necesita resolver la siguiente ecuación para obtener el factor de intensidad de esfuerzos:

$$\frac{K_I}{\sigma} = \left\{ 1 + \frac{1}{2} \left[1 - \frac{1}{2} \left(\frac{1}{2} \right)^2 \right] \right\} \sqrt{\pi a} = \frac{23}{16} \sqrt{\pi a}$$

Aquí, de igual manera se utilizan valores fáciles de manejar en el gráfico. Como cada división es de 1.280 mm., se escogieron los siguientes valores para a: 12.8, 25.6, 51.2, 128

a	Resultados analíticos	Resultados gráficos
12,8	9,12	9,2
25,6	12,89	12,5
51,2	18,23	18
128	28,83	29

CONCLUSION:

Este método se puede aplicar ya que los resultados analíticos y gráficos fueron muy similares.

4.3. Costos de Soldadura

Se desarrolló un software interactivo para disminuir el tiempo de cálculo cuando se requiere saber el costo de una determinada soldadura. El software está escrito en lenguaje de Visual Basic y está basado en tablas que contienen toda la información para

poder realizar los cálculos. Para poder realizar estos cálculos se tiene que identificar ciertas variables con sus respectivas representaciones. A continuación se detalla aquello:

A = AMPERIOS

C = PESO ESPECIFICO DEL METAL (Kg. /m³)

D = TASA DE DEPOSICION (Kg. /hr)

F = FLUJO DE GAS (m³/hr)

G = COSTO UNITARIO DE GAS (\$ / m³)

E = EFICIENCIA DE DEPOSICION (%)

K = FACTOR DE OPERACIÓN (%)

L = COSTO DE MANO DE OBRA (\$ / hr)

M = COSTO DE MATERIALES CONSUMIBLES (\$ / Kg.)

N = LONGITUD DE SOLDADURA (m)

O = COSTOS INDIRECTOS (OVERHEAD) (\$ / hr)

P = COSTO DE ENERGIA (\$/ Kwh.)

S = AREA DE SECCION TRANSVERSAL DE SOLDADURA (mm²)

T = TIEMPO TOTAL DE SOLDADURA (hr)

V = VOLTIOS

W = PESO TOTAL DE METAL SOLDADO (Kg.)

Tasa de deposición (Kg. /hr) (D): Es el peso del metal de aporte que se puede depositar en la soldadura en una hora. Este número depende del diámetro y tipo de electrodo, del amperaje que se utilice en el proceso.

Eficiencia de deposición (%) (E): Es el ratio entre el peso neto del metal de aporte depositado respecto al peso total del metal de aporte consumido. El peso total de metal de aporte consumido incluye las pérdidas por vaporización y chisporroteo, desechos de residuos de electrodo.

Factor de operación (%) (K): Es el ratio entre el tiempo verdadero que se está soldando versus el tiempo en total de trabajo. El tiempo total de trabajo es el tiempo en que el soldador se demora entre el posicionamiento de la pieza, el cambio de electrodo, cualquier ajuste que se le puede dar al equipo, la limpieza de escoria, el descanso que hacen entre soldadura, cualquier inspección, etc. Este número está usualmente en un rango entre 0.2 y 0.6. Puede incrementarse si se utiliza un procedimiento automatizado y disminuir si se suelda en sitio de operación.

A continuación se dará un pequeño resumen acerca de la utilización de este software. Con las abreviaciones que se describen arriba se va a trabajar con mayor facilidad y se entenderá de mejor manera los resultados.

Además se presenta un ejemplo para mayor facilidad de entendimiento de la aplicación de este programa.

EJEMPLO:

Usted tiene como objetivo calcular cuánto le va a costar un proceso de soldadura al encargado de una obra. La obra se trata de hacer una rampa para que pueda pasar una volqueta sobre una zanja que se encuentra entre una construcción y la carretera. UD. Midió el ancho de las volquetas y resultó que tenían un ancho de 4.5 metros. La zanja tiene un ancho de 8 metros. Las planchas de Acero A36 de sección rectangular que se tiene a disposición tienen las siguientes dimensiones: 2 metros de largo, 6 metros de ancho y una pulgada de espesor. El ingeniero encargado del diseño ha decidido que necesita un bisel en “V sin raíz” con un ángulo de no más de 15° y con un refuerzo que no sobrepase los $3/16$ ” de altura y un ancho de $1/2$ ”. En cuestión a costo de mano de obra e

indirectos se ha estimado la hora en \$8.50 y el costo de los electrodos en \$1,00 cada kilogramo. Amperaje: 310 amperios, 28 voltios. El electrodo recubierto es de $\frac{1}{4}$ " de diámetro y es en base a Titanio-Potasio (0 – 10% de Polvo de Hierro) y se concluye después de realizar los cálculos correspondientes de diseño que por lo menos se necesita una resistencia de tensión de 55000 PSI.

¿Cuál es el costo total de este proyecto de soldadura.

Se presenta la ventana inicial:

COSTOS DE SOLDADURA ...

Ingreso de Datos (1)

Proceso :

----- :

Diámetro : Amperaje :

Parámetros de Soldadura

Voltaje (V) :

Flujo de Gas (m³/hr) :

Longitud de Soldadura (m) :

Filete Lados Iguales
 Bisel Sencillo
 "V" Simple
 Doble "V"
 Bisel Doble
 "V" Simple sin Raíz
 Refuerzo

Siguiete

Figura 4.3.1 Ventana inicial de “Costos de Soldadura”

En esta ventana se puede escoger el proceso que uno desee. En la siguiente línea aparecerá una opción que va a depender del proceso y se activará en el momento que se escoja uno. En el caso del proceso de SMAW aparecerán los distintos electrodos que se encuentren en el programa. Además se podrá escoger el diámetro del electrodo o del alambre y luego el amperaje. Luego

de esto se escogerá el voltaje y el flujo de calor. Por último se podrá incluir la longitud de soldadura.

COSTOS DE SOLDADURA ...

Ingreso de Datos (1)

Proceso : SMAW

Electrodo : E 6013

Diámetro : 1 / 4" Amperaje : 310

Parámetros de Soldadura

Voltaje (V) : 28,00

Flujo de Gas (m³/hr) :

Longitud de Soldadura (m) : 24,00

Filete Lados Iguales

Bisel Sencillo

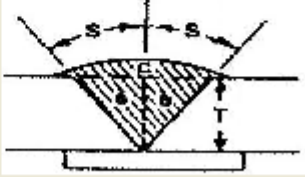
"V" Simple

Doble "V"

Bisel Doble

"V" Simple sin Raíz

Refuerzo



Siguiente

Figura 4.3.2 Selección del proceso

Luego que se ha escogido todos los parámetros que uno requiera se podrá observar las diferentes opciones que se tienen para escoger el área de soldadura. Aparecen las diferentes opciones, y

con sólo escoger cualquiera de ellas aparece al lado derecho una figura que la representa.

The image shows a software dialog box titled "COSTOS DE SOLDADURA ...". It contains a section for "Ingreso de Datos (2)" with a "Tipo de Unión" (Weld Type) dropdown menu. Three options are visible: "A" (a square icon), "B" (a triangle icon), and "C" (a semi-circle icon). Below each option are input fields for various parameters:

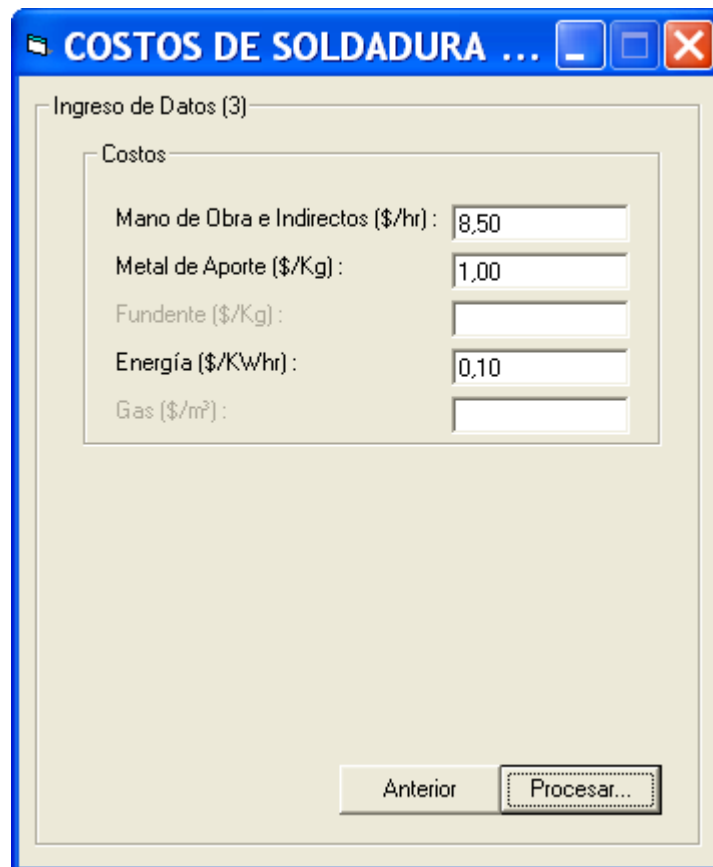
Parameter	Value
# Áreas A :	0
T (pulg) :	1/8
G (pulg) :	1/16"
# Áreas B :	2
T (pulg) :	1
S (grados) :	15°
# Áreas C :	1
T (pulg) :	1/2
H (pulg) :	3/16"

At the bottom of the dialog are two buttons: "Anterior" and "Siguiete".

Figura 4.3.3 Área de Soldadura

Luego aparece otra venta que indica el número de áreas por diferente forma geométrica que se puede aproximar al área de soldadura.

Luego de esto se procede a hacer clic en “Siguiete” y se podrá observar otra venta que indica los diferentes precios de algunos parámetros.



The screenshot shows a software window titled "COSTOS DE SOLDADURA ..." with a blue title bar. The window contains a form titled "Ingreso de Datos (3)" with a sub-section "Costos". The form has five input fields with the following labels and values:

Label	Value
Mano de Obra e Indirectos (\$/hr) :	8,50
Metal de Aporte (\$/Kg) :	1,00
Fundente (\$/Kg) :	
Energía (\$/KWhr) :	0,10
Gas (\$/m³) :	

At the bottom of the form, there are two buttons: "Anterior" and "Procesar...".

Figura 4.3.4 Costos Varios antes de procesar información

Se puede poner los precios de la “MANO DE OBRA E INDIRECTOS, METAL DE APORTE, FUNDENTE, ENERGIA y GAS”. Hay que decir que el programa evita que haya errores ya

que bloquea las casillas que no corresponden a la soldadura escogida al principio. Por ejemplo, en este caso se escogió SMAW y entonces se encuentran deshabilitados tanto el valor del “FUNDENTE” así como el de “GAS”. Se hace clic en “Procesar..”.

A continuación se encuentra la siguiente ventana como sigue:

The screenshot shows a software window titled "RESULTADOS" with a list of 12 items, each with a numerical value in a text box and a corresponding formula. At the bottom, there are three buttons: "Siglas", "Nuevo Proceso", and "Salir". A small text note at the bottom left reads "Elaborado por Joffre Farcés Verduga".

Item	Value	Formula
1. Peso Total del Metal Soldado M (Kg) :	40,15	[Area(s) A + Area(s) B + Area(s) C] x N x C
2. Gas (\$/Kg) :	0,00	(G x F) / D
3. Energía (\$/Kg) :	0,29	(P x V x A) / (1000 x D)
4. Materiales Consumibles (\$/Kg) :	1,54	(Ma / E) + (Mf / E)
5. Mano de Obra & Indirectos (\$/Kg) :	9,60	(L + O) / (D x K)
6. Costo Total por Peso (\$/Kg) :	11,43	Suma 2. a 5.
7. Costo por Longitud de Soldadura (\$/m) :	19,12	(6. x W) / N
8. Costo Total de Soldadura (\$) :	458,88	6. x W ó 7. x N
9. Tiempo Total de Soldadura (hr) :	45	W / (D x K)
10. Total de Metal Aporte Requerido (Kg) :	61,77	W / E
11. Total de Fundente Requerido (Kg) :	0,00	(1.5 x W) / E
12. Total de Gas Requerido (m³) :	0,00	(F x T) / E

Elaborado por Joffre Farcés Verduga

Siglas Nuevo Proceso Salir

Figura 4.3.5 Ventana de Resultados

Como se observa, se encontrará todos los resultados que uno requiere. Además se podrá observar las fórmulas que se utilizan para el cálculo de cada una de ellas.

CAPITULO 5

5. DISCUSION DE RESULTADOS

Los resultados de esta tesis son todas las prácticas que se realizaron para que los estudiantes puedan tener una idea más clara de lo que se le dicta en clase. Además en estas prácticas se va a tratar que el estudiante se motive en utilizar algunos equipos de soldadura para hacer unos cordones.

Por otro lado, el estudiante realizará estudios ingenieriles, los cuales ayudarán a comprender ciertos fenómenos y comportamientos macro y microscópicos de la soldadura. Estos estudios se basarán en la variación de parámetros como el voltaje, el amperaje y la velocidad de soldadura para analizar diferentes características de cada soldadura como el ancho del cordón de soldadura, la penetración, la dilución, etc.

En las dos primeras prácticas se trató que el estudiante tenga conocimiento de algunas normas que usualmente se utilizan en la fabricación y diseño de soldadura. En la primera práctica se instó al estudiante a llenar un

Procedimiento de Soldadura según API 1104 para luego motivar al estudiante para que haga unos cordones con diferentes posiciones siguiendo la norma ASME.

En la práctica de GMAW se hizo un análisis del efecto al usar diferentes tipos de gases protectores. Estos efectos se vieron reflejados en ciertas características de los cordones y se lo logró utilizando los mismos parámetros de amperaje, voltaje y velocidad de soldadura pero variando el tipo de gas. Estos efectos se vieron reflejados en ciertas características del cordón como la penetración, la dilución, el ancho de la ZAC y el ancho del cordón.

En la práctica de GTAW se estudiaron dos efectos muy particulares de la soldadura: la solidificación y la sensitización. Se tomaron fotos en la microestructura para poder analizar cómo se precipitaban los carburos en los bordes de grano. Además se tomaron algunas fotos en los cordones para observar la forma de charco en que se solidificaba, ya sea en forma de gota o elíptica.

En la práctica de FCAW, se hizo un estudio de comparación de la manera de proteger a la soldadura en este proceso. Para esto se utilizaron los mismos parámetros de amperaje y voltaje pero cambiando el tipo de protección: con gas externo y con alambre autoprotegido. Se estudiaron las relaciones entre

estos parámetros y ciertas características del cordón como la dilución, la penetración, el ancho de la ZAC y el ancho del cordón.

En la práctica de SAW, se variaron los parámetros de voltaje, amperaje y velocidad de soldadura para poder analizar el efecto de esta variación en la dilución, la penetración, el ancho de la ZAC y el ancho del cordón. Las microestructuras que fueron preparadas con Nital al 3%.

Las únicas prácticas que no se realizaron en este trabajo de tesis fueron: Corte con plasma, Corte oxiacetilénico y la del capítulo 3.3.2 “Medición de la Distribución de temperaturas durante el proceso de GTAW”. Esta práctica fue realizada por el Ing. Omar Serrano en la Universidad de Ohio, USA. Esta es una práctica muy interesante pero que se necesita tener ciertos equipos que en los actuales momentos no se los tiene en el laboratorio. Sin embargo es una práctica totalmente factible y de alto contenido teórico y práctico.

Por último las prácticas a nivel computacional son un buen complemento para variar las clases prácticas. Estos tres diferentes softwares están directamente relacionados con las clases teóricas que se dictan actualmente, así que se le hará al estudiante mucho más fácil entender el manejo y la aplicación de estos. Los programas de “Distribución de Temperatura” y de “Factor de Intensidad de Esfuerzos” son programas ya hechos anteriormente por estudiantes de USA y adaptado por un estudiante de la ESPOL. El

programa de “Costos de Soldadura” fue diseñado por quien escribe esta tesis. Este programa fue escrito en lenguaje Visual Basic y contiene ventanas de fácil manejo a nivel computacional.

CAPITULO 6

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Como conclusión de este trabajo, se puede decir que se deja a la FIMCP un manual para las prácticas de soldadura para que los estudiantes puedan realizarlas con total facilidad y de una manera ágil e ingenieril. En ningún momento este manual tiene la intención de preparar soldadores calificados bajo normas internacionales, sino hacer unas prácticas que traten de cubrir los métodos de soldaduras más comunes que los estudiantes en su vida profesional puedan encontrar. Se hicieron prácticas con SMAW, GMAW, GTAW, SAW, FCAW además de hacer prácticas con Corte con Plasma y Corte Oxiacetilénico. Es decir, se cubrió un amplio rango de diversidades a nivel de soldadura.

Otra conclusión de esta tesis es que todos los análisis macro y microscópicos que se realizaron para poder analizar todos los efectos debido a la variación de parámetros de soldadura o de medios de protección, son los mismos que los estudiantes realizan en diferentes materias de la FIMCP,

como por ejemplo, en Ciencias de los Materiales, Materiales de Ingeniería, Tratamientos Térmicos, etc. Es decir, esta guía está acorde con los conocimientos del estudiante que se registra en la materia Soldadura dictada actualmente. Esto permite que el estudiante comprenda la importancia de estos análisis y los perfeccione aplicando sus conocimientos en estas prácticas.

Es importante notar que la mayoría de las prácticas que se encuentran en la tesis se pueden realizar con los equipos que actualmente se encuentran en el laboratorio de la facultad. Los equipos tienen la suficiente capacidad para poder realizarlas. Sin embargo, se necesita comprar ciertos insumos y partes adicionales como boquillas para FCAW, alambre autoprotegido con su respectivo juego de rodillos, boquillas para corte oxiacetilénico, etc. Además se necesita adquirir un equipo de corte con plasma para poder realizar la práctica correspondiente.

Se recomienda se mantenga en buen estado a los equipos en el Laboratorio de Soldadura, además de mantener un stock adecuado de insumos como alambres, fundente, electrodos, gases, etc. Esto se lo requiere para que cuando toque alguna práctica siempre esté todo disponible para evitar

atrasos. Así mismo se recomienda que la FIMCP proporcione de equipos adicionales para realizar ciertas evaluaciones o pruebas diferentes. Un ejemplo de estos equipos puede ser las termocuplas, las cuales ayudan al análisis de la distribución de temperatura en una soldadura.

También se recomienda añadir más prácticas a las que actualmente se encuentran en esta tesis. Como se dijo en la introducción de esta tesis, las prácticas que se realizaron son aplicaciones muy comunes en el mercado local. Sin embargo es importante que los estudiantes tengan un conocimiento básico de otros métodos de soldadura como por ejemplo: Soldadura Oxiacetilénica (OAW), Soldadura por Plasma (PAW), Soldadura por Electroescoria (EGW), etc.

APENDICE A

FORMATO Y CONTENIDO DE LA GUIA DE PRÁCTICAS

FIMCP
LABORATORIO DE SOLDADURA
GUIA DE PRACTICA No. 1

TITULO

Diseño de Uniones de Soldadura usando el proceso de SMAW

OBJETIVO

1. Conocer las precauciones que hay que tener a realizar cualquier tipo de soldadura
2. Conocer los equipos básicos de la soldadura SMAW.
3. Realizar cordones en una pieza de trabajo.
4. Realizar la unión de dos piezas.

BREVE INTRODUCCIÓN TEORICA

Precauciones que hay que tener al momento de soldar:

Protección Personal	Uso
Casco Protector	Protege el cuello, la cara y los ojos de las chispas.
Gafas con protección lateral	Para auxiliares y conductores de grúas, para partes los ojos contra el deslumbramiento
Cristales y filtros protectores contra rayos para los ojos	Se escogen según el tipo de aplicación a utilizarse
Guantes de cuero	Protegen manos y muñecas
Polainas	De cuero para proteger las piernas y los pies
Manguitos	De cuero para proteger los brazos

Otros factores muy importantes a seguir como medios de seguridad.

Riesgos de Incendio:

Nunca se debe soldar en la proximidad de líquidos inflamables, gases, vapores, metales en polvo o polvos combustibles. Cuando el área de soldadura contiene gases, vapores o polvos, es necesario mantener perfectamente aireado y ventilado el lugar mientras se suelda. Nunca soldar en la vecindad de materiales inflamables o de combustibles no protegidos.

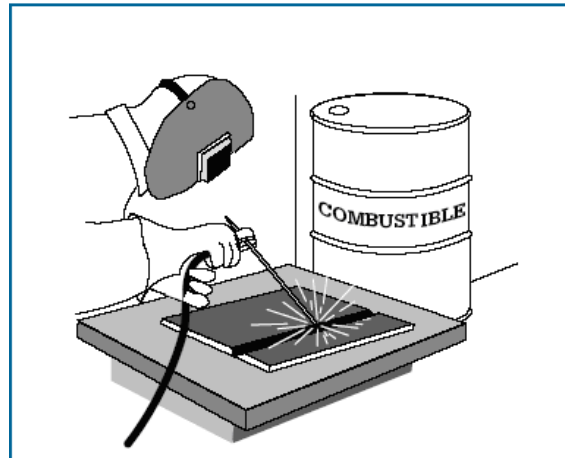


Figura cortesía de Indura
Riegos de Incendio

Ventilación:

Se recomienda que el área de trabajo esté siempre, porque al consumirse el oxígeno disponible, a la par con el calor de la soldadura y el humo restante, el operador queda expuesto a severas molestias y enfermedades.

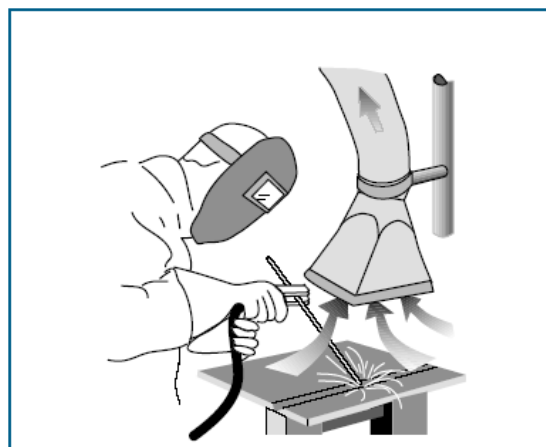


Figura cortesía de Indura
Ventilación en el área de trabajo

Humedad:

La humedad entre el cuerpo y algo energizado hace tierra conduciendo corriente al soldador. Se debe evitar estar sobre agua cuando se suelda, y tratar de trabajar en lugares con humedad baja.

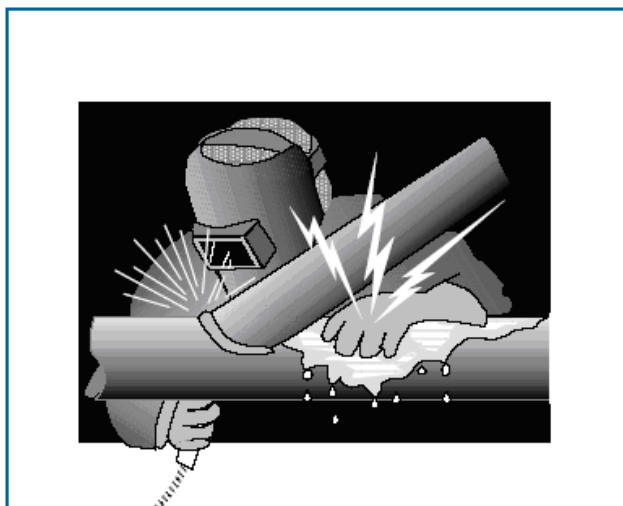


Figura cortesía de Indura

Humedad en el sitio de trabajo**Cilindro de gas:**

Se tiene que tener en cuenta que cuando se utiliza algún gas protector, el cilindro tiene que estar siempre encadenado y por supuesto vertical. Además se tiene que evitar tocar el gas con el electrodo.



Figura cortesía de Indura

Peligro con cilindro de gas protector

PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

- **Llenar un procedimiento de soldadura según API 1104**
 1. Tomar todas las medidas de seguridad descritas en la primera parte.
 2. Preparar dos piezas para poder soldarlas como se lo describe en la norma que está a continuación.
 3. Realizar el cordón para la unión de las dos piezas.
 4. Llenar un Procedimiento de Soldadura de acuerdo a la norma internacional API 1104. Este procedimiento se encuentra en la API 1104 “WELDING OF PIPELINES AND RELATED FACILITIES” edición de Septiembre de 1999, página 4.

Se puede preparar este procedimiento con la figura que se muestra en la hoja de procedimiento que se anexa a continuación. El estudiante sólo llenará la hoja ya que la pieza debe de estar previamente preparada.

Procedimiento de Soldadura según API 1104

EQUIPOS UTILIZADOS

GRAFICOS Y/O TABLAS

- Realizar esquemas acerca de todos lo equipos que se utilizan.

ANALISIS DE RESULTADOS

- Describir posibles causas que soldadura quedó con poros.

CONCLUSIONES

CUESTIONARIO

1. ¿Qué tipo de metales se pueden soldar con SMAW?
2. Dibuje un esquema sencillo del diagrama eléctrico de este tipo de soldadura.
3. ¿Qué son las máquinas de corriente o voltaje constante?

FIMCP
LABORATORIO DE SOLDADURA
GUIA DE PRACTICA No. 2

TITULO

Posiciones de Soldadura según normas aplicables

OBJETIVO

- Conocer las diferentes posiciones de Soldadura recomendada por AWS.
- Realizar cordones en posiciones verticales, horizontes, y sobre cabeza en planchas de Acero ASTM A36 de 6 mm. de grosor, mediante el proceso SMAW.

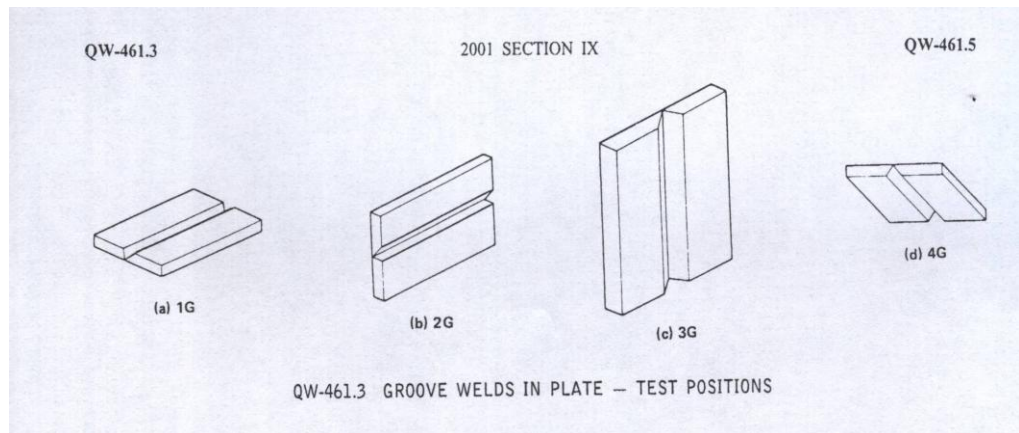
BREVE INTRODUCCIÓN TEORICA**PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL**

Indicar todos los pasos a seguir para realizar una unión en filete.

1. Limpiar las piezas a soldar con un cepillo de hierro.
2. Poner en posición las dos piezas como lo dice la norma ASME Capitulo IX "QUALIFICATION STANDARD FOR WELDING PROCEDURES, WELDERS, BRAZERS, AND WELDING AND BRAZING OPERATORS", Edición 2003, página 148. Figura (b) "2F".
3. Realizar 3 cordones en tres posiciones como lo indica la norma en la página 148. Estos cordones tienen que estar dentro de los rangos

establecidos en la norma en la página 147 en la figura QW-461.2 “POSITIONS OF WELDS – FILLET WELDS”. A continuación se anexan estas páginas de la norma.

Figura 3.1.2.2 Norma ASME (QW-461.2) indicando posiciones de soldadura



Posiciones de Soldadura según ASME

EQUIPOS UTILIZADOS

GRAFICOS Y/O TABLAS

- Realizar esquemas acerca de todos lo equipos que se utilizan.

ANALISIS DE RESULTADOS

- Describir lo experimentado en todas las uniones soldadas.

CONCLUSIONES

- Resumir la práctica y concluir.

CUESTIONARIO

1. ¿Cuál es la nomenclatura ASME para identificar las diferentes posiciones de soldadura?
2. Realice una comparación entre las posiciones de soldadura en planchas y tubos

FIMCP
LABORATORIO DE SOLDADURA
GUIA DE PRÁCTICA No. 3

TITULO

Efecto de Gases y Mezclas (Ar, CO₂, Mezcla 80% Ar – 20% CO₂,
sobre las características de la unión soldada

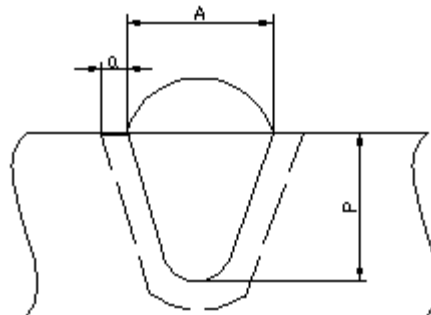
OBJETIVO

Análisis microscópico de las 3 cordones utilizando soldadura MIG y tres diferentes tipos de gases: Ar, CO₂ y mezcla 80% Ar – 20% CO₂.

BREVE INTRODUCCIÓN TEORICA

PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

- Indicar todos los pasos a seguir para esta práctica



COMPLETAR LA SIGUIENTE TABLA

Siguiendo con el procedimiento, se tiene que llenar la siguiente tabla

Cordón	Gas usado	Flujo L/min	Voltaje (V)	Amperaje (Amps)	Diámetro Electrodo (mm)	Velocidad de soldadura (mm/s)
1	Argón	14	20	125	1.2	8
2	CO ₂	12	20	140	1.2	8
3	80% Ar- 25%CO ₂	12	20	140	1.2	8

Con esta tabla se podrá llenar la siguiente

Tabla de Resultados

Cordón	Calor suminis- trado (J/mm)	Dilución (%)	Penetración (mm.)	Ancho del cordón (mm.)	Ancho de ZAC (mm.)
1					
2					
3					

GRAFICOS Y/O TABLAS

1. P vs. Amperaje
2. P vs. H
3. Dilución vs. H (calor suministrado)
4. Ancho de la ZAC vs. H
5. Ancho del cordón vs. H

ANÁLISIS DE RESULTADOS

A partir del análisis de los gráficos, establecer relaciones entre las variables analizadas.

CUESTIONARIO

1. Describir las tres maneras que se transfiere el metal en GMAW.
2. ¿Para qué sirven los gases como el Argón, CO₂ y la mezcla de ambos?

FIMCP
LABORATORIO DE SOLDADURA
GUIA DE PRÁCTICA No. 4

TITULO

Análisis del control de parámetros de soldadura TIG en los efectos de solidificación del acero inoxidable AISI 304

OBJETIVO

1. Realizar un análisis macroscópico y microscópico de la solidificación de depósitos de soldadura TIG.
2. Analizar el fenómeno de Sensitización.

INTRODUCCIÓN TEORICA

- Solidificación en Soldadura
- Sensitización en Aceros Inoxidables

PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

- Indicar todos los pasos a seguir para esta práctica

Datos necesarios:

$$R = 2 \pi \lambda \rho C_p \left(\frac{t}{H_i} \right)^2 (T_c - T_o)$$

$$\eta_1 = \frac{H_i}{H_t}$$

$$H_t = \frac{EI}{v}$$

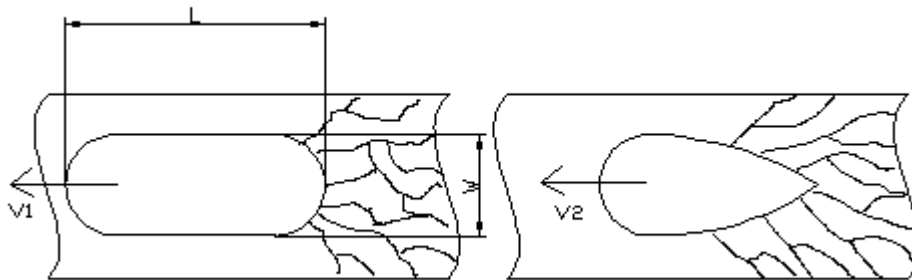
$$\lambda = 0.0206 \frac{J}{\text{sec} \cdot \text{mm} \cdot ^\circ\text{C}}$$

$$\eta_1 = 0.75$$

$$\rho = 7.8 \times 10^{-3} \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

$$C_p = 0.4895 \frac{J}{\text{g} \cdot ^\circ\text{C}}$$

$$T_c = 1200^\circ\text{C}; T_o = 30^\circ\text{C}$$



Forma elíptica

Forma de Gota

GRAFICOS Y/O TABLAS

1. L/W vs. V
2. L/W vs. Hi

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Análisis de cada gráfico

CONCLUSIONES

A partir del análisis de los gráficos, establecer relaciones entre las variables analizadas.

CUESTIONARIO

1. Describir partes fundamentales en el equipo para soldadura GTAW
2. Ventajas y desventajas de GTAW.
3. Describir brevemente el problema de sensitización y corrosión intergranular en los aceros inoxidable.

FIMCP
LABORATORIO DE SOLDADURA
GUIA DE PRÁCTICA No. 5

TITULO

Medición de distribución de temperatura durante el proceso GTAW

OBJETIVO

1. Monitorear el flujo de calor durante el proceso de GTAW en un acero inoxidable. Con esto, determinar la temperatura pico en varios lugares de la ZAC.
2. Calcular la eficiencia η_1 , comparado la energía de entrada H_i con la energía total H_t .
3. Calcular η_2 , determinando la energía de fusión H_m .
4. Estimar los ciclos térmicos para diferentes condiciones de soldadura.

BREVE INTRODUCCIÓN TEORICA

Flujo de Calor en Soldadura

El flujo de calor durante un proceso de soldadura está relacionado con casi todos los fenómenos mecánicos y metalúrgicos experimentados en la región de soldadura durante este proceso. Para controlar los eventos mecánicos y metalúrgicos en el proceso, se tiene que establecer condiciones de transferencia de calor. Entre las principales están las siguientes: eficiencias de fusión y de

transferencia de calor, distribución de temperaturas picos en la zona afectada por el calor, y los ciclos térmicos para diferentes condiciones de soldadura.

Las eficiencias son números que se utilizan para calcular la energía total transferida desde el arco hasta la pieza de trabajo y a su vez la energía que sirve para fusionar las piezas. Entonces se define a la energía neta de entrada como H_i , la energía total del arco como H_t y la eficiencia de transferencia de calor como η_1 .

La relación es la siguiente:

$$\eta_1 = \frac{H_i}{H_t} = \frac{HI}{EIv}$$

Donde E = voltaje, I = amperaje y v = velocidad de desplazamiento de soldadura.

La otra eficiencia representada por η_2 representa una relación entre la energía que se utiliza para fusionar versus la energía neta de entrada. Es decir:

$$\eta_2 = \frac{H_m}{H_i} \text{ donde } H_m = Q \times A_w \left(\frac{J}{mm} \right)$$

Donde Q es la energía requerida para fusionar una unidad de volumen de metal y se puede encontrar de la siguiente ecuación:

$$Q = \frac{\rho m + 273}{300000} \left(\frac{J}{mm^3} \right)$$

donde T_m es la temperatura de fusión del metal base.

El otro aspecto importante de considerar es encontrar la temperatura pico de la ZAC. Para esto hay que determinar de qué tipo es el flujo de calor. Para un estudio de dos dimensiones (2-D) la temperatura pico se la calcula con la siguiente expresión

$$\frac{1}{T_p - T_o} = 4.13 \frac{\rho y t C}{H_i} + \frac{1}{T_m - T_o}$$

donde T_o = Temperatura inicial de la plancha

ρ = densidad del material

C = Calor específico del metal sólido

y = Distancia entre la línea de fusión hasta alcanzar la T_p

t = Grosor de la plancha

Para un análisis tri-dimensional la Temperatura Pico (T_p) se la define de la siguiente manera:

$$\frac{1}{T_p - T_o} = \frac{\left(\frac{e}{2}\right) \rho C \pi \left[y^2 - \left(\frac{d}{2}\right)^2 \right]}{H_i} + \frac{1}{T_f - T_o} \quad (3-D)$$

donde $d =$ es el ancho del cordón de soldadura.

Para determinar qué tipo de flujo de calor se tiene que utilizar, se analiza la penetración del cordón. Si es que la penetración es profunda, entonces se utiliza un análisis 2-D, en caso contrario se utiliza 3-D. La otra manera de analizar esto es con un término llamado “espesor relativo de plancha” (τ) donde:

$$\tau = t \sqrt{\frac{\rho C (T_c - T_o)}{H_i}}$$

Donde $T_c =$ Temperatura Crítica (para aceros = 550°C)

Entonces, si el valor del espesor relativo de plancha es mayor que 0.75 entonces es un análisis de 3-D, caso contrario es un análisis de 2-D.

Finalmente, la estimación de ciclos térmicos en soldadura y el cálculo del coeficiente de enfriamiento es muy importante para estimar el impacto del enfriamiento rápido en las características metalúrgicas y propiedades mecánicas

del metal soldado. Para esto se utiliza termocuplas, las cuales permite medir la temperatura como una función del tiempo. Con esto se puede graficar los ciclos termales correspondientes para las diferentes condiciones de soldadura.

PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

- Indicar todos los pasos a seguir para esta práctica

El proceso de GTAW se usa como fuente de calor y se depositan ocho cordones de soldadura en una placa de 6.35mm de ancho de un acero inoxidable 304. Para poder obtener los datos de la temperatura pico en la ZAC se suelda una termocupla de Chromel-Alumel en el metal base a distancias previamente establecidas desde la línea central de la soldadura. Se conecta un dispositivo que es el que convierte el voltaje generado por la termocupla en un gráfico dibujado en un papel cuadriculado. La unión de referencia de la termocupla se mantiene a 0°C haciéndolo meter en un vaso con agua y hielo. A continuación se detalla los detalles acerca de los cordones depositados:

- 3 cordones a distancias de 6.35 mm, 12.70 mm y 25.4mm desde la termocupla. Los parámetros fueron los siguiente: $E = 13 \text{ V}$, $I = 210 \text{ Amps}$, $v = 3.62 \text{ mm/seg}$.

Por lo tanto,

$$Ht = \frac{(3\text{Volts}) \times (10\text{Amps})}{3.62\text{mm/s}}$$

$$Ht = 754\text{J/mm}$$

- Se depositan otros 3 cordones a las mismas distancias pero esta vez con otro parámetros: E = 14Volts, I= 150 Amps., v = 3.62 mm./seg.

$$Ht = 580\text{J/mm}$$

- Los últimos dos cordones son para hacer un análisis macroscópico para calcular la Aw, el Hm y la eficiencia de fusión. Para poder revelar la macroestructura de la sección transversal se necesita un ácido con la siguiente composición: 10 ml. de Ácido Nítrico, 15ml de HCl, 10ml de Acido Acético, y tres gotas de glicerina.
- Completar la siguientes tablas

Ht (J/mm)	Distancia CL					
	d1=6.35mm		d2=12.70mm		d3=25.4 mm	
	T (°C)	t (seg.)	T (°C)	t (seg.)	T (°C)	t (seg.)
754	607	10	345	27	170	55
580	551	19	235	35	128	41

Tabla de Resultados

Ht (J/mm)	Tp (°C)	y (mm)	Hi (J/mm)	η_1 (Hi/Ht)	Q (J/mm)	Aw (mm ²)	Hm (J/mm)	H ₂ (Hm/Hi)
754	607	1.35	195	0.26	10.89	16	174	0.89
	345	7.70	464	0.61		16	174	0.38
	170	20.40	478	0.63		16	174	0.36
580	551	3.85	467	0.80	10.89	8	87	0.18
	235	10.20	364	0.63		8	87	0.24
	128	22.90	367	0.63		8	87	0.24

La primera tabla muestra las temperaturas picos obtenidas en la ZAC para los diferentes cordones. Temperaturas picos fueron obtenidos directamente de la termocupla. Esta tabla muestra que las temperaturas picos son mayores para distancias más cercanas a la línea central de soldadura. También las temperaturas picos son mayores para una misma distancia cuando Ht es mayor. Esto es debido a la mayor cantidad de energía.

La segunda tabla presenta las eficiencias de transferencia de calor y de fusión en los cordones con soldadura GTAW.

Para poder calcular Hi se tiene que hacer un análisis previo para determinar que modo de flujo de calor se tiene que aplicar, o es 3D o es 2D. La ecuación en 3D es la siguiente:

$$Hi = \frac{\pi \rho C e \left(R + y + y^2 \right) \left(p - T_o \right) \left(m - T_o \right)}{2 \left(m - T_p \right)}$$

Para hacer un cálculo de referencia se puede escoger los siguientes datos:

Ht=754 J/mm., Tp=607 °C, y = 1.35 mm.

Entonces:

$$Hi = \frac{\pi \left(7.8 \times 10^{-3} \frac{g}{mm^3} \right) \left(0.710 \frac{J}{g \cdot ^\circ C} \right) e \left(x^5 + 1.35 + 1.35^2 \right) \left(607 - 25 \right)^\circ C \left(425 - 25 \right)^\circ C}{2 \left(425 - 607 \right)^\circ C}$$

$$Hi = 358 \frac{J}{mm}$$

Para comprobar este valor, se calcula el parámetro “espesor relativo de plancha” como sigue:

$$\tau = t \sqrt{\frac{\rho C (T_c - T_o)}{Hi}} = 6.35 mm \sqrt{\frac{7.8 \frac{g}{mm^3} \times 0.710 \frac{J}{g \cdot ^\circ C} (550 - 25)^\circ C}{358 \frac{J}{mm}}}$$

$$\tau = 0.57$$

Este valor de Tau, representa un análisis 2D de flujo de calor. Entonces se calcula Hi con la ecuación de 2D como sigue:

$$Hi = \frac{4.13\rho Cty (Tp - To) (m - To)}{Tm - Tp}$$

$$Hi = \frac{4.13 \times 7.8 \times 10^{-3} \frac{g}{mm^3} \times 0.710 \frac{J}{g \cdot ^\circ C} \times 6.35 mm \times 1.35 mm (607 - 25)(1425 - 25)}{(1425 - 607)^\circ C}$$

$$Hi = 195 \frac{J}{mm} \Rightarrow \tau = 0.77 \Rightarrow 3 - D$$

Se hace un análisis similar para las siguientes condiciones:

Ht= 580 J/mm, Tp = 551 °C, y = 3.85mm y se resultó de la siguiente manera:

Usando la ecuación de 3-D: Hi = 644 J/mm

$$\tau = 0.42 \Rightarrow 2 - D$$

Usando la ecuación de 2-D: Hi= 467 J/mm

$$\tau = 0.50 \Rightarrow 2 - D$$

Entonces, para la energía Ht baja, se aplica las condiciones de flujo de calor de 2-D, pero para la energía Ht alta, no se puede concluir mucho.

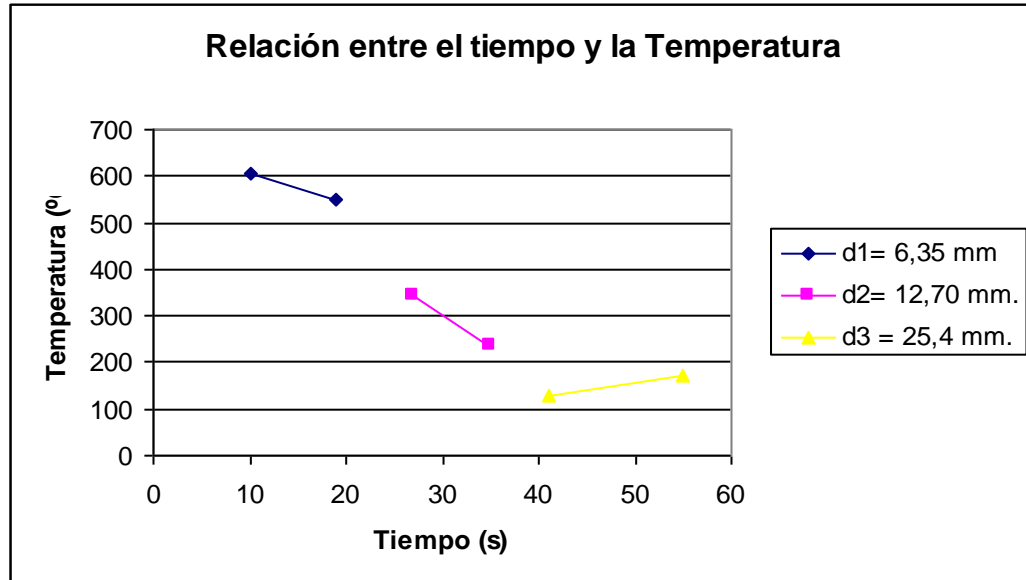
Por otro lado, el análisis metalográfico del área de sección transversal de soldadura muestra que el flujo de calor corrió hacia abajo y hacia los costados alejándose de la fuente de calor, lo que corresponde a la condición de 3-D. Sin embargo, esta condición es alcanzada en una plancha cuyo espesor es por lo menos 5 veces de la de la profundidad de soldadura. En este caso, las profundidad está en el orden de los 2 mm., que para una placa de 6.35 mm. de espesor no cumple con la condición de 3-D.

Por otro lado, la eficiencia η_1 presentada en la Tabla 2, es mayor que la que se esperaba en soldadura GTAW, de 20 a 50 %. En este experimento, el rango de variación es de 26 a 80 %. Error en la medición de parámetros de soldadura, lecturas de termocuplas leyendo la temperatura máxima puede ser que sean unas de las causas de las discrepancias en el cálculo de eficiencia de transferencia calor. También, la velocidad de soldadura usada en este laboratorio de 3.62 mm. /s puede que sea un poco alta, y este es un parámetro que afecta esta eficiencia.

Finalmente, la Tabla 2 presenta la eficiencia de fusión, calculada para varios condiciones de soldadura. Eficiencias de fusión varían entre 18 a 89 % en este experimento que son un poco alto. Estos valores altos pueden ser explicados en términos que el acero inoxidable austenítico 304 tiene relativamente una conductividad baja, y la teoría dice que mientras el material sea mas conductivo térmicamente, la eficiencia de fusión va a ser mayor.

GRAFICOS Y/O TABLAS

1. T vs. t para cada distancia (d1, d2, d3) a $H_{t1} = 754 \text{ J/mm.}$ y $H_{t2} = 580 \text{ J/mm.}$



Relación entre el tiempo y la Temperatura

2. T_p vs. d para $H_{t1} = 754 \text{ J/mm.}$ y $H_{t2} = 580$

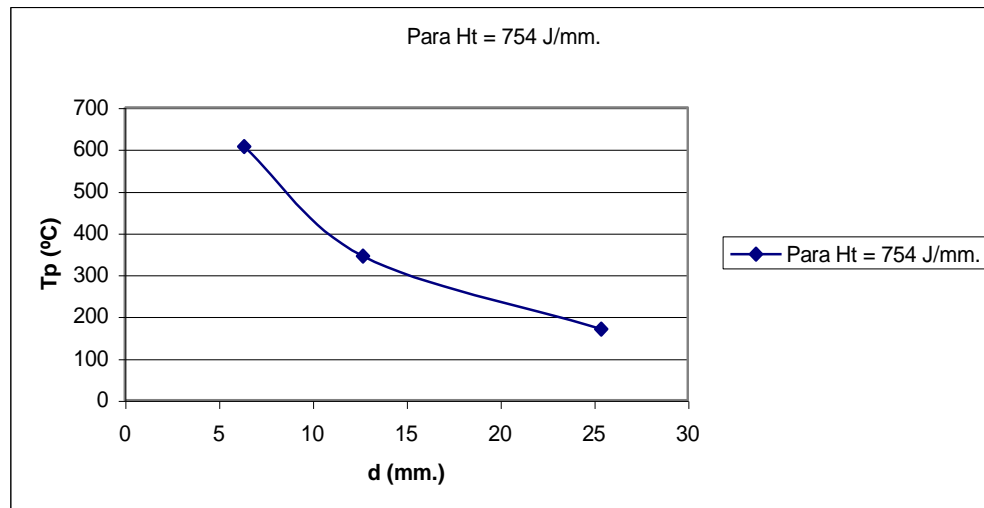


Gráfico de T_p vs. Distancia

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los gráficos que se mostraron anteriormente son los ciclos térmicos producidos en cordones de GTAW a diferentes condiciones. La curva que se encuentra por encima representa el ciclo térmico con el pico de temperatura de 607 °C. Luego, el ciclo térmico con una temperatura máxima de 551 °C y finalmente, el ciclo térmico con una temperatura máxima de 235 °C. De esta figura se puede observar lo siguiente:

- El pico de temperatura decrece rápidamente cuando se incrementa la distancia desde la línea central de soldadura, sin importar la energía de entrada.
- Para la misma cantidad de energía, el tiempo requerido para alcanzar la temperatura pico se incrementa cuando se incrementa la distancia de la línea central de soldadura.
- La rata de calentamiento y la rata de enfriamiento decrecen cuando se incrementa la distancia de la línea central de soldadura.

CONCLUSIONES

1. Las condiciones de soldadura usando GTAW en una plancha de Acero inoxidable austenítico 304 de 6.35 mm. de espesor produce un aceptable modo bi dimensional de flujo de calor que fue usado para calcular la eficiencia de transferencia de calor y la eficiencia de fusión.

2. La eficiencia de transferencia de calor η_1 resultó en un valor casi constante de 60%, el cual es un poco mayor que el máximo esperado que es de 50%. La eficiencia de fusión, η_2 también resultó más o menos constante para cada valor de Hm. Una de las razones probables para el valor alto de esta eficiencia (alrededor de 89%) puede ser el uso de un material con una conductividad relativamente baja.
3. Ciclos térmicos producidos en cordones de GTAW indicaron lo que se esperaba: la temperatura pico decrece cuando se incrementa la distancia desde el centro de la soldadura, y al mismo tiempo el alcanzar esta temperatura pico también se incrementa cuando se incrementa la distancia desde el centro de la soldadura.

CUESTIONARIO

1. ¿Qué son las dendritas?
2. ¿Qué información proporcionan éstas?
3. ¿Cómo es la distribución de temperaturas en aceros?

NOTA: TOMADO COMO REFERENCIA EL TRABAJO REALIZADO POR ING. OMAR SERRANO EN OHIO STATE UNIVERSITY

FIMCP
LABORATORIO DE SOLDADURA
GUIA DE PRÁCTICA No. 6

TITULO

Estudio y comparación del efecto del uso del proceso con gas y sin gas sobre las características de la unión soldada.

OBJETIVO

Análisis microscópico de los cordones utilizando el proceso de FCAW cuando se utilizan los dos tipos de procesos.

BREVE INTRODUCCIÓN TEORICA

Comparación de los dos tipos de procesos de FCAW

PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

- Indicar todos los pasos a seguir para esta práctica
- Completar la siguiente tabla

Para los todos los cordones se utiliza planchas de acero A36.

Cordón	Tipo de electrodo	Voltaje (V)	Amperaje (Amps)	Diámetro Electrodo (mm)	Velocidad de soldadura (mm/s)
1	E70T-1	22	180	1,6	7
2	E70T -1	22	180	1,6	10
3	E70T - 4	31	300	2	10
4	E70T - 4	31	300	2	13

Con esta tabla se podrá llenar la siguiente

Tabla de Resultados

Calor suministrado (J/mm)	Dilución (%)	Penetración (mm.)	Ancho del cordón (mm.)	Ancho de ZAC (mm.)

GRAFICOS

1. Amperaje vs. Penetración
2. Calor suministrado vs. Penetración
3. Calor suministrado vs. Dilución
4. Calor Suministrado vs. Ancho de ZAC
5. Calor Suministrado vs. Ancho del cordón

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Análisis de cada gráfico

CONCLUSIONES

A partir del análisis de los gráficos, establecer relaciones entre las variables analizadas.

CUESTIONARIO

1. Indicar las ventajas y desventajas de este proceso en comparación con SMAW y GMAW.
2. ¿Es recomendable soldar aceros de alto contenido de carbono con FCAW?
3. ¿Se puede soldar aleaciones a base de níquel con este proceso?

FIMCP
LABORATORIO DE SOLDADURA
GUIA DE PRÁCTICA No. 7

TITULO

Efecto de los parámetros de soldadura en SAW sobre las características del cordón.

OBJETIVO

Estudio del efecto de la variación de los parámetros de soldadura: I (corriente), V (voltaje), v (velocidad del alambre) sobre la geometría, dureza y microestructura de cordones depositados mediante el proceso SAW.

BREVE INTRODUCCIÓN TEORICA

Naturaleza del proceso SAW

PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

- Indicar todos los pasos a seguir para esta práctica
- Completar la siguiente tabla

Muestra	I (amp)	V (voltios)	Velocidad de Soldadura (mm. /Seg.)	Calor Suministrado (Joule/mm.)	Dilución (%)	Penetración (mm.)	Ancho del cordón (mm.)	Ancho de ZAC (mm.)
1	390	27	10					
2	550	27	10					
3	620	27	10					
4	390	30	14					
5	390	30	8					

GRAFICOS Y/O TABLAS

1. P vs. I ($V=cte$)
2. P vs. V ($I=cte$)
3. Calor Suministrado vs. Penetración
4. Calor Suministrado vs. Dilución
5. Ancho de ZAC vs. H
6. A vs. I ($V=cte.$)
7. A vs. V ($I=cte$)
8. A vs. H

OBSERVACIONES

CONCLUSIONES

A partir del análisis de los gráficos, establecer relaciones entre las variables analizadas

CUESTIONARIO

1. Describir brevemente las partes básicas de los equipos utilizados para la SAW
2. Diferenciar entre el proceso de SAW automático y el semiautomático.
3. ¿Para qué sirve el fundente?
4. ¿De qué factor depende principalmente el ancho de la ZAC?
5. Describir el comportamiento del ancho de la soldadura respecto al voltaje aplicado.

FIMCP
LABORATORIO DE SOLDADURA
GUIA DE PRÁCTICA No. 8

TITULO

Familiarización de Equipos y Parámetros de operación del corte oxiacetilénico.

OBJETIVO

1. Conocer e identificar los equipos para oxicorte.
2. Aprender a manejar el equipo de soldadura oxiacetilénica para oxicorte.
3. Realizar algunos cortes con las medidas de seguridad.

BREVE INTRODUCCIÓN TEORICA

Describir los equipos utilizados.

PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Recomendaciones de seguridad previo a cualquier procedimiento de oxicorte:

1. Antes de abrir las válvulas de las botellas comprobar que los volantes de regulación de presiones de los reguladores están desenroscados, regulador cerrado y resto de válvulas cerradas.
2. Sitúese en el lado de la botella opuesto al regulador.
3. Abra las válvulas de las botellas lentamente.
4. Rosque los volantes de la regulación de presión en los reguladores para abrir el regulador hasta ajustar las presiones según el trabajo a realizar.

Para realizar el trabajo de corte

1. Consultar en la tabla de corte los parámetros de ajuste, que correspondan a la boquilla en cuestión.
2. Ajustar las presiones de los gases con las válvulas abiertas.
3. Usar el manómetro de comprobación.
4. Para ajustar la llama de calentamiento: abrir del todo la válvula del oxígeno de combustión en el soplete.
5. Abrir un poco la válvula de acetileno.
6. Encender la mezcla
7. Ajustar en primer lugar el sobrante de acetileno.
8. Reducir el gas combustible hasta obtener una llama neutra.
9. Abrir la válvula de oxígeno de corte y corregir si es necesario.

Para iniciar el corte

1. Elegir el sentido de corte de tal forma que los recortes puedan separarse solos.
2. Señalar el paso de la boquilla.
3. Iniciar practicando un agujero.
4. Recorrer por la seña a una velocidad moderada observando que se está cortando el metal.
5. Usar un martillo si es necesario para remover la pieza cortada.

Precauciones una vez finalizado el trabajo

1. Cerrar la válvula del oxígeno del soplete.
2. Cerrar la válvula del acetileno del soplete.
3. Cerrar las válvulas de la botella.
4. Abra las válvulas del soplete hasta que las agujas indicadoras de presión de los manoreductores estén en cero y cierre las válvulas del soplete.
5. Desenroscar los volantes de regulación de presión de los manoreductores para cerrar los reguladores.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Analizar el corte realizado, con fotografías y comentarios.

CONCLUSIONES

Establecer conclusiones de esta práctica.

CUESTIONARIO

1. ¿Qué gases se utilizan comúnmente como gas combustible?
2. Enumerar los principales tipos de boquillas que se utilizan para el oxicorte y sus aplicaciones.

FIMCP
LABORATORIO DE SOLDADURA
GUIA DE PRÁCTICA No. 9

TITULO

Familiarización de Equipos y Parámetros de operación del corte con Plasma.

OBJETIVO

1. Conocer e identificar los equipos para Corte con Plasma.
2. Aprender a manejar el equipo de Corte con Plasma
3. Realizar algunos cortes con las medidas de seguridad.

BREVE INTRODUCCIÓN TEORICA

Describir los equipos utilizados.

PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Recomendaciones de seguridad previo a cualquier procedimiento de corte con plasma:

Buscar los siguientes elementos

1. Compresor de aire limpio, sin agua ni aceite.
2. Presiones de aires correctas. Esto se lo puede verificar con los manómetros colocados en la unidad.
3. Observar que la boquilla y el electrodo estén colocados correctamente.
4. Observar que exista una adecuada ventilación en el lugar de trabajo.

5. Observar que no exista ningún líquido inflamable cerca del lugar de trabajo.

Para realizar el trabajo de corte tener en cuenta los siguientes parámetros de seguridad

1. Utilizar protección de ojos y cuerpo adecuada.
2. No tocar la boquilla con la pieza de trabajo. Si es que lo hace va a reducir enormemente la vida útil de la boquilla.
3. El corte normalmente se lo debería comenzar hacer en un ángulo de 60° con la horizontal para después rotarlo hasta 90° con la horizontal. Esto permitirá que el metal sea cortado alejándose del metal.
4. Corte con una velocidad apropiada. Los cortes que se efectúan o muy lentos o muy rápidos producen una calidad de corte mediocre.
5. Regule la corriente al máximo para después ir disminuyendo.
6. Mantenga una distancia constante. Se recomienda de 3/16" a 1/8" desde la boquilla a la pieza de trabajo.

Para iniciar el corte

1. Colocar la boquilla en la esquina del metal donde se desea cortar a una distancia recomendada anteriormente.
2. Presionar el gatillo. Después de dos segundos de un flujo de aire, el arco piloto comienza.

3. Cuando el arco de corte empieza, mover la antorcha a través del metal.
4. Ajuste la velocidad de corte para que las chispas atraviesen el metal y se puedan observar estas chispas abajo del corte.
5. En el final del corte, realice un cambio en la orientación de la antorcha para que se pueda retirar el metal correctamente.
6. Para enfriar la antorcha, aire continúa saliendo por 20 ó 30 segundos después que haya sacado el dedo del gatillo. Si es que aprieta el gatillo durante el flujo de enfriado, el arco comienza de nuevo.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Analizar el corte realizado, con fotografías y comentarios.

CONCLUSIONES

Establecer conclusiones de esta práctica.

CUESTIONARIO

1. ¿Qué es el plasma?
2. Describir la naturaleza del proceso de Corte con Plasma

FIMCP
LABORATORIO DE SOLDADURA
GUIA DE PRÁCTICA No. 11

**UTILIZAR LOS PROGRAMAS QUE CORRESPONDAN PARA RESOLVER
LOS SIGUIENTES PROBLEMAS**

PROBLEMA 1

Una plancha de acero es soldada a una velocidad de 0.2 cm. /seg. y el calor transferido es 1000 cal/seg.

El material está inicialmente a 25°C, y tiene una temperatura de fusión de 1500°C. La conductividad térmica es 0.117 cm²/seg. Use el programa de computación “Flujo de Calor” para calcular y graficar la distribución de temperatura en los siguientes casos: (discuta resultados)

- En la superficie y en el fondo de una plancha de 5 cm. De espesor (3-D)
- En la superficie de una plancha de 0.5 cm. De espesor (2-D)

PROBLEMA 2

Use el programa de computación FACTOR DE INTENSIDAD DE ESFUERZOS para calcular dicho factor (en función del esfuerzo aplicado) vs. Tamaño de fisuras, para los siguientes casos:

1. Fisura en el centro de una plancha de ancho infinito y finito.

2. Fisuras en los bordes de una plancha de ancho finito.
3. Fisura en un borde de una plancha de ancho finito.
4. Fisura transversal a una soldadura en presencia de esfuerzo residual.

Presente los resultados utilizando tablas que incluyan valores de a , a/w , w , a/f , $K1/S$, según sea el caso.

Compare los resultados obtenidos con el programa con los obtenidos usando las ecuaciones que correspondan en cada caso. Discuta la aplicación y alcances del programa.

PROBLEMA 3

Usted tiene como objetivo calcular cuánto le va a costar un proceso de soldadura al encargado de una obra. La obra se trata de hacer una rampa para que pueda pasar una volqueta sobre una zanja que se encuentra entre una construcción y la carretera. UD. Midió el ancho de las volquetas y resultó que tenían un ancho de 4.5 metros. La zanja tiene un ancho de 8 metros. Las planchas de Acero A36 de sección rectangular que se tiene a disposición tienen las siguientes dimensiones: 2 metros de largo, 6 metros de ancho y una pulgada de espesor. El ingeniero encargado del diseño ha decidido que necesita un bisel en "V sin raíz" con un ángulo de no más de 15° y con un refuerzo que no sobrepase los $3/16$ " de altura y un ancho de $1/2$ ". En cuestión a costo de mano

de obra e indirectos se ha estimado la hora en \$8.50 y el costo de los electrodos en \$1,00 cada kilogramo. Amperaje: 310 amperios, 28 voltios. El electrodo recubierto es de ¼" de diámetro y es en base a Titanio-Potasio (0 – 10% de Polvo de Hierro) y se concluye después de realizar los cálculos correspondientes de diseño que por lo menos se necesita una resistencia de tensión de 55000 PSI. ¿Cuál es el costo total de este proyecto de soldadura.

BIBLIOGRAFIA

- [1] "AWS Welding Handbook", Miami American Welding Society, 2004, Volumen 2
- [2] "The procedure Handbook of Arc Welding", Lincoln Electric Company, 1995.
- [3] "New Lessons In Arc Welding", Lincoln Electric Company, 1996.
- [4] Houldcroft, P.T. "Tecnología de los procesos de soldadura", Ceac., 1986.
- [5] Rafael de Heredia Scasso "Soldadura y construcción soldada", Dossat, 1959.
- [6] Helmut Koch "Manual de soldadura", Reverté, 1965, pp738.
- [7] Sahling-Latzin "La técnica de la soldadura en la ingeniería de la construcción", Blume, 1970.
- [8] Kennedy, Gower A. "Welding Technology". USA. 1974
- [9] Tesis de Grado de Ciro Bazán. "Determinación de Costos y cálculos de electrodos en soldadura". Universidad de Piura. 1998
- [10] "Manual de Soldadura", Elaborado por INDURA, 2000.
- [11] Dr. Weld. "Procesos de Soldadura", Miami, www.drweld.com
- [12] API STANDARD 1104 "Welding of Pipelines and Related Facilities", 19th Ed. September 1999

- [13] ASME BOILER AND PRESSURE VESSEL CODE AN INTERNATIONAL CODE. "Qualification standard for welding and brazing procedures welders, brazers, and welding and brazing operators". July 1st 2003.
- [14] Serrano, Omar. "GUIA DE ESTUDIO DEL CURSO DE SOLDADURA", FIMCP, MAYO 2004