UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICÁDAS
DEPARTAMENTO DE MECÁNICA

"DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DE LA INFLUENCIA DE LA VELOCIDAD DEL VIENTO, EN LA SOLDADURA POR ARCO ELÉCTRICO"

Realizado por:

Br. Juan A. Krispin H. **Br. Rafael R. Palma H.**

Trabajo de Grado Presentado ante la Universidad de Oriente como requisito parcial para optar al título de:

INGENIERO MECÁNICO

Barcelona, Marzo 2010

UNIVERSIDAD DE ORIENTE

NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI

ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICÁDAS

DEPARTAMENTO DE MECÁNICA

"DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DE LA INFLUENCIA DE LA VELOCIDAD DEL VIENTO, EN LA SOLDADURA POR ARCO ELÉCTRICO"

JURADO CALIFICADOR

El jurado hace constar que asigno a esta tesis la calificación de:

Prof. Rómulo Nottaro

Asesor Académico

Prof. Luis Martínez

Jurado Principal

Prof. Simón Bittar

Jurado Principal

Barcelona, Marzo 2010

RESOLUCIÓN

De acuerdo al artículo 41 del reglamento de Trabajo de Grado:

"Los Trabajos de Grado son de exclusiva propiedad de la Universidad de Oriente y solo podrán ser utilizados a otros fines con el consentimiento del Consejo de Núcleo respectivo, quien lo participara al Consejo Universitario."

DEDICATORIA

A MI DIOS BELLO, por estar siempre a mi lado, llenándome de muchas bendiciones, dándome la fortaleza y la sabiduría para lograr todas mis metas a lo largo de mi vida. Gracias Dios por haber hecho posible compartir con todos mis seres queridos este momento tan importante.

A mi mami linda VESTALIA, por su infinito amor, por ser mí guía, mi amiga, mi razón de ser, mi fuente de inspiración, por ser padre y madre durante toda mi formación como persona y profesional, de corazón GRACIAS POR TODO mami ESTE ÉXITO ES TODO TUYO Y TE LO DEDICO EN GRANDE. TE AMO MADRE.

A mi mana bella BETTY, por estar siempre a mi lado apoyándome y queriéndome día a día como toda una madre, gracias por todo esta meta no hubiese sido posible sin tu presencia, este éxito te lo dedico de todo corazón TE QUIERO MUCHO.

A mis Tías DEYANIRA y TIBISAY, por su cariño, apoyo y comprensión en los momentos más importantes de mi vida, este éxito también es de ustedes. LAS ADORO

A mis primos Andrés, Alejandra, María y Daniela, por su cariño, amor y tolerancia durante mi crecimiento como persona, gracias por todo. LOS QUIERO

A mi padre RUDOLF y a mis abuelos FRITZ Y CARLOTA por su apoyo y su amor en uno de los momentos más críticos de mi vida, gracias por sus consejos, a ustedes también les dedico esta meta de todo corazón. LOS QUIERO

A mi novia bella ROCIO (my baby), por su apoyo, su amor y paciencia durante todos estos inolvidables años juntos, de los cuales aprendí y viví momentos espectaculares.. Gracias por llenarme con tus risas, tu cariño y tu comprensión, tú también formas parte de este éxito mi princesa. Muchas Gracias por todo. TE AMO.

A mis grandes AMIGOS Jaime, Cesar, Rafael, Mago, Pedro, Simón, Luís Manuel, Roberto y Diego, con los que viví y compartí momentos muy importantes durante mi carrera, que me sirvieron de aprendizaje para crecer como persona y como profesional. MUCHAS GRACIAS MEN POR TODO ESTE ÉXITO SE LOS DEDICO.

A todas las personas que pusieron su granito de arena en mi evolución como persona y profesional y compartieron pocos momentos, que aunque fueron pocos fueron importantes para mi. MUCHAS GRACIAS

Juan A. Krispin H.

DEDICATORIA

A DIOS por guiar mis pasos e iluminarme a lo largo de mi vida para lograr esta meta

A mis padres Rafael y Maury por darme la vida, su apoyo incondicional, sabios consejos y por darme toda la confianza del mundo lo que ha sido fundamental en mi desarrollo personal y ahora profesional, por eso este logro también es de ustedes. LOS AMO.

A mis hermanas Maury y Marianella por su paciencia y apoyo en los buenos y malos momentos LAS QUIERO.

A todas aquellas personas que a lo largo de mi vida me han acompañado, brindado su amistad y su apoyo incondicional además de sus consejos que siempre fueron oportunos y de gran ayuda. GRACIAS

A todos los amigos y en especial a Juan, Jaime, Cesar, Mago, Luis Manuel y Simón, que me dejo esta etapa de formación profesional con los cuales pase buenos y malos momentos pero todos inolvidables. GRACIAS

Rafael R. Palma H.

AGRADECIMIENTOS

Al profesor Romulo Nottaro por ser el asesor del presente trabajo y con su apoyo y gran amistad, ayudarnos a concluir esta etapa de formación profesional.

Al profesor Luis Martinez por su apoyo, colaboración, asesoria y ayuda incondicional para la culminación de este trabajo. También por sus consejos no solo como profesional si no como un gran amigo.

Al profesor José Guzmán por su gran ayuda técnica y gran colaboración para la realización de este trabajo.

A la profesora Glorys Lopez por su gran colaboración y por ser guía fundamental para lograr concluir esta meta.

Al Soldador Juan Carmona por su colaboración a la hora de realizar las pruebas.

Al personal de la empresa SOLTUCA y en especial al T.S.U José Romero y a la Ing Lisbeth Gómez por su gran ayuda técnica y por permitirnos el uso de las instalaciones de la empresa para la realización de ensayos.

A la Universidad de Oriente porque aparte de formarnos como profesionales nos formarnos como personas, así como a sus profesores y especialmente a los del Departamento de Ingeniería Mecánica por su dedicación, vocación, ayuda y sabios consejos para así formarnos como profesionales del más alto nivel.

Al personal de la estación meteorológica por su disposición al suministrarnos la información necesaria para el inicio de este proyecto.

RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo principal la determinación experimental de la influencia de la velocidad del viento en la soldadura por arco eléctrico con electrodo revestido. Para esto fue necesario realizar el diseño, selección de los materiales a utilizar y construcción de un banco de pruebas, tomando en cuenta las velocidades del viento en la zona de estudio. Una vez construido el banco de pruebas, según el diseño concebido, se realizó la optimización de éste. Luego se procedió a efectuar pruebas experimentales de uniones de soldadura a tope en posición plana (1G), a estas uniones soldadas se le realizaron ensayos no destructivos y destructivos que permitieran determinar la influencia de la velocidad del viento en la soldadura por arco eléctrico con electrodo revestido. Se elaboró un manual para el uso y realización de prácticas de laboratorio, para facilitarles a los estudiantes su manejo.

ÍNDICE GENERAL

RESOLUCIÓN iii
DEDICATORIA iv
AGRADECIMIENTOS vii
RESUMEN viii
ÍNDICE GENERAL ix
ÍNDICE DE TABLAS xiii
ÍNDICE DE FIGURAS xiv
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN 17
1.1 Planteamiento del problema 17
1.2 Objetivos 18
1.2.1 Objetivo General 18
1.2.2 Objetivos Específicos 19
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO 20
2.1 Antecedentes 20
2.2 Soldadura por arco eléctrico con electrodo revestido 21
2.3 Soldabilidad 22
2.4 Electrodos revestidos 22
2.4.1 Funciones del revestimiento 23
2.4.1.1 Estabilizan el arco eléctrico 23
2.4.1.2 Forman una pantalla gaseosa que protege al metal fundido 24
2.4.1.3 Sirven como medio para efectuar depósitos metálicos 25
2.4.1.4 Permiten la ejecución de soldaduras de posición 26
2.4.1.5 Forman una escoria que protege al metal 26
2.5 Discontinuidades en la soldadura 26
2.5.1 Porosidad 27
2.5.2 Inclusiones de escoria 28

2.5.3 Penetración incompleta 29
2.5.4 Socavamiento 29
2.5.5 Grietas 30
2.5.6 Traslape 31
2.6 Calidad de soldadura 32
2.6.1 Ensayos No Destructivos 32
2.6.1.1 Inspección Visual 32
2.6.1.2 Ensayo de rayos x 33
2.6.2 Ensayos Destructivos 33
2.6.2.1 Macrografía 34
2.6.2.2 Metalografía 34
2.6.2.3 Ensayo de dureza 36
CAPÍTULO III: DESARROLLO DEL TRABAJO 38
3.1 Generalidades 38
3.2 Metodología 38
3.2.1 Revisión bibliográfica 38
3.2.2 Determinación del rango de las velocidades promedio del viento 38
3.2.3 Diseño del banco de pruebas 39
3.2.3.1 Sistema de generación y control de flujo 40
3.2.3.2 Sistema de conducción de flujo 41
3.2.3.3 Sistema rectificador de flujo 41
3.2.3.4 Sistema para ejecución de soldadura 42
3.2.4 Construcción del banco de pruebas 42
3.2.5 Selección del instrumento de medición 43
3.2.6 Diseño y preparación de las probetas 43
3.2.7 Ejecución de la soldadura 43
3.2.8 Ensayos destructivos y no destructivos realizados para determinar la influencia de la velocidad del viento en la soldadura por arco eléctrico 44
3.2.8.1 Ensayos no destructivos 44

3.2.8.2 Ensayos destructivos 45
3.2.9 Elaboración de un Manual de operación para prácticas de Laboratorio de Ingeniería Mecánica IV 47
3.3 Equipos, materiales y sustancias utilizadas 47
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y ANALISIS 49
4.1 Generalidades 49
4.2 Revisión Bibliográfica 49
4.3 Resultados de la determinación del rango de velocidades promedio del viento 49
4.4 Resultados del diseño del banco de pruebas 50
4.4.1 Resultados del Sistema de generación y control de flujo 50
4.4.1.1 Aspa 50
4.4.1.2 Motor Eléctrico 51
4.4.1.3 Acople Aspa/motor 51
4.4.1.4 Resultados de variador de frecuencia 51
4.4.2 Resultados del sistema de conducción de flujo 52
4.4.2.1 Ducto 52
4.4.2.2 Panal de abejas 52
4.4.3 Sistema para ejecución de soldadura 53
4.5 Resultados de la construcción del banco de pruebas 53
4.6 Resultados de la selección del instrumento de medición 54
4.7 Resultados del diseño y preparación de las probetas 54
4.8 Resultados de la ejecución de la soldadura 55
4.9 Resultados de ensayos no destructivos y destructivos 56
4.9.1 Ensayos no destructivos 56
4.9.1.1 Inspección visual 56
4.9.1.2 Rayos X (RT) 56
4.9.2 Ensayos destructivos 60
4.9.2.1 Resultados de macrografía 60

4.9.2.2 Resultados micrografía..... 61
4.9.2.3 Resultados de Dureza..... 68
4.10 Resultados del Manual de operación para prácticas de Laboratorio de Ingeniería 71
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... 72
5.1 Conclusiones 72
5.2 Recomendaciones..... 73
CAPÍTULO VI: BIBLIOGRAFIA 75
6.1 Bibliografía citada..... 75
6.2 Bibliografía adicional..... 77
METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO..... 1/5

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Composición química de los gases generados por los compuestos orgánicos. [6] 24
Tabla 2.2. Reactivos más comunes usados en ataque químicos de metales. [14] 36
Tabla 3.1. Equipos utilizados en la determinación experimental de la influencia de la velocidad del viento en la soldadura por arco eléctrico 48
Tabla 3.2. Materiales utilizados en la determinación experimental de la influencia de la velocidad del viento en la soldadura por arco eléctrico 48
Tabla 3.3. Sustancias utilizadas en la determinación experimental de la influencia de la velocidad del viento en la soldadura por arco eléctrico 48
Tabla 4.1. Rango de velocidades promedio del viento 50
Tabla 4.2. Informe de los ensayos de inspección visual y radiografía a las probetas. (1/2) 58
Tabla 4.3. Microporos presentes en la zona de fusión 65
Tabla 4.4. Tamaño promedio de los microporos en la zona de fusión de todas las probetas 66
Tabla 4.5. Tamaño promedio total de los microporos en la zona de fusión de todas las probetas 67
Tabla 4.6. Microporos por área presentes en la zona de fusión 68
Tabla 4.7. Valores de dureza de las probetas 69

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Proceso de soldadura por arco eléctrico con electrodo revestido. 21
Figura 2.2. Clasificación AWS A 5.1 de electrodos revestidos para aceros al carbono 23
Figura 2.3. Porosidad en una unión soldada. 27
Figura 2.4. Inclusiones de escoria dentro de la soldadura. 28
Figura 2.5. Penetración Incompleta en Soldadura. 29
Figura 2.6. Grietas en unión soldada..... 31
Figura 2.7. Traslape del material depositado hacia un lateral de la unión soldada.... 31
Figura 2.8. Radiografía en soldadura. 33
Figura 2.9. Macrografía en soldadura. 34
Figura 2.10. Durómetro para medida de dureza Rockwell. 37
Figura 3.1 Flujograma con las etapas del proyecto..... 38
Figura 3.2. Bosquejo del banco de pruebas con todos sus componentes..... 39
Figura 4.1. Aspa 50
Figura 4.2. Vista de lado del aspa 51
Figura 4.3. Motor Eléctrico..... 51
Figura 4.4. Características técnicas del motor eléctrico..... 51
Figura 4.5. Acople aspa-motor..... 51
Figura 4.6. Variador de Frecuencia..... 52
Figura 4.7. Características del Variador de Frecuencia 52
Figura 4.8. Vista frontal de la parte interior del ducto 52
Figura 4.9. Detalle del panal de abejas 52
Figura 4.10. Panal de abejas en el ducto 52
Figura 4.11. Vista de frente de sistema de ejecución de soldadura 53
Figura 4.12. Vista de lado de sistema de ejecución de soldadura..... 53
Figura 4.13. Banco de Pruebas con todos sus elementos constitutivos 54

Figura 4.14. Anemómetro digital portátil tipo turbina 54
Figura 4.15. Preparación de las pletinas en una fresadora horizontal 55
Figura 4.16. Vista lateral de la cara desbastada por la fresadora 55
Figura 4.17. Proceso de preparación de bisel en la fresadora 55
Figura 4.18. Montaje para la unión en cada extremo de la probeta para mantener la separación 55
Figura 4.19. Probetas ya unidas con la separación de 1 mm 55
Figura 4.20. Distribución de las probetas ya soldadas 55
Figura 4.21. Radiografía a probeta Z1B 57
Figura 4.22. Radiografía a probeta Z2B 57
Figura 4.23. Radiografía a probeta Z3B 57
Figura 4.24. Radiografía a probeta Z4B 57
Figura 4.25. Radiografía a probeta Z5B 57
Figura 4.26. Radiografía a probeta Z6=Z5A 57
Figura 4.27. Radiografía a probeta X1B 57
Figura 4.28. Radiografía a probeta X3B 57
Figura 4.29. Radiografía a probeta X5B 57
Figura 4.30. Macrografía a probeta Z1B 60
Figura 4.31. Macrografía a probeta Z2B 60
Figura 4.32. Macrografía a probeta Z3B 60
Figura 4.33. Macrografía a probeta Z4B 60
Figura 4.34. Macrografía a probeta Z5B 60
Figura 4.35. Macrografía a probeta Z6=Z5A 60
Figura 4.36. Macrografía a probeta X1B 60
Figura 4.37. Macrografía a probeta X3B 60
Figura 4.38. Macrografía a probeta X5B 61
Figura 4.39. Metalografía del metal base 61
Figura 4.40. Metalografía de la interfase de un cordón de soldadura 61
Figura 4.41. Metalografía de las zonas de soldadura de la probeta Z1 y Z2 61

Figura 4.42. Metalografía de las zonas de soldadura de la probeta Z3 y Z4 61
Figura 4.43. Numero de microporos en función de la velocidad del viento del electrodo E7018 63
Figura 4.44. Tamaño promedio de los microporos en función de la velocidad del viento del electrodo E7018 63
Figura 4.45. Numero de microporos en función de la velocidad del viento del electrodo E6010 64
Figura 4.46. Tamaño promedio de los microporos en función de la velocidad del viento del electrodo E6010 64
Figura 4.47. Número total de microporos en función de las probetas 66
Figura 4.48. Tamaño promedio total de los microporos en la zona de fusión de todas las probetas..... 67
Figura 4.49. Zonas tomadas para el ensayo de dureza..... 69
Figura 4.50. Dureza en función de las probetas..... 70
Figura 4.51. Dureza en función de las probetas..... 70
Figura 4.52. Metalografía zona de fusión de las probetas X1-X5 y Z1-Z5 71
Figura 4.53. Metalografía zona afectada por calor de las probetas X1-X5 y Z1-Z5 . 71

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1 Planteamiento del problema

La soldadura de tuberías y estructuras metálicas normalmente suele realizarse con electrodos revestidos, aunque en este proceso de soldadura exista el peligro de inclusiones de escoria, además el riesgo de contaminación atmosférica por la pérdida de la protección gaseosa sobre la zona de soldadura, lo que afecta de forma desfavorable la calidad de la soldadura.

El transporte de fluidos como petróleo, gas o agua, exige la utilización de grandes cantidades de tubos, de diferentes tipos y tamaños. Las tuberías también se emplean en los sistemas de distribución para edificios y en los distintos circuitos de refinerías y plantas industriales. Además, el perfil tubular ha ido ganando aceptación en la construcción metálica y sustituye, en muchos casos, a perfiles como las U, angulares, etc.

En la unión de perfiles tubulares, la soldadura resulta ser el método más sencillo, pues elimina los complicados diseños de las uniones roscadas y atornilladas, no entorpece la circulación del fluido y reduce notablemente los costos de instalación.

En diferentes zonas de Venezuela específicamente, en la zona norte del estado Anzoátegui, podemos encontrar diferentes tipos de tuberías a campo traviesa así como también estructuras de gran altura, donde éstas son unidas por un proceso de soldadura con electrodo revestido (SMAW), sin tomar en cuenta en algunos casos los efectos que producen las grandes velocidades de viento que puedan existir o generarse mientras se realiza dicho proceso, y al no considerar estos efectos, la soldadura se verá afectada en su calidad debido a la aparición de defectos por causa

de la pérdida de la protección gaseosa proporcionada por la combustión del revestimiento del electrodo.

Es por ello que se plantea en este estudio el diseño y la construcción de un banco de pruebas con la finalidad de determinar los efectos de la velocidad del viento en el proceso de soldadura por arco eléctrico con electrodo revestido (SMAW), en dicho banco de prueba se hará incidir un flujo de aire, perpendicular al arco de soldadura. El rango de velocidades que se utilizará en este trabajo estará determinado por los valores de velocidad del viento obtenidos en la región de estudio (Zona Norte del Estado Anzoátegui) y la velocidad máxima recomendada para este tipo de proceso de soldadura según artículo publicado en la revista científica KOBELCO WELDING TODAY, denominado **"Welding of Offshore Structures"**, (Abril 2003)[1], luego, este rango será simulado en el banco de pruebas para realizar un número significativo de cupones a los cuales se les harán ensayos no destructivos y destructivos, como: inspección visual, rayos x, dureza y macrografía basándose en las normas de calidad: AWS D1.1:2002 **"Código de Soldadura en Estructuras de Acero"**; para determinar los defectos generados por este factor externo (el viento). Normalmente estas discontinuidades, de inaceptables dimensiones y localización, pueden ser causas prematuras de falla, reduciendo la resistencia de la unión a través de concentraciones de esfuerzos dentro de los componentes soldados.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

Determinar experimentalmente la influencia de la velocidad del viento, en la calidad de la soldadura por arco eléctrico con electrodo revestido (SMAW), en posición plana, según la norma AWS D1.1:2002

1.2.2 Objetivos Específicos

1. Determinar un rango de velocidades promedio del viento, a partir de los valores suministrados por la estación meteorológica del aeropuerto José Antonio Anzoátegui, en la zona norte del estado Anzoátegui.

2. Diseñar un banco de pruebas para la determinación de la influencia de la velocidad del viento, en la soldadura por arco eléctrico con electrodo revestido (SMAW), en función al rango determinado de velocidades promedio del viento.

3. Construir un banco de pruebas que simule el rango de velocidades promedio del viento de la zona de estudio, utilizando materiales y equipos disponibles en el mercado local.

4. Determinar la influencia de la velocidad del viento en la soldadura de arco eléctrico con electrodo revestido (SMAW) mediante ensayos destructivos y no destructivos.

5. Elaborar un manual de prácticas de Laboratorio de Ingeniería Mecánica IV, para la incorporación de este equipo al Laboratorio de Procesos de Manufactura del Departamento de Mecánica.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes

- La revista científica KOBELCO WELDING TODAY, Vol.6 (No.2) en Abril del 2003 publica un trabajo denominado **"Welding of Offshore Structures"**, el cual trata sobre la soldadura de estructuras en costa afuera, específicamente en plataformas petroleras, utilizando los procesos SMAW, FCAW y GMAW, a los cuales les aplicaron ensayos no destructivos y destructivos para evaluar los efectos de la humedad, la velocidad de enfriamiento y para el caso de GMAW el efecto del caudal de flujo de gas protector a diferentes velocidades de viento y su incidencia en la formación de poros y en la cantidad de nitrógeno encontrado en el metal soldado.[1]

- Medina, D., en el 2004 presento la tesis titulada **"Calificación de Procedimientos de Soldadura para Juntas Disímiles en la Construcción del Proyecto Hamaca Crudo Mejorado"**, donde se elaboró un procedimiento de soldadura para juntas disímiles, el cual fue calificado bajo las especificaciones de la sección IX del código ASME, en la empresa GBC Ingeniería. Aquí trabajaron con soldadura GMAW y SMAW, realizaron pruebas destructivas y ensayos no destructivos para verificar la calidad de la soldadura lograda. [2]

- Pérez, V., en el 2007 realizó un estudio titulado **"Calificación de un Procedimiento de Soldadura Submarina Húmeda Clase C para Juntas de Filete"**, el cual consistió en calificar un procedimiento para soldadura húmeda rigiéndose por las especificaciones de la norma AWS D3.6 **"Especificaciones para Soldadura Submarina"**, en la empresa OMG. En este estudio

trabajaron con soldadura (SMAW) y realizaron pruebas destructivas y no destructivas para lograr la clasificación C definida bajo la norma anteriormente mencionada. [3]

2.2 Soldadura por arco eléctrico con electrodo revestido

La soldadura por arco eléctrico con electrodo revestido (SMAW) es un proceso de soldadura por arco en el que se produce coalescencia de metales por medio del calor de un arco eléctrico que se mantiene entre la punta de un electrodo cubierto y la superficie del metal base en la unión que se está soldando, la figura 3.1 muestra el proceso de soldadura por arco eléctrico con electrodo revestido.

La soldadura se inicia cuando se enciende un arco eléctrico entre la punta del electrodo y el metal base. El intenso calor del arco derrite la punta del electrodo y la superficie del metal base cerca del arco. En la punta del electrodo se forman con rapidez pequeños glóbulos de metal fundido, Los cuales se transfieren a través del chorro del arco. De esta forma se deposita metal conforme el electrodo se va consumiendo. El arco se mueve sobre el metal base con una longitud de arco y velocidad de desplazamiento, derritiendo y fusionando una porción del metal base y añadiendo continuamente metal de aporte. Puesto que el arco es uno de los más calientes que producen las fuentes de calor comerciales [Se han medido temperaturas por encima de 3.500 grados centígrados en su centro], la fusión del metal base se efectúa en forma casi instantánea al iniciarse el arco. Si la soldadura se hace en posición plana u horizontal, la transferencia de metal es inducida por la fuerza de la gravedad, la expansión del gas, fuerzas eléctricas y electromagnéticas y la tensión superficial. [4], véase la figura 2.1 que muestra proceso de soldadura por arco eléctrico con electrodo revestido.

Figura 2.1. Proceso de soldadura por arco eléctrico con electrodo revestido. [5]

El proceso requiere suficiente corriente eléctrica para derretir tanto el electrodo como una cantidad de metal base. También requiere de una distancia entre la punta del electrodo y el metal base o el charco de soldadura. [4]

La velocidad de fusión de los electrodos está controlada principalmente por la corriente de soldadura, la longitud del arco y el voltaje. El ángulo de ataque del electrodo tiene un efecto significativo sobre la velocidad de fusión. [6]

2.3 Soldabilidad

Este concepto se asocia con la capacidad de mantener la continuidad metálica en la unión de las dos piezas soldadas, es decir la soldadura debe de ser capaz de transmitir los esfuerzos que a lo largo de la vida de la estructura se produzcan en la unión. Para lograrlo han de establecerse una serie de requisitos a todo lo que interviene en el proceso: metal base, electrodo, ejecución del soldeo, fuente energética, calificación de los operarios, etc. [7]

2.4 Electrodos revestidos

El electrodo es una varilla metálica o alambre forrado de un material compuesto de diversos productos químicos, minerales, ferroaleaciones, óxidos metálicos; que sirven como elemento del circuito eléctrico formando el arco entre su extremo y el metal base. Los electrodos revestidos generan su atmósfera de protección a partir de la combustión de ciertos componentes del revestimiento. El metal del núcleo se transfiere a través del arco.

En este tipo de soldadura es conveniente destacar las funciones que desempeñan los revestimientos, ya que de ellos depende fundamentalmente la calidad de los depósitos. [6]

A continuación se muestra la figura 2.2, que indica la clasificación de la AWS de electrodos revestidos para aceros al carbono.

Figura 2.2. Clasificación AWS A 5.1 de electrodos revestidos para aceros al carbono [8]

2.4.1 Funciones del revestimiento

Además de establecer el arco y proporcionar metal de aporte para el depósito de soldadura, el electrodo introduce otros materiales en el arco o sus inmediaciones, o en ambos lugares. Dependiendo del tipo de electrodo que se use, el revestimiento desempeña una o más de las siguientes funciones:

2.4.1.1 Estabilizan el arco eléctrico

Los revestimientos contienen ciertos componentes que ayudan a estabilizar el arco, con el fin de asegurar la continuidad del proceso sin interrupciones. Estos son principalmente sales de sodio y potasio, que se disocian en el arco formando iones conductores de la electricidad, volviendo conductor el espacio que existe entre los polos. Cuando un electrodo contiene sales de sodio, es apto para ser usado con corriente continua es decir que se puede efectuar la soldadura con un rectificador, generador o convertidor. Cuando contiene sales de potasio es apto para corriente alterna y continúa, o sea, se puede usar con cualquier fuente de corriente para soldadura: transformadores, rectificadores, etc. La diferencia se debe a que el potasio se ioniza más fácilmente que el sodio, por ello puede estabilizar un arco más difícil de mantener como el de corriente alterna. Nótese que no puede usarse un electrodo para corriente continua en alterna, el resultado será un arco sumamente inestable.

2.4.1.2 Forman una pantalla gaseosa que protege al metal fundido

Los revestimientos contienen ciertos compuestos que se queman en el acto, generando gases que protegen al metal fundido; tanto el que se transfiere en el arco como el del baño. Protegiéndolo así de la influencia del aire, el cual está compuesto fundamentalmente por nitrógeno y oxígeno, por lo cual los metales fundidos expuestos a él, se oxidaran rápidamente, dando como resultado soldadura de escasa cohesión y pobres propiedades mecánicas, además, si los óxidos quedan atrapados dentro del cordón, las propiedades mecánicas de esté, sufrirán un deterioro mayor. El tipo de compuesto químico que se usa para generar la atmósfera protectora, subdivide a los electrodos en dos grandes grupos dependiendo de si es orgánico o inorgánico, de la siguiente forma.

- **Compuestos orgánicos**

  Se clasifican en electrodos rutílicos y electrodos celulósicos. [4]

  En la tabla 2.1 se muestra la composición química de los gases generados por los electrodos que tienen revestimiento con compuestos orgánicos.

Tabla 2.1 Composición química de los gases generados por los compuestos orgánicos. [6]

Gases generados	Porcentaje de los gases generados
CO	40 - 50
H_2	40 - 50
H_2O	1 - 2
CO_2	1 - 6

- **Compuestos inorgánicos**

Son los electrodos de bajo hidrógeno o básicos.

El hidrógeno presente afecta la ductilidad de los aceros, tornándolos frágiles. Este fenómeno se puede evitar usando revestimientos inorgánicos los cuales no generan hidrógeno y como deben usarse secos, no tienen humedad, por lo tanto los depósitos que producen serán más dúctiles y menos propensos a agrietarse.

Los electrodos cuyo revestimiento es inorgánico generan su atmósfera a partir del carbonato de calcio, el cual al calcinarse con las temperaturas del arco, producen CO y CO_2 solamente.

2.4.1.3 Sirven como medio para efectuar depósitos metálicos

Aparte del metal del núcleo o varilla del electrodo, el electrodo también contiene metales pulverizados en su revestimiento con la finalidad de cambiar la composición del depósito.

Muchos metales se pueden transferir desde el revestimiento, modificando la composición química del cordón y así, mejorar la resistencia mecánica, la dureza, la ductilidad, las propiedades anticorrosivas, etc.; o bien para incrementar la cantidad de material que deposita por unidad de tiempo, convirtiéndolo en un electrodo de alto rendimiento. También contiene elementos desoxidantes y evitan la formación de poros.

2.4.1.4 Permiten la ejecución de soldaduras de posición

El revestimiento al formar una escoria encima del metal fundido, ayuda a que este último permanezca en su sitio, que no gotee o caiga por efecto de la gravedad, debido a que la escoria tiene cierta viscosidad y tensión superficial. Al ejecutar soldadura en posición vertical o sobre cabeza la escoria no debe quedar incluida en el cordón, tiene que estar encima del metal fundido, protegiéndolo hasta que solidifique y manteniéndolo para lograr cohesión perfecta de las partes a unir.

La escoria cuando está fundida, influencia la forma del cordón, en cuanto a su concavidad o convexidad. Esto es importante ya que determina la mayor facilidad en la remoción de escoria en los cordones de raíz, evitando inclusiones en los bordes y como consecuencia soldaduras defectuosas. [4]

2.4.1.5 Forman una escoria que protege al metal

Estando el metal y la escoria fundidos, ésta ejerce una función protectora, eliminando elementos indeseables tales como el azufre y fósforo, que de permanecer en el cordón, por encima del máximo tolerado, lo afectarían negativamente, ya sea desmejorando sus propiedades o provocando grietas en las juntas soldadas. La escoria también protege la solidificación, evita enfriamientos bruscos que pudieran afectar las propiedades metálicas y evita que el cordón se oxide cuando aun está caliente. [6]

2.5 Discontinuidades en la soldadura

La unión soldada debe tener las cualidades necesarias para desempeñar su función esperada en servicio. Para ello, la unión ha de poseer las propiedades físicas y mecánicas requeridas y para esto pueden ser necesarias ciertas micro estructuras y

composición química. También son importantes el tamaño y la forma de la soldadura, así como la integridad de la unión.

La soldadura con electrodo revestido es un proceso manual, y la calidad de la unión depende de la habilidad del soldador que la produce. Por esta razón, es preciso seleccionar con cuidado los materiales que se usaran, además el soldador debe tener aptitud y actitud. Las uniones soldadas, por su naturaleza, contienen discontinuidades de distintos tipos y tamaños. Por debajo de cierto nivel aceptable éstas no se consideran perjudiciales; por encima de ese nivel, se consideran defectos.

En la soldadura hecho con el proceso de soldadura por arco con electrodo revestido (SMAW) a veces se encuentran las siguientes discontinuidades:

2.5.1 Porosidad

Se describe como bolsas de gas o huecos en el metal de soldadura. Estos huecos son el resultado de la formación de gases por ciertas reacciones químicas que ocurren durante la soldadura. Contienen gas en vez de sólidos, y en este sentido se distinguen de las inclusiones de escoria, la figura 2.3 muestra un ejemplo de la porosidad en una unión soldada.

Por lo regular, la porosidad puede prevenirse empleando el amperaje apropiado y manteniendo un arco con la longitud correcta. En muchos casos también resultan útiles los electrodos secos. Si se emplea una corriente elevada o un arco largo, los desoxidantes que un electrodo cubierto requieren se pierden fácilmente durante la deposición; la cantidad que queda nos basta para desoxidar debidamente el metal derretido [4]

Figura 2.3. Porosidad en una unión soldada. [9]

2.5.2 Inclusiones de escoria

Este término se emplea para describir los óxidos y sólidos no metálicos que a veces quedan atrapados en el metal de soldadura entre franjas adyacentes o entre el metal de soldadura y el metal base. Durante la deposición y subsecuente solidificación del metal de soldadura, tienen lugar muchas reacciones químicas. Algunos de los productos de estas reacciones son compuestos no metálicos sólidos insolubles en el metal fundido. En virtud de su menor peso específico relativo, estos compuestos flotaran sobre el metal derretido si es que no quedan atrapados dentro de él, en la figura 2.4 se observa las inclusiones de escoria que quedan atrapadas dentro de la soldadura.

La acción de agitación del arco puede hacer que la escoria que se forma a partir de la cobertura de los electrodos con revestimiento se meta debajo de la superficie del metal derretido también, si el soldador no es cuidadoso la escoria puede fluir hacia delante del arco. Es fácil que suceda esto cuando se suelda sobre la grieta entre dos franjas paralelas pero convexas o entre una franja convexa y una pared lateral del surco.

La mayor parte de las inclusiones de escoria pueden prevenirse con una práctica de soldadura y, en áreas problema, preparando debidamente el surco antes de depositar la siguiente franja de metal de soldadura. En estos casos, debe tenerse cuidado de corregir los perfiles que sean difíciles de penetrar como es debido con el arco [4]

Figura 2.4. Inclusiones de escoria dentro de la soldadura. [3]

2.5.3 Penetración incompleta

Esto se refiere a la incapacidad para fusionar franjas adyacentes de metal de soldadura, o el metal de soldadura con el metal base.

La penetración incompleta puede deberse a que el metal base no se elevó al punto de fusión. La causa también puede ser que, por carencia de fundente no se disolvieron los óxidos o demás materiales extraños que podrían estar presentes en la superficie que debe fusionarse con el metal de soldadura. [4], véase figura 2.5 que muestra un ejemplo de penetración incompleta en soldadura.

Figura 2.5. Penetración Incompleta en Soldadura. [3]

2.5.4 Socavamiento

Este término se usa para describir una de dos situaciones. La primera es cuando se derrite la pared lateral de un surco de soldadura en el borde de la franja, con la formación de un nicho agudo en la pared lateral en el área donde se va a depositar la siguiente franja. La otra es cuando se reduce el espesor del metal base en la línea donde las franjas de la capa final de metal de soldadura se ligan a la superficie del metal base (esto es, en el pie de la soldadura).

Estos tipos de defectos aumentan si el amperaje es elevado y el arco largo. Otras causas son una posición incorrecta del electrodo o una velocidad de recorrido inadecuado, así como tardarse demasiado en los cambios de dirección de una soldadura “Tejido”. Incluso el tipo de electrodo influye sobre este fenómeno. Las distintas clasificaciones de electrodos presentan características muy diversas en este respecto. Con algunos electrodos, incluso el soldador más habilidoso podría verse

imposibilitado para evitar por completo este defecto en ciertas posiciones de soldadura, sobre todo en uniones con acceso restringido.

El grado de socavamiento que se permite en una soldadura terminada por lo regular está determinado por el código de fabricación empleado y es necesario seguir los requisitos especificaciones porque un socavamiento excesivo puede reducir apreciablemente la resistencia mecánica de la unión. Esto es aun más importante en aplicaciones sujetas a fatiga. Por fortuna, este tipo de socavamiento puede detectarse mediante un examen visual de la soldadura terminada y puede corregirse mediante abrasión de fusionado o depositando una franja adicional. [4]

2.5.5 Grietas

El agrietamiento de las uniones soldadas puede clasificarse como agrietamiento en caliente o en frió. Esta discontinuidad puede producir grietas en el metal de soldadura, en el metal base, o en ambos. Si se observa agrietamiento durante la soldadura, las grietas deberán eliminarse antes de seguir soldando, porque si se deposita material de soldadura sobre una grieta esta puede continuar hacia la franja recién depositada, véase la figura 2.6 la cual muestra un caso típico de este tipo de defecto en una unión soldada.

El agrietamiento en caliente es una función de la composición química y su causa principal es la presencia en el metal de soldadura de constituyentes con punto de fusión relativamente bajos los cuales se acumulan en las fronteras de los granos durante la solidificación. Un ejemplo típico es el sulfuro de hierro en aceros. Las grietas son intergranulares o interdendriticas, y se forman conforme el metal de soldadura se enfría. Al avanzar la solidificación en el metal de soldadura los esfuerzos de encogimiento aumentan hasta que llega un momento en que los granos que todavía tienen algo de líquido en sus fronteras se separan. Las estructuras de

grano gruesa o de una sola fase son muy propensas a este tipo de agrietamiento. Entre las soluciones aplicables a los problemas de agrietamiento están:

- Cambiar el metal base (por ejemplo, usar un acero con adiciones de manganeso, o uno producida de modo que tenga una estructura de grano fino).

- Cambiar el metal de aporte (por ejemplo, usando metal de aporte con suficiente ferrita al soldar acero inoxidable austenítico).

- Modificar el procedimiento de soldadura ajustando las temperaturas de precalentamiento y entre pasadas, y reduciendo las Corrientes de soldadura.

El agrietamiento en frío se debe a la falta de ductilidad o a la presencia de hidrogeno en aceros endurecibles. La causa de esta condición es una tenacidad insuficiente en presencia de muesca mecánica o metalúrgica y esfuerzos de cierta magnitud. Para evitar el agrietamiento en frió en aceros endurecibles es preciso emplear electrodos de bajo hidrogeno secos y un precalentamiento adecuado. [4]

Figura 2.6. Grietas en unión soldada. [9]

2.5.6 Traslape

Se produce en la raíz o pie de la junta, y ocurre debido al flujo de metal más allá de las paredes de la unión, como se muestra en la figura 2.7. Dos causas comunes del traslape como discontinuidad son una muy lenta velocidad de avance y la preparación del metal base. [3]

Figura 2.7. Traslape del material depositado hacia un lateral de la unión soldada. [3]

2.6 Calidad de soldadura

Calidad es la conformidad entre, algo perteneciente a la realidad, con lo establecido, respecto de ese algo, en un documento llamado especificación. Esta conformidad sólo puede ser verificada a través de medición. Sólo existe un camino para verificar si algo es de calidad: medir y comparar lo obtenido con lo especificado. Una discordancia entre lo medido y lo especificado implica una no conformidad y el diseñador o la ingeniería (quien establece la especificación a usar) establecerán la manera de manejar estas no conformidades. [10]

Con respecto a la norma AWS existes ensayos específicos para la detección de los defectos y discontinuidades de la soldadura, los cuales son:

2.6.1 Ensayos No Destructivos

Los ensayos no destructivos permiten controlar la calidad de las estructuras soldadas sin destruirlas ni alterar su capacidad de servicio. Mediante ensayos de esta naturaleza, pueden detectarse los defectos, tanto superficiales como internos, que se encuentran normalmente en una soldadura, cuando el procedimiento, la técnica operatoria o los materiales utilizados no son los más favorables.

2.6.1.1 Inspección Visual

La inspección visual de soldaduras es una herramienta de vital importancia en la obtención de resultados satisfactorios desde el punto de vista productivo y de calidad en los proyectos de construcción con soldadura. Enfocada y utilizada correctamente la inspección visual tiene elevadas posibilidades de detectar y corregir diversos inconvenientes de manera oportuna evitando los elevados gastos en tiempo y dinero que ellos hubieran ocasionado en el desarrollo del proyecto. [10]

2.6.1.2 Ensayo de rayos x

La radiografía es un método de inspección no destructiva que se basa en la absorción diferenciada de radiación penetrante por la pieza que está siendo inspeccionada. Esa variación en la cantidad de radiación absorbida, detectada mediante un medio, nos indicará, entre otras cosas, la existencia de una falla interna o defecto en el material.

La radiografía industrial es entonces usada para detectar variaciones de una región de un determinado material que presenta una diferencia en espesor o densidad comparada con una región vecina, en otras palabras, la radiografía es un método capaz de detectar con buena sensibilidad defectos volumétricos.

La fiabilidad y valor de las imágenes radiográficas son función de la nitidez y contraste. Para asegurar la fiabilidad de las imágenes se utilizan los indicadores de calidad de la imagen (IQI). Estos pueden ser huecos o macizos. En el primer caso están constituidos por una pieza que tiene unos taladros de diferentes diámetros y que su espesor es proporcional al espesor de la pieza a radiografiar. En el caso de los indicadores macizos estos están constituidos por hilos de distintos espesores. La sensibilidad queda determinada por el espesor mínimo del taladro o agujero que puede verse claramente en la radiografía. [11]

Figura 2.8. Radiografía en soldadura. [11]

2.6.2 Ensayos Destructivos

Si la soldadura va a ser parte de un conjunto o estructura grande, se pueden efectuar pruebas destructivas en muestras o probetas, similares a la unión soldada real. En una prueba destructiva se dobla, tuerce o se trata de separar por tracción

(estiramiento) la soldadura para determinar si hay fallas. Estas son pruebas sencillas que se pueden efectuar en cualquier taller de soldadura sin necesidad de un equipo costoso. [12]

2.6.2.1 Macrografía

Los especímenes de muestra para ensayos de soldadura deberán prepararse con un acabado apropiado para el examen de macrografía. Deberá utilizarse una solución para el decapado con ácido para entregar una clara definición de la soldadura, en la figura 2.8 se ilustra un ejemplo de una macrografía a una unión soldada. [13]

Figura 2.9. Macrografía en soldadura. [13]

2.6.2.2 Metalografía

La metalografía es la disciplina que estudia microscópicamente las características estructurales de un metal o de una aleación. Sin duda, el microscopio es la herramienta más importante del metalurgista tanto desde el punto de vista científico como desde el técnico. Es posible determinar el tamaño de grano, forma y distribución de varias fases e inclusiones que tienen gran efecto sobre las propiedades mecánicas del metal. [14]

- **Preparación de la muestra**

  La clave para obtener una interpretación precisa de una microestructura es una buena preparación de la muestra la cual debe ser representativa del material que se examina, usualmente una soldadura se examina por medio de una sección transversal. La definición de una buena preparación establece que la sección debe:

a) Ser plana, libre de rayas, manchas y otras imperfecciones que tienden a opacar la superficie.

b) Contener todas las inclusiones intactas.

c) Mostrar intactos todos los microconstituyentes duros y frágiles tales como los compuestos intermetálicos. Esto se refiere a que los mismos no deben presentar fractura o desprendimiento de partes.

d) Estar libre de perturbaciones, como por ejemplo deformaciones plásticas superficiales. [15]

- **Ataque químico de la muestra**

El propósito del ataque químico es hacer visibles las características estructurales del metal o aleación. El proceso debe ser tal que queden claramente diferenciadas las partes de la micro estructura. Esto se logra mediante un reactivo apropiado que somete a la superficie pulida a una acción química. Los reactivos que se sutilizan consisten en ácidos orgánicos o inorgánicos disueltos en alcohol, agua u otros solventes. En la tabla 2.2 que se muestra a continuación se observan los reactivos más comunes.

Las muestras pueden ahora atacarse durante el tiempo necesario sumergiéndolas boca abajo en una solución contenida en una caja de Petri. Un método opcional consiste en aplicar el reactivo con un gotero para ojos. Si el tiempo de ataque es demasiado corto, la muestra quedará sub atacada y los límites de grano y otras configuraciones se verán desvanecidos e indistintos cuando se observen en el microscopio. Si el tiempo de ataque es

demasiado largo, la muestra se sobre atacará y quedará muy obscura, mostrando colores no usuales. El tiempo de ataque debe controlarse muy cuidadosamente.

La acción del ataque se detiene al colocar la muestra bajo una corriente de agua. Límpiese la muestra con alcohol y utilice una secadora de pelo para terminar de secarla. Cuídese de no frotar la muestra pulida y atacada con alguna tela o con los dedos, porque esto altera la condición superficial del metal. [14]

Tabla 2.2. Reactivos más comunes usados en ataque químicos de metales. [14]

METALES	REACTIVO	COMPOSICION	OBSERVACIONES
Hierro y acero al carbono	Nital	2 a 5% de ácido nítrico en alcohol metílico.	Obscurece la perlita en aceros al carbono Diferencia la perlita de la martensita: revela los límites de grano de la ferrita, muestra la profundidad del núcleo en los aceros nitrurados. Tiempo: 5 a 60 segundos
	Picral	4 g de ácido pícrico en 100 ml de alcohol metílico.	Para aceros al carbón y de baja aleación es tan bueno como el nital para revelar los límites de grano de la ferrita. Tiempo 5 a 120 segundos.
	Ácido clorhídrico y ácido pícrico.	5 g de ácido clorhídrico y 1 g de ácido pícrico. En 100ml de alcohol metílico.	Revela los granos de austenita en los aceros templados y en los templados y revenidos.

2.6.2.3 Ensayo de dureza

El ensayo de dureza, es uno de los más empleados en la selección y control de calidad de los metales. Intrínsecamente la dureza es una condición de la superficie del material y no representa ninguna propiedad fundamental de la materia. Se evalúa convencionalmente por dos procedimientos. El más usado en metales es la resistencia a la penetración de una herramienta de determinada geometría.

El ensayo de dureza es simple, de alto rendimiento ya que no destruye la muestra y particularmente útil para evaluar propiedades de los diferentes componentes microestructurales del material.

Los métodos existentes para la medición de la dureza se distinguen básicamente por la forma de la herramienta empleada (penetrador), por las condiciones de aplicación de la carga y por la propia forma de calcular (definir) la dureza. La elección del método para determinar la dureza depende de factores tales como tipo, dimensiones de la muestra y espesor de la misma. [16]

Figura 2.10. Durómetro para medida de dureza Rockwell. [17]

CAPÍTULO III: DESARROLLO DEL TRABAJO

3.1 Generalidades

En este capítulo se desarrolla uno a uno los objetivos específicos planteados en miras de alcanzar el objetivo general del presente trabajo, que es la determinación experimental de la influencia de la velocidad del viento sobre el proceso de soldadura por arco eléctrico. A continuación se observa la figura 3.1, la cual muestra la metodología empleada para el desarrollo de este trabajo para luego mostrar en detalle cada una de las etapas que la conforman.

Figura 3.1 Flujograma con las etapas del proyecto

3.2 Metodología

3.2.1 Revisión bibliográfica

Se procedió a la búsqueda y recopilación de la información necesaria para el desarrollo del trabajo de grado, a través de libros, revistas científicas, antecedentes, la red mundial de información (Internet) y todo el material referente al tema

3.2.2 Determinación del rango de las velocidades promedio del viento.

Se obtuvieron los valores de las diferentes velocidades del viento de la zona norte del estado Anzoátegui, mediante un registro de datos mensuales del año 2008, suministrados por el personal de la estación meteorológica del aeropuerto José Antonio Anzoátegui de Barcelona, que muestra de forma detallada el valor de la velocidad del viento para cada hora del día. Estos datos fueron tomados con un anemómetro de rotación (Robinson) a una altura de 10 metros. Dicho registro muestra

la velocidad promedio y la velocidad máxima promedio de cada mes, siendo estos los datos requeridos para la determinación del rango de velocidades promedio que se simuló en el banco de pruebas, el cual fue obtenido aplicando un muestreo intencionado a todos los datos. En el apéndice D se muestra el registro mensual de las velocidades del viento del año 2008.

3.2.3 Diseño del banco de pruebas

La construcción del banco de pruebas para la determinación de la influencia de la velocidad del viento en la soldadura por arco eléctrico con electrodo revestido, requiere de una instalación de dimensiones reducidas, la cual ocupe poco espacio físico y que además se pueda posicionar en cualquier lugar del laboratorio, pero que también tenga el tamaño suficiente para poder realizar las uniones de soldadura y que se permita visualizar todo el proceso, todo esto tomando en cuenta materiales que se encuentren en el mercado local, los planos que muestran con detalle las partes que conforman al banco de pruebas y sus dimensiones se encuentran en el apéndice C. Según el estudio a realizar en el banco de pruebas, ésta instalación requería de ciertos sistemas para hacer posible su apropiado funcionamiento, entre los cuales se puede mencionar los siguientes: sistema de generación y control de flujo (motor, aspa, acople aspa/motor y variador de frecuencia), un sistema rectificador de flujo (panel de pitillos), sistema de conducción de flujo (ducto), sistema para ejecución de soldadura (mesa o soporte). Todos estos componentes están instalados sobre una mesa de madera la cual le proporciona la altura y rigidez necesaria para garantizar la estabilidad del banco de pruebas. En la figura 3.2, se muestra un bosquejo del banco de pruebas con todos sus componentes.

Figura 3.2. Bosquejo del banco de pruebas con todos sus componentes

3.2.3.1 Sistema de generación y control de flujo

- **Aspa**

Según el rango de velocidades obtenido, la sección transversal del banco de pruebas y la disposición en el mercado local, se hizo la selección del aspa. En las figuras 4.1 4.2 se muestra con más detalle las características del aspa seleccionada para este estudio.

- **Motor Eléctrico**

El motor requerido es un motor eléctrico de pequeñas dimensiones el cual cumpla con los requerimientos exigidos por la instalación. En las figuras 4.3 y 4.4 se observa el motor seleccionado y sus características La selección se hizo tomando en cuenta el rango de velocidades del viento, el aspa seleccionada, la velocidad de giro y la posibilidad del uso de un variador de frecuencia.

- **Acople aspa/motor**

Para lograr el acople entre el aspa y el motor se diseñó una pieza, la cual se muestra en la figura 4.5, que cumpliera con las dimensiones exigidas por el aspa, debido a que el diámetro del eje del motor era mayor al diámetro requerido por el aspa, así como también alargar el eje del motor para evitar el choque entre los dos componentes. Esta pieza está elaborada en acero AISI 1045 y fue mecanizada en un torno para lograr las dimensiones requeridas.

- **Variador de F*r*ecuencia**

Tomando en cuenta el motor seleccionado y la necesidad de variar la velocidad de giro de éste, con el fin de obtener diferentes velocidades de viento, se hizo la selección de un variador de frecuencia, el cual cumpla con las exigencias requeridas. En las figuras 4.6 y 4.7 se muestra una vista frontal del variador de frecuencia usado en este trabajo y la placa con sus características respectivamente.

3.2.3.2 Sistema de conducción de flujo

- **Ducto**

El ducto es el encargado de contener y conducir el flujo de aire a lo largo de toda la instalación y dentro del cual se realiza la soldadura, en el interior de este se encuentra el sistema rectificador de flujo y el sistema de ejecución de la soldadura. Para observar con más detalle el ducto ver figura 4.8

Para el diseño del ducto tomamos en cuenta varios criterios como la longitud del electrodo, la longitud del cordón de soldadura, el chisporroteo y las altas temperaturas que se producen durante el proceso.

3.2.3.3 Sistema rectificador de flujo

- **Panal de Abejas**

Esta estructura está formada por un conjunto de tubos delgados agrupados dentro de la sección transversal del ducto. En las figuras 4.9 y 4.10

se observa la estructura de panal de abeja con mas detalle, esta estructura tiene como función suprimir las irregularidades transversales de la velocidad del aire que introducen las palas del ventilador, así como encausar el flujo en una dirección.

3.2.3.4 Sistema para ejecución de soldadura

Este sistema está constituido por una mesa de soporte que se encuentra en el interior del ducto seguido del sistema rectificador de flujo. Ver figuras 4.11 y 4.12 donde se muestra con detalle este sistema. El cual tiene forma de omega para que no afecte significativamente al flujo además de un sistema de sujeción para mantener la probeta fija mientras se realiza la soldadura.

3.2.4 Construcción del banco de pruebas

Una vez concluido el diseño y seleccionados los componentes que constituyen el banco de pruebas se procedió a la construcción del mismo, lo cual consistió en ensamblar las partes seleccionas según las condiciones de diseño. La figura 4.13 muestra el banco de pruebas ya ensamblado.

En la mesa que soporta el banco de pruebas se coloco una lamina de madera MDF fijada con tornillos a la mesa, sobre ésta lamina de MDF, se fijo también con tornillos una lamina de acero para proteger la madera del chisporroteo y sobre la cual se va a colocar la mesa de soporte para ejecución de soldadura, luego se colocaron ángulos de aluminio fijados con tornillos, los cuales son los que sujetan a los dos vidrios lisos transparentes que conformaran los laterales del ducto, la parte superior del ducto (techo del ducto) está conformada por una lamina acrílica transparente lisa, la cual tiene una ranura rectangular, para así introducir el electrodo, esta ranura se encuentra alineada con el sistema de ejecución de soldadura.

3.2.5 Selección del instrumento de medición

Para medir las velocidades del viento en el banco de pruebas durante la ejecución de la soldadura, se selecciono un anemómetro portátil tipo turbina, el cual cumple con los requerimientos del rango de velocidad obtenido. En la figura 4.14 se muestra con mayor detalle el anemómetro utilizado en este estudio.

3.2.6 Diseño y preparación de las probetas

Para realizar las uniones de soldadura fue necesario hacer un diseño y preparación de las probetas, en este caso realizamos 30 uniones de soldadura a tope en posición plana (1G), utilizando dos pletinas de acero tipo comercial, a las cuales con una fresadora horizontal se le hizo un desbaste, ver figuras 4.15 y 4.16, en una de las caras laterales de cada pletina, para eliminar los defectos ocasionados por el proceso de laminación, para luego hacerle a cada pletina un bisel con un ángulo de 30 grados con respecto a la vertical, sobre la misma cara lateral, utilizando la misma fresadora, ver figuras 4.17 y 4.18 las cuales muestran el proceso realizado.

Después de haber preparado las pletinas, se diseño un mecanismo para la elaboración de las probetas, el cual consistió en colocar dos pletinas con una separación entre ellas y unirlas con un punto de soldadura en cada extremo, con el fin de mantener la separación uniforme en toda su longitud. Ver las figuras 4.19 y 4.20 en donde se puede apreciar la fase final de la elaboración de las probetas.

3.2.7 Ejecución de la soldadura

Con el banco de pruebas ensamblado, procedimos a realizar los cordones de soldadura, en el cual usamos como metal base láminas de acero y 2 tipos de electrodos revestidos el E-6010 y E-7018, los cuales fueron usados con la

denominación X y Z respectivamente. Para cada electrodo realizamos 3 cordones por cada una de las velocidades del viento, teniendo así un total de 30 probetas. En el momento que realizamos los cordones de soldadura mantuvimos fijos los siguientes parámetros: amperaje, velocidad de avance y longitud de arco. Para garantizar que durante la ejecución de la soldadura, los parámetros como la velocidad de avance y la longitud de arco se mantuvieran constantes en cada prueba, esta fue ejecutada por un soldador certificado, también se midieron con el uso de un multímetro la intensidad de corto circuito, el voltaje de circuito abierto así como el voltaje y la intensidad de soldadura durante la ejecución de la soldadura de cada unión. De las 30 probetas obtenidas se separaron en 15 probetas por cada electrodo, estas a su vez se dividieron para cada electrodo en tres grupos de cinco probetas cada uno de acuerdo a la velocidad del viento, llamados: **A, B y C**, el grupo **C** fue dejado como testigo y los grupos **A y B** de cada electrodo fueron utilizados para los ensayos destructivos y no destructivos.

3.2.8 Ensayos destructivos y no destructivos realizados para determinar la influencia de la velocidad del viento en la soldadura por arco eléctrico

Ya con las probetas seleccionadas se procedió a someterlas a una serie de ensayos destructivos y no destructivos con el fin de determinar el efecto que pudiese tener la velocidad del viento sobre la soldadura por arco eléctrico.

3.2.8.1 Ensayos no destructivos

- **Inspección visual**

  Realizamos una inspección visual con la ayuda de una lupa, una lámpara, con la finalidad de estudiar la superficie del cordón de soldadura, el

grado de salpicaduras, así como también la búsqueda de socavaduras de borde y cualquier otro defecto que pueda ser apreciable con este ensayo.

- **Ensayo de rayos x**

Realizamos pruebas de rayos x a las 20 probetas seleccionadas, con la finalidad de estudiar la estructura interna del cordón de soldadura, buscar fallas o defectos que pudieran ser originadas por el efecto del viento, como: porosidades, inclusiones de escoria, falta de penetración y desplazamiento del cordón.

La técnica que se utilizo en este ensayo fue la de pared sencilla, usando un penetrómetro de acuerdo con el espesor de la lámina, con un hilo requerido numero 14, para garantizar la calidad de la técnica radiográfica.

Este estudio fue realizado en las instalaciones de la empresa SOLTUCA.

3.2.8.2 Ensayos destructivos

- **Macrografía**

Este estudio lo realizamos con el objeto de apreciar el perfil del cordón de soldadura. Para la realización de este ensayo seleccionamos todas las probetas del grupo **B** correspondientes al electrodo E-7018, mas la probeta realizada con la máxima velocidad del viento del grupo **A** de este mismo electrodo, esto debido a que ambos grupos fueron realizados bajos las mismas condiciones y con la finalidad de tener todos los perfiles posibles, conjuntamente se seleccionaron para este estudio las probetas ejecutadas con

las velocidades mínima, intermedia y máxima correspondiente al electrodo E-6010 debido a que este electrodo es usado en donde las condiciones de soldadura no son las ideales, generando un deposito de soldadura sin poros, ni inclusiones de escoria, además de proporcionar una soldadura de gran calidad.

Para realizar la macrografía hicimos un corte transversal a cada una de las probetas seleccionadas para este ensayo, las cuales se pulieron hasta lograr una superficie que permitiera un buen revelado de la soldadura después de ser atacada con nital al 10% de concentración.

- **Micrografía**

Para este ensayo tomamos las mismas probetas que utilizamos en el ensayo de macrografía debido a las razones anteriormente mencionadas. A través de este ensayo quisimos comparar la morfología de las fases metalográficas presentes en cada una de las probetas sometidas a estudio, así como encontrar defectos microscópicos que se pudieran apreciar.

Las probetas que seleccionamos fueron previamente preparadas con las técnicas de pulido y ataque químico, descritas en el manual de **"Laboratorio de Ingeniería Mecánica II de Metalurgia"** de la profesora Glorys López (ver apéndice D). Luego dividimos la zona de fusión en dos campos o hemisferios para cada probeta, un campo a sotavento y otro a barlovento ambos a 100X, donde fueron visualizados en el microscopio para detectar y poder cuantificar en barlovento, sotavento y por área los posibles defectos que hayan sido ocasionados por la influencia del viento.

- **Ensayo de dureza**

  Este ensayo nos ayudo a estudiar y complementar todos los ensayos metalográficos, aportando valores de dureza tomados en diferentes zonas del cordón de soldadura como la zona de fusión, zona afectada por calor y metal base.

3.2.9 Elaboración de un Manual de operación para prácticas de Laboratorio de Ingeniería Mecánica IV

Realizamos un manual para el uso correcto del banco de pruebas tomando en cuenta las características de operación de los equipos, así como una práctica de laboratorio modelo la cual puede ser modificada dependiendo de los objetivos planteados, esta práctica está adaptada para ser aplicada en la asignatura Laboratorio de Ingeniería Mecánica IV en el área de procesos de manufactura.

3.3 Equipos, materiales y sustancias utilizadas

Los equipos, materiales y sustancias utilizadas en la determinación experimental de la influencia de la velocidad del viento en el proceso de soldadura por arco eléctrico se encuentran en la Universidad de Oriente núcleo Anzoátegui y se muestran a continuación en las tablas 3.1, 3.2 y 3.3.

Tabla 3.1. Equipos utilizados en la determinación experimental de la influencia de la velocidad del viento en la soldadura por arco eléctrico

Equipos utilizados
Maquina de soldar SMAW
Microscopio óptico
Durómetro Rockwell
Estereoscopio
Tren de pulido
Anemómetro Portátil
Variador de frecuencia
Motor eléctrico trifásico

Tabla 3.2. Materiales utilizados en la determinación experimental de la influencia de la velocidad del viento en la soldadura por arco eléctrico

Materiales utilizados
Lijas de diferentes tamaño de grano
Resinas
Paños para pulido
Algodón

Tabla 3.3. Sustancias utilizadas en la determinación experimental de la influencia de la velocidad del viento en la soldadura por arco eléctrico

Sustancias utilizadas
Agua
Alcohol isopropílico
Suspensión de diamante para pulir
Nital

CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y ANALISIS

4.1 Generalidades

En este capítulo se mostraran los resultados con sus respectivos análisis de cada uno de los objetivos planteados para la determinación experimental de la influencia de la velocidad del viento en la soldadura por arco eléctrico.

4.2 Revisión Bibliográfica

Esta etapa fue fundamental para el diseño y construcción del banco de pruebas para la determinación de la influencia de la velocidad del viento en la soldadura por arco eléctrico, para la cual fue necesario la recopilación de las velocidades promedio del viento del año 2008, así como la lectura de trabajos anteriores, libros y publicaciones científicas relacionadas con el tema que pudieran orientarnos y servir de fundamento para este trabajo de grado, también, apoyándose en la norma AWS D1.1 : 2002 para la realización de los ensayos destructivos y no destructivos.

4.3 Resultados de la determinación del rango de velocidades promedio del viento

La tabla 4.1 muestra los valores de las velocidades del viento que fueron simuladas en el banco de pruebas, así como también el valor de la frecuencia correspondiente a cada velocidad. Estas velocidades fueron obtenidas realizando un muestreo intencionado a las velocidades promedio del viento y a las velocidades máximas promedio del viento de cada mes, de todo el año 2008, para dicho muestreo se considero un rango significativo que incluyera la velocidad máxima recomendada para este tipo de proceso de soldadura según artículo publicado en la revista científica KOBELCO WELDING TODAY, denominado **“Welding of Offshore**

Structures”, la cual es de 5 m/s, así como una separación considerable entre cada uno de los valores de la velocidad del viento, para así poder determinar la influencia del viento en la soldadura por arco eléctrico . En el apéndice D se muestra un fragmento del artículo publicad.

Tabla 4.1. Rango de velocidades promedio del viento

Rango de velocidades del viento		
Número	**Velocidad (m/s)**	**Frecuencia (Hz)**
1	1,4	20,5
2	3,4	40,5
3	5	53
4	6,7	58,6
5	8,3	62

4.4 Resultados del diseño del banco de pruebas

A continuación se mostraran los resultados del diseño del banco de prueba correspondiente a la selección de todos los componentes que lo conforman con sus características más importantes.

4.4.1 Resultados del Sistema de generación y control de flujo

4.4.1.1 Aspa

El aspa seleccionada consta de 3 palas fabricadas en aluminio y un diámetro de 45,72 cm (18 pulgadas). La cual garantiza el rango de velocidades. En las figuras 4.1 y 4.2 se puede observar con más detalles las características de dicha aspa.

Figura 4.1. Aspa

Figura 4.2. Vista de lado del aspa

4.4.1.2 Motor Eléctrico

El motor eléctrico que se selecciono tiene como características más resaltantes: marca Siemens, modelo 1LA7, potencia de 0,75 HP, velocidad de giro nominal de 3430 rev/min, su conexión eléctrica es trifásica de 220/440 V y consume 2,4/1,2 A. Las Figuras 4.3 y 4.4 muestran con más detalle las características de dicha motor eléctrico

Figura 4.3. Motor Eléctrico

Figura 4.4. Características técnicas del motor eléctrico

4.4.1.3 Acople Aspa/motor

Esta pieza fue elaborada en acero AISI 1045 y fue mecanizada en un torno para lograr las dimensiones, (ver dimensiones del acople en la figura c.4 del apéndice C), exigidas por el aspa además para que no interfiera con el motor. En la figura 4.5 se muestra con más detalle las características de dicho acople.

Figura 4.5. Acople aspa-motor

4.4.1.4 Resultados de variador de frecuencia

La selección del variador de frecuencia se hizo tomando en cuenta las características del motor, las características más resaltantes del variador seleccionado son las siguientes: Marca: General Electric, para motores trifásicos y monofásicos de máximo 1 hp, Voltaje de entrada: 200/240 V.

Figura 4.6. Variador de Frecuencia

Figura 4.7. Características del Variador de Frecuencia

4.4.2 Resultados del sistema de conducción de flujo

4.4.2.1 Ducto

El ducto seleccionado se elaboro con unas dimensiones de 50 cm de ancho, 50 cm de alto y 183 cm de largo, las cuales son suficientes para poder realizar la soldadura, además de tener una longitud reducida para su fácil manejo y transporte, fue fabricado con vidrio ya que es un material resistente y que a su vez permite observar todo el proceso. En la figura 4.8 se puede apreciar con las detalle las características del ducto seleccionado.

Figura 4.8. Vista frontal de la parte interior del ducto

4.4.2.2 Panal de abejas

El panal de abejas se construyó con 6000 tubos delgados (pitillos) de 0.5 cm de diámetro y 19 cm de largo, los cuales fueron agrupados entre si para formar una sección transversal cuadrada correspondiente al área del ducto. Ver figuras 4.9 y 4.10 para observar con detalle la estructura de panal de abejas.

Figura 4.9. Detalle del panal de abejas

Figura 4.10. Panal de abejas en el ducto

4.4.3 Sistema para ejecución de soldadura

Este soporte se selecciono con la finalidad de poder realizar la soldadura dentro del banco, y consta de las dimensiones: 34 cm de ancho, 27 cm de alto y 14 cm de largo, las cuales son las necesarias para la ejecución de la soldadura, tomando en cuenta la longitud del electrodo y el chisporroteo durante la ejecución.

Figura 4.11. Vista de frente de sistema de ejecución de soldadura

Figura 4.12. Vista de lado de sistema de ejecución de soldadura

4.5 Resultados de la construcción del banco de pruebas

Una vez concluido el diseño y la selección de los componentes que conforman al banco de pruebas, se ensamblaron cada uno de ellos de la siguiente manera: la mesa que soporta el banco de pruebas se coloco una lamina de madera MDF de 15 mm de espesor 210 cm de largo y 62 cm de ancho fijada con tornillos a la mesa, sobre ésta lamina de MDF, se fijo también con tornillos una lamina de acero de 5 mm de espesor de dimensiones 60 cm de largo por 45 cm de ancho, para proteger la madera del chisporroteo y sobre la cual se colocó el soporte para ejecución de soldadura, luego se procedió a colocar ángulos de aluminio fijados con tornillos, los cuales son los que sujetan a los dos vidrios lisos transparentes de 5mm de espesor de dimensiones 150 cm de largo por 50 cm de ancho que conformaran los laterales del ducto, la parte superior del ducto (techo del ducto) está conformada por una lamina acrílica transparente lisa de 3 mm de espesor, la cual tiene una ranura rectangular de dimensiones 24 cm de largo por 3 cm de ancho, para así introducir el electrodo, esta ranura se encuentra alineada con el sistema de ejecución de soldadura, a continuación se muestra en la figura 4.13 el esquema del banco de pruebas ya ensamblado:

Figura 4.13. Banco de Pruebas con todos sus elementos constitutivos

4.6 Resultados de la selección del instrumento de medición

El instrumento de medición seleccionado para lograr medir las velocidades del viento y poder realizar las uniones de soldadura según el rango de velocidades determinado, fue un anemómetro portátil de tipo turbina el cual tiene entre sus características más resaltantes las siguientes: Marca Lutron, modelo AM-4203, rango de velocidad 0.4 a 25 m/s y apreciación de +/- 0.1 m/s. en la figura 4.14 se muestra el anemómetro portátil seleccionado para medir las velocidades del viento.

Figura 4.14. Anemómetro digital portátil tipo turbina

4.7 Resultados del diseño y preparación de las probetas

La probeta que se diseño consta de dos pletinas de acero tipo comercial, de 5 mm de espesor, 200 mm de largo y 50 mm de ancho, a las cuales con una fresadora horizontal se le hizo un desbaste de 1 mm, (ver figuras 4.15 y 4.16 que muestran el proceso de desbaste con la fresadora), en una de las caras laterales de cada pletina para eliminar los defectos ocasionados por el proceso de laminación, para luego hacerle a cada pletina un bisel con un ángulo de 30 grados con respecto a la vertical, sobre la misma cara lateral, utilizando la misma fresadora, quedando así un talón de 1.5 mm ver figura 4.17 la cual muestran el proceso realizado.

Todos los criterios tomados en la preparación de las probetas como: biselado de 30 grados con respecto a la vertical, talón de 1,5 mm y separación de 1 mm entre cada pletina, están basados en la norma AWS D1.1:2002.

Para lograr mantener la separación de 1 mm entre cada pletina, fue necesario utilizar un montaje en el cual se pudiera mantener la distancia y poder unir las pletinas mediante un punto de soldadura en cada extremo, en la figura 4.18 se muestra el montaje y el proceso de unión de las probetas para mantener la separación de 1 mm. Las probetas ya unidas con la separación de 1 mm se muestran en la figura 4.19.

Figura 4.15. Preparación de las pletinas en una fresadora horizontal

Figura 4.16. Vista lateral de la cara desbastada por la fresadora

Figura 4.17. Proceso de preparación de bisel en la fresadora

Figura 4.18. Montaje para la unión en cada extremo de la probeta para mantener la separación.

Figura 4.19. Probetas ya unidas con la separación de 1 mm

4.8 Resultados de la ejecución de la soldadura

Se realizaron las 30 uniones de soldadura, las cuales se dividieron en sus respectivos grupos según electrodo y velocidad del viento, para luego realizar los ensayos planteados y así determinar la influencia de la velocidad del viento en la soldadura por arco eléctrico. En la siguiente figura 4.21 vemos las probetas ya soldadas y distribuidas.

Figura 4.20. Distribución de las probetas ya soldadas

4.9 Resultados de ensayos no destructivos y destructivos

4.9.1 Ensayos no destructivos

4.9.1.1 Inspección visual

La inspección visual se le realizo a las probetas del grupo A y B de ambos electrodos, en la tabla 4.2 se muestran los resultados obtenidos de este ensayo en la cual se puede apreciar que para el grupo A del electrodo E-6010 no presento defectos por la velocidad del viento, mientras que para el grupo B de este mismo electrodo en las probetas soldadas con las velocidades 2 y 3 si se encontraron defectos como socavaduras y proyecciones pero no debido a el efecto del viento sino atribuibles a la ejecución de la soldadura y a la técnica del soldador. Para el caso del electrodo E-7018 en ambos grupos se puede apreciar que el viento no tuvo efectos sobre el cordón en las 4 primeras velocidades, sin embargo para la velocidad numero 5 que fue la mas alta, si presentaron solapes e irregularidades atribuibles al efecto de la velocidad del viento.

4.9.1.2 Rayos X (RT)

Este ensayo se le hizo a las probetas del grupo A y B de ambos electrodos, ver figuras 4.21 a la 4.29, las cuales representan una muestra significativa de las probetas sometidas a este ensayo, ver apéndice D figuras D.1 a la D.11 donde se muestra el resto de las radiografías de las probetas. La tabla 4.2 indica el resultado obtenido en este ensayo mostrando que para el grupo A del electrodo E-6010 en las velocidades 2 y 4 presentaron socavaduras pero no por efectos de la velocidad del viento, para el grupo B del mismo electrodo se muestra que para las velocidades 2, 3 y 5 también presentan socavaduras las cuales tampoco son atribuibles a el efecto del viento, sin embargo para las probetas del grupo A y B del electrodo E-7018 en las tres primeras

velocidades no hubo defectos a causa de la velocidad del viento pero a partir de la velocidad número 4 en adelante, se observa la aparición de poros alargados (verniculares), ver figuras 4.25 y 4.27, además de irregularidades en el cordón de soldadura, debido al efecto del viento.

Figura 4.21. Radiografía a probeta Z1B

Figura 4.22. Radiografía a probeta Z2B

Figura 4.23. Radiografía a probeta Z3B

Figura 4.24. Radiografía a probeta Z4B

Figura 4.25. Radiografía a probeta Z5B

Figura 4.26. Radiografía a probeta Z6=Z5A

Figura 4.27. Radiografía a probeta X1B

Figura 4.28. Radiografía a probeta X3B

Figura 4.29. Radiografía a probeta X5B

Tabla 4.2. Informe de los ensayos de inspección visual y radiografía a las probetas. (1/2)

Metal base:	Acero comercial	**Espesor:**	5 mm	**Tipo de junta:**	A tope	**Tipo de soldadura:**	Ranura en V
Diámetro del electrodo:	3,2 mm	**Electrodos:**	E-7018 ; E-6010	**Técnica radiográfica**	Pared sencilla	**Hilo requerido**	14

Pruebas radiográficas E-6010 juego A		**Pruebas radiográficas E-6010 juego B**	
X1	No presenta fallas atribuibles al efecto del viento.	**X1**	No presenta fallas atribuibles al efecto del viento
X2	socavaduras, fallas no atribuibles al efecto del viento	**X2**	Socavaduras. Fallas no atribuibles al efecto del viento
X3	No presenta fallas atribuibles al efecto del viento	**X3**	Socavaduras. Fallas no atribuibles al efecto del viento
X4	Socavaduras. Fallas no atribuibles al efecto del viento	**X4**	No presenta Fallas atribuibles al efecto del viento
X5	No presenta fallas atribuibles al efecto del viento	**X5**	Socavaduras. Fallas no atribuibles al efecto del viento
Pruebas radiográficas E-7018 juego A		**Pruebas radiográficas E-7018 juego B**	
Z1	No presenta fallas atribuibles al efecto del viento.	**Z1**	No presenta fallas atribuibles al efecto del viento
Z2	No presenta fallas atribuibles al efecto del viento.	**Z2**	No presenta fallas atribuibles al efecto del viento
Z3	No presenta fallas atribuibles al efecto del viento.	**Z3**	No presenta fallas atribuibles al efecto del viento
Z4	No presenta fallas atribuibles al efecto del viento.	**Z4**	Presenta poros alargados. Atribuible a las condiciones de velocidad de viento
Z5	Presenta poros alargados e irregularidad en el cordón, esto atribuible a las condiciones de velocidad de viento	**Z5**	Presenta irregularidad en el cordón. Atribuible a las condiciones de velocidad de viento

Tabla 4.2. Informe de los ensayos de inspección visual y radiografía a las probetas. (2/2)

Inspección Visual E-6010 juego A		**Inspección Visual E-6010 juego B**	
X1	No presenta fallas atribuibles al efecto del viento	**X1**	No presenta fallas atribuibles al efecto del viento
X2	No presenta fallas atribuibles al efecto del viento	**X2**	Socavaduras. Fallas no atribuibles al efecto del viento
X3	No presenta fallas atribuibles al efecto del viento	**X3**	Socavaduras y proyecciones. Fallas no atribuibles al efecto del viento
X4	No presenta fallas atribuibles al efecto del viento	**X4**	No presenta fallas atribuibles al efecto del viento
X5	No presenta fallas atribuibles al efecto del viento	**X5**	No presenta fallas atribuibles al efecto del viento
Inspección Visual E-7018 juego A		**Inspección Visual E-7810 juego B**	
Z1	No presenta fallas atribuibles al efecto del viento	**Z1**	No presenta fallas atribuibles al efecto del viento
Z2	No presenta fallas atribuibles al efecto del viento	**Z2**	No presenta fallas atribuibles al efecto del viento
Z3	No presenta fallas atribuibles al efecto del viento	**Z3**	No presenta fallas atribuibles al efecto del viento
Z4	No presenta fallas atribuibles al efecto del viento	**Z4**	No presenta fallas atribuibles al efecto del viento
Z5	Irregularidad y solapes en el cordón de soldadura, atribuible a las condiciones de velocidad de viento	**Z5**	Presenta irregularidad y solapes, en el cordón de soldadura, atribuible a las condiciones de velocidad de viento

4.9.2 Ensayos destructivos

4.9.2.1 Resultados de macrografía

Las figuras 4.30 a la 4.38 muestran las macrografías de las probetas, en donde se puede observar la morfología del cordón de soldadura, en el cual las probetas (X1, Z1, Z2 y Z3) tienen un perfil que a simple vista no presenta ningún cambio, desplazamiento o deformación significativa en la superficie del cordón, tomando en cuenta que estas probetas corresponden a las tres (3) primeras velocidades de viento (1,4 m/s, 3,4 m/s y 5 m/s), sin embargo para las probetas (X3, X5, Z4, Z5 y Z6) correspondientes a las velocidades más altas (6,7 m/s y 8,3 m/s), vemos un desplazamiento significativo del cordón hacia el lado de salida del flujo de aire (sotavento) en cada probeta, esto es debido a que la velocidad del viento actúa como fuerza de empuje sobre el charco de soldadura y sobre el arco eléctrico, de tal forma que estos se desplazan hacia un lado durante la ejecución de la soldadura.

Figura 4.30. Macrografía a probeta Z1B

Figura 4.31. Macrografía a probeta Z2B

Figura 4.32. Macrografía a probeta Z3B

Figura 4.33. Macrografía a probeta Z4B

Figura 4.34. Macrografía a probeta Z5B

Figura 4.35. Macrografía a probeta Z6=Z5A

Figura 4.36. Macrografía a probeta X1B

Figura 4.37. Macrografía a probeta X3B

Figura 4.38. Macrografía a probeta X5B

4.9.2.2 Resultados micrografía

En la figura 4.39, se aprecia la metalografía del metal base, en el cual vemos una gran cantidad de microporos que están presentes en este material y que son producto de su proceso de manufactura.

Figura 4.39. Metalografía del metal base

En la figura 4.40 se aprecia una banda estrecha conocida como la interfase, que está constituida por material base calentado hasta la temperatura de fusión o ligeramente por encima, que solidifico muy rápido de manera que no se mezclo con el metal de aporte, pero si fue objeto de un crecimiento en el tamaño de grano y de la formación de una línea de microporos producto de la turbulencia durante la ejecución de la soldadura.

Figura 4.40. Metalografía de la interfase de un cordón de soldadura

La estructura observada en las probetas Z1, Z2 Y Z3, ver figuras 4.41 y 4.42, es lo característico de la metalurgia de la soldadura, una zona de metal solidificado por un enfriamiento continúo desde la zona de líquido, que muestra un crecimiento de granos gruesos en forma de columnas.

Figura 4.41. Metalografía de las zonas de soldadura de la probeta Z1 y Z2

Figura 4.42. Metalografía de las zonas de soldadura de la probeta Z3 y Z4

Las graficas 4.43 y 4.44 muestran el número y tamaño de los microporos de la zona de fusión en función de la velocidad del viento del electrodo E7018

respectivamente, en ambas graficas se puede observar una tendencia similar, que en las tres primeras velocidades del viento la cantidad de microporos y el tamaño de los microporos aumentan proporcionalmente con la velocidad, este resultado es el esperado debido a que el flujo de viento desplaza la atmósfera protectora proporcionada por el revestimiento del electrodo, dejando así al charco de soldadura expuesto a la atmósfera exterior, permitiendo así la inclusión de partículas de aire dentro del charco del soldadura que lleva a la formación de microporos por diferencia de presión y solidificación progresiva del metal que no permite la salida de las burbuja de gas atrapadas.

En las graficas también se puede apreciar que luego de haber aumentando la velocidad a 6,7 m/s (probeta Z4) la cantidad de microporos disminuyo de 92 microporos a 88 microporos, sin embargo estos microporos aumentaron de tamaño de 0,021 mm a 0,032 mm, debido a que las partículas de gas atrapado en el charco de soldadura por efecto del viento, coalescen creando así partículas de gas mas grandes pero en menor cantidad, que luego se convirtieron en microporos por el proceso de solidificación.

Seguidamente se puede ver en las graficas que durante la máxima velocidad utilizada en la probeta Z5 los microporos aumentan de 88 a 133 microporos y en tamaño disminuyen de 0,032 mm a 0,028 mm, debido a la acción de desplazamiento que produce el flujo de aire a gran velocidad sobre la atmósfera protectora, que hizo que el arco eléctrico fuese inestable generando el incremento en el numero de poros.

En la tabla D.1 ver apéndice D se observa que para la máxima velocidad del viento del electrodo E7018 la intensidad de corriente de soldadura aumenta, lo que indica que el soldador tuvo que acercar más el electrodo al metal base para intentar mantener la estabilidad del arco eléctrico.

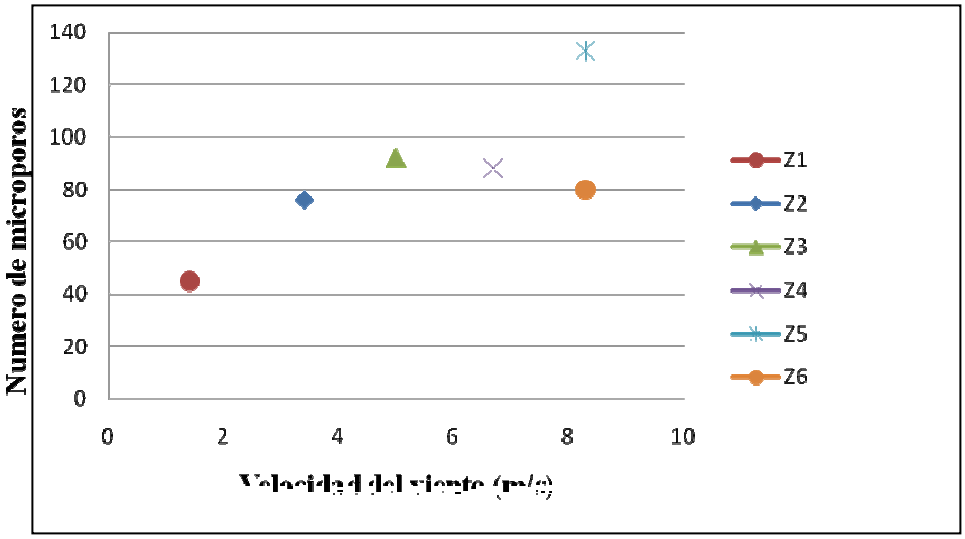

Figura 4.43. Numero de microporos en función de la velocidad del viento del electrodo E7018

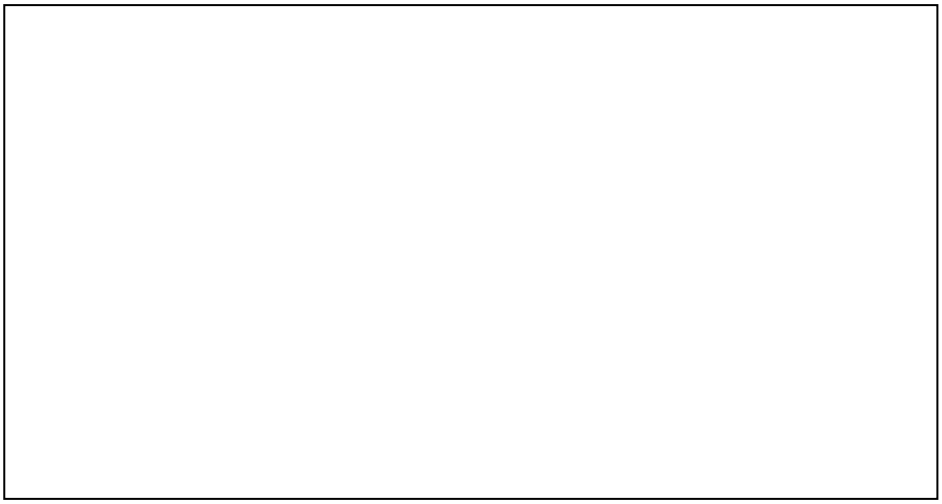

Figura 4.44. Tamaño promedio de los microporos en función de la velocidad del viento del electrodo E7018

Las graficas 4.45 y 4.46 muestran el número y tamaño de los microporos de la zona de fusión en función de la velocidad del viento del electrodo E6010 respectivamente, en el cual se observan que en las dos graficas la tendencia es la misma, que a medida que la velocidad del viento fue aumentando la cantidad de

Tabla 4.5. Tamaño promedio total de los microporos en la zona de fusión de todas las probetas

PROBETAS	TAMANO PROMEDIO TOTAL DE LOS MICROPOROS (mm)
Z1	0,009
Z2	0,015
Z3	0,021
Z4	0,032
Z5	0,028
Z6	0,02
X1	0,02
X3	0,025
X5	0,026

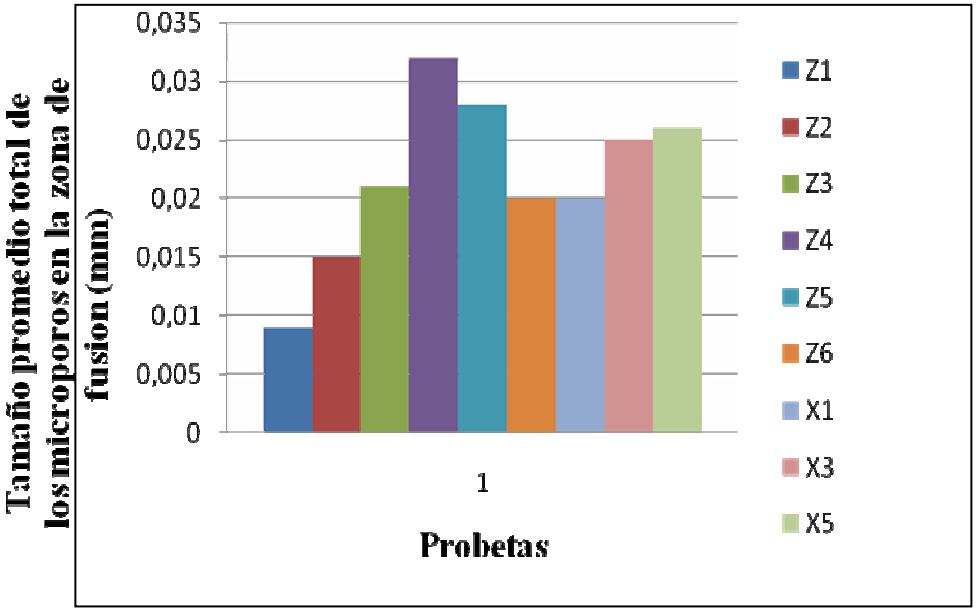

Figura 4.48. Tamaño promedio total de los microporos en la zona de fusión de todas las probetas

Tabla 4.6. Microporos por área presentes en la zona de fusión

Probetas	Cantidad de microporos por área		
	Área (mm^2)	**Cantidad de Poros**	**Poros/mm^2**
Z1	10,56	45	4,26
Z2	10,56	76	7,20
Z3	10,56	92	8,71
Z4	10,56	88	8,33
Z5	10,56	133	12,59
Z6	10,56	80	7,58
X1	10,56	47	4,45
X3	10,56	80	7,58
X5	10,56	121	11,46

4.9.2.3 Resultados de Dureza

En las graficas 4.50 y 4.51, se muestra el comportamiento de la dureza en distintas zonas del cordón de soldadura (metal base, zona afectada por calor y zona de fusión) en función de las probetas del electrodo E-7018 y E-6010 respectivamente, donde se puede ver que en las dos graficas el comportamiento de la dureza en el punto 2 de la zona afectada por calor y la zona de fusión (ver figura 4.26) presentan una dureza mayor con respecto al punto 1 de las zonas antes mencionadas. Para el caso de las zonas afectadas por calor (1 y 2) el valor de la dureza es la más elevada debido a que el metal base de las probetas se encontraba a temperatura ambiente y no fue precalentado previamente, por lo que el enfriamiento en esta zona fue más rápido asemejándose a un normalizado, sin embargo la dureza del punto 2 de la zona afectada por calor fue mayor a la dureza del punto 1, debido a que el punto 2 se

encuentra del lado en el cual el flujo de aire incide directamente durante la ejecución de la soldadura (barlovento), por lo que el enfriamiento en el punto 2 fue más rápido. Con respecto a la zona de fusión ocurre el mismo fenómeno por no tener precalentamiento del metal base así como el efecto de la pieza fría mas la velocidad del viento genera un enfriamiento más rápido en la raíz por ende la dureza en este punto es mayor que en la cara del cordón.

Tabla 4.7. Valores de dureza de las probetas

DUREZA (HRB)					
Probeta	**Metal Base**	**Zona Afectada por Calor**		**Zona de Fusión**	
		ZAC 1	**ZAC 2**	**ZF 1**	**ZF 2**
Z1	64	71	73	60	67
Z2	61	71	73	61	68
Z3	58	72	74	64	70
Z4	61	73	75	64	72
Z5	56	76	77	67	72
Z6 = Z5A	60	75	76	66	71
X1	60	72	74	57	69
X3	59	73	74	58	69
X5	56	75	76	63	71

Figura 4.49. Zonas tomadas para el ensayo de dureza

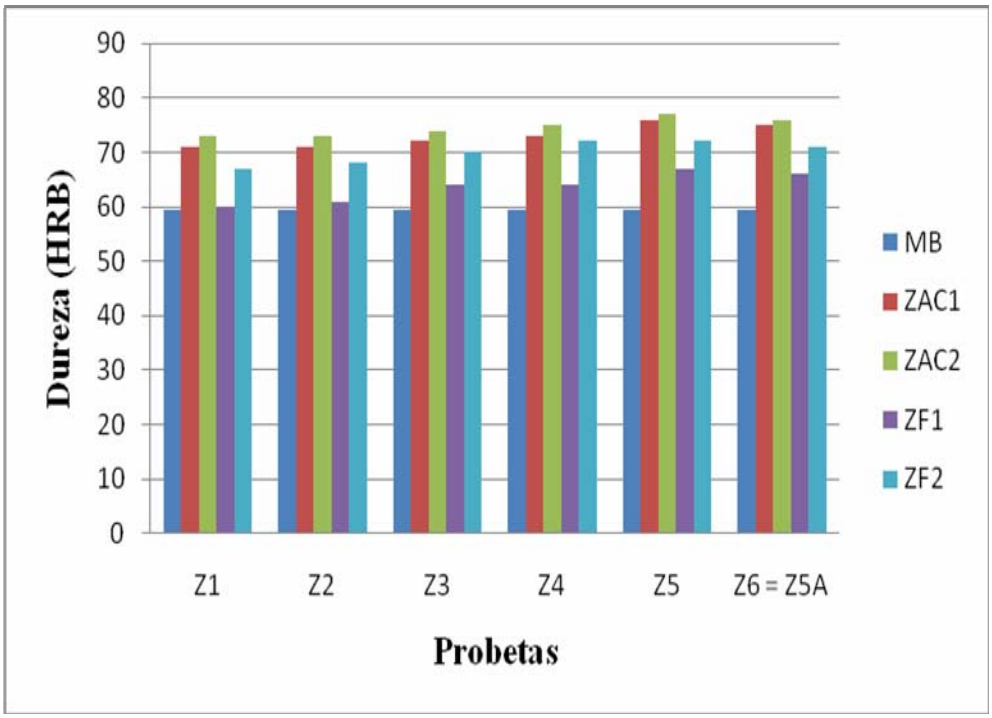

Figura 4.50. Dureza en función de las probetas

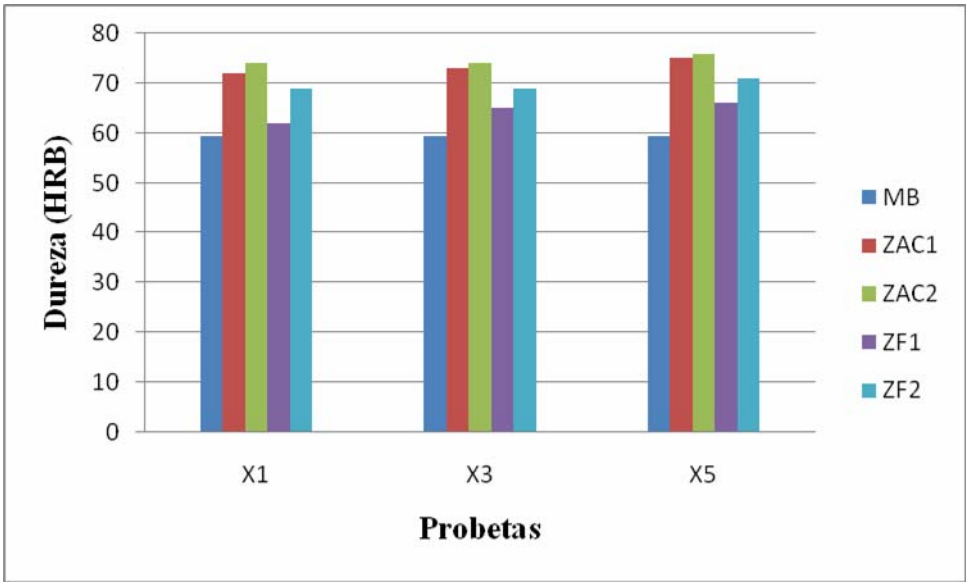

Figura 4.51. Dureza en función de las probetas

En las figuras 4.52 y 4.53 se observa la metalografía de la zona de fusión y zona afectada por calor de las probetas respectivamente correspondientes a la menor y mayor velocidad de viento para cada electrodo, en donde se corrobora lo explicado anteriormente con respecto a las durezas, ya que en la zonas de fusión con velocidad de viento más baja presenta menor cantidad de perlita (zonas oscuras) y mayor cantidad de ferrita (zonas claras), también se puede apreciar que en las zonas de fusión con la mayor velocidad de viento presentan menor cantidad de ferrita y mayor cantidad de perlita debido a la alta velocidad de enfriamiento y esta alta velocidad de enfriamiento promueve la formación de ferrita acicular y perlita fina, por esto se nota un incremento en la dureza a mayor velocidad de viento. Para el caso de la zona afectada por calor, se observa que a pesar que la morfología y la cantidad de perlita y ferrita son similares tanto en la velocidad baja como en la alta, correspondientes a cada electrodo, se aprecia que la zona afectada por calor de X5 y Z5 presentan una ferrita más ordenada y una perlita mucho más fina por lo que se afirma que la dureza en estas probetas es mayor por la alta velocidad del viento

Figura 4.52. Metalografía zona de fusión de las probetas X1-X5 y Z1-Z5

Figura 4.53. Metalografía zona afectada por calor de las probetas X1-X5 y Z1-Z5

4.10 Resultados del Manual de operación para prácticas de Laboratorio de Ingeniería Mecánica IV

En el apéndice más inmediato (apéndice A), esta explicado el manual de operación y la práctica de laboratorio.

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

1. El electrodo E-7018 es más sensible a la velocidad del viento que el electrodo E-6010.

2. La zona afectada por calor en el punto 2 (Barlovento) de todas las probetas presenta mayor dureza que la zona afectada por calor en el punto 1 (Sotavento).

3. La cantidad de microporos es directamente proporcional a la velocidad del viento.

4. El tamaño de los microporos es directamente proporcional a la velocidad del viento.

5. A partir de la velocidad 3 (5 m/s) se pierde la calidad de la soldadura.

6. La dureza en la zona de fusión y zona afectada por calor de los puntos 1 y 2 (ZF1, ZF2) y (ZAC1, ZAC2) respectivamente, es directamente proporcional con la velocidad del viento.

7. La velocidad del viento afecta la morfología del cordón.

8. A partir de la velocidad numero 3 (5 m/s) aparecen poros alargados (vermiculares).

9. La cantidad de microporos de todas las probetas siempre fue mayor en barlovento que en sotavento.

10. El tamaño de los microporos es directamente proporcional a la velocidad del viento para el electrodo E-6010.

11. Para el electrodo E-7018El el tamaño de los microporos es directamente proporcional a la velocidad del viento hasta la velocidad numero 4 (6,7 m/s).

12. A partir de la velocidad numero 3 (5 m/s) se pierde la estabilidad del arco eléctrico, en el electrodo E-7018.

5.2 Recomendaciones

1. Utilizar tubos delgados más cortos en el sistema de panal de abejas para aumentar la velocidad del flujo dentro del ducto.

2. Utilizar como metal base un acero refinado de mejor calidad.

3. Realizar las probetas con una lamina de mayor espesor.

4. Aumentar la separación entre láminas.

5. Realizar pruebas con un mayor número de velocidades y/o velocidades más altas.

6. Realizar probetas con diferentes tipos de uniones.

7. Realizar otro tipo de ensayos a las uniones soldadas.

8. Analizar el perfil del flujo de aire en el banco de pruebas.

9. Realizar un análisis de la convección forzada.

CAPÍTULO VI: BIBLIOGRAFIA

6.1 Bibliografía citada

[1] KOBELCO WELDING TODAY, **"Welding of Offshore Structures"**, (Abril - 2003). Disponible en: http://www.kobelcowelding.com/Kobelco%20Welding%20Today/kwt6-2.pdf.

[2] Medina, D., **"Calificación de Procedimientos de Soldadura para Juntas Disímiles en la Construcción del Proyecto Hamaca Crudo Mejorado"**. Trabajo de Grado. Universidad de Oriente. Puerto La Cruz, Venezuela, (2004).

[3] Pérez V, **"Calificación de un procedimiento de Soldadura Submarina Húmeda clase C para juntas de filete"**. Trabajo de Grado. Universidad de Oriente. Puerto La Cruz, Venezuela, (2007).

[4] **"Manual de Soldadura"**, Tomo 1 Octava Edición, American Welding Society, 1996.

[5] Flores, C, **"Soldadura al Arco Eléctrico SMAW"**, Facultad de Ingeniería - Universidad Rafael Landívar, Guatemala. Disponible en: ingenieria.url.edu.gt/boletín/**URL_08_MEC01**.pdf.

[6] **"Manual de Soldadura Eléctrica por Arco"**, Centro Técnico de Adiestramiento (C.T.A).

[7] Garcimartin M, **"La Soldadura en Estructuras Metálicas de Edificación"**, Universidad Politécnica de Madrid.

[8] **“Soldadura Manual por Arco con Electrodo Revestido, Shielded Metal Arc Welding (SMAW)”**, Disponible en: fain.uncoma.edu.ar/materias/Metalurgica_de_la_soldadura/Proceso_SMAW.pdf.

[9] Riesco G, **“Manual del Soldador”,** Asociación Española de Soldadura y Tecnologías de Unión.

[10] Vera P, **“La inspección visual como herramienta de gestión en los proyectos de construcción con soldadura”**, II Congreso de Ingeniería Mecánica ASME, Perú Disponible en: Http://www.enginzone.com.pe/abstracts/La%20inspecci%F3n%20visual%20como%20herramienta%20de%20gesti%F3n%20en%20los%20proyectos%20de%20construcci%F3n%20con%20soldadura.pdf.

[11] http://departamentos.unican.es/digteg/ingegraf/cd/ponencias/165.pdf

[12] **“Manual de Soldadura al Arco Eléctrico y Electrodo Revestido I”**, Servicio Nacional de Adiestramiento en Trabajo Industrial (S.E.N.A.T.I).

[13] **“Macrografía a Soldadura”**, Disponible en: www.capwelding.com/img/soldadura_7.jpg

[14] **“Técnicas Experimentales en Metalurgia”**, Disponible en: http://www.scribd.com/doc/7156624/UNID6El-Microscopio-Metalografico-y-Preparacion-de-Muestras-Para-Examen-Metalografico

[15] López G, **“Manual de Laboratorio de Metalurgia”**. Universidad de Oriente, Departamento de Ingeniería Mecánica, Septiembre 2000.

[16] **“Ensayo de Dureza”**, Disponible en: http://www.inoxidable.com/dureza.htm

[17] **“Durómetro para medida de dureza Rockwell”**, Disponible en: http://images.google.co.ve/imgres?imgurl=http://www.unizar.es/actm/Im000071.jpg&imgrefurl=http://www.unizar.es/actm/Lab-Docen.htm&usg=__sJztaqZhd7N30AbNcTU3Fm7SvwQ=&h=640&w=480&sz=28&hl=es&start=9&um=1&itbs=1&tbnid=4R2WKur4vnUiuM:&tbnh=137&tbnw=103&prev=/images%3Fq%3Ddurometro%26um%3D1%26hl%3Des%26sa%3DN%26tbs%3Disch:1

6.2 Bibliografía adicional

- **“Cualificación del Personal y de los Procedimientos de Soldeo para Materiales Metálicos”** AENOR (Asociación Española de Normalización y Certificación) 2001.

- **“Specification for the Qualification of Welding Fabricators”**, AWS B5.17:2008.

- **“Specification for the Qualification of Welding Fabricators”**, ASTM DS67B Third Edition

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO

TÍTULO	"Determinación experimental de la influencia de la velocidad del viento en la soldadura por arco eléctrico".
SUBTÍTULO	

AUTOR (ES):

APELLIDOS Y NOMBRES	CÓDIGO CULAC / E MAIL
Herrera Krispin Juan Alejandro	**CVLAC:** 18.298.549 **E MAIL:** juankrispin_20@hotmail.com
Hernandez Palma Rafael Ricardo	**CVLAC:** 16.077.984 **E MAIL:** r_palma1@hotmail.com
	CVLAC: **E MAIL:**
	CVLAC: **E MAIL:**

PALÁBRAS O FRASES CLAVES:

Soldadura por arco eléctrico

Velocidad del viento

Diseño y Construcción

Banco de pruebas

Ensayos destructivos y no destructivos

Calidad de la soldadura

Norma AWS D1.1:2002

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

ÀREA	SUBÀREA
Ingeniería y Ciencias Aplicadas	Ingeniería Mecánica

RESUMEN (ABSTRACT):

El presente trabajo tiene como objetivo principal la determinación experimental de la influencia de la velocidad del viento en la soldadura por arco eléctrico con electrodo revestido. Para esto fue necesario realizar el diseño, selección de los materiales a utilizar y construcción de un banco de pruebas, tomando en cuenta las velocidades del viento en la zona de estudio. Una vez construido el banco de pruebas, según el diseño concebido, se realizó la optimización de éste. Luego se procedió a efectuar pruebas experimentales de uniones de soldadura a tope en posición plana (1G), a estas uniones soldadas se le realizaron ensayos no destructivos y destructivos que permitieran determinar la influencia de la velocidad del viento en la soldadura por arco eléctrico con electrodo revestido. Se elaboró un manual para el uso y realización de prácticas de laboratorio, para facilitarles a los estudiantes su manejo.

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO

CONTRIBUIDORES:

APELLIDOS Y NOMBRES	ROL / CÓDIGO CVLAC / E_MAIL				
Nottaro Rómulo	**ROL**	**CA**	**AS**	**TU** X	**JU**
	CVLAC:	11.903.887			
	E_MAIL	romulonotaro@cantv.net			
	E_MAIL				
Martínez Luis	**ROL**	**CA**	**AS**	**TU**	**JU** X
	CVLAC:	8.499.616			
	E_MAIL	luismart56@hotmail.com			
	E_MAIL				
Bittar Simón	**ROL**	**CA**	**AS**	**TU**	**JU** X
	CVLAC:	3.957.961			
	E_MAIL	sbittar16@hotmail.com			
	E_MAIL				

FECHA DE DISCUSIÓN Y APROBACIÓN:

2010	04	13
AÑO	**MES**	**DÍA**

LENGUAJE. SPA

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO

ARCHIVO (S):

NOMBRE DE ARCHIVO	TIPO MIME
TESIS.SoldaduraArcoElectrico.doc	Application/msword

CARACTERES EN LOS NOMBRES DE LOS ARCHIVOS: A B C D E F G H I J K L M N O P Q R S T U V W X Y Z. a b c d e f g h i j k l m n o p q r s t u v w x y z. 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9.

ALCANCE

ESPACIAL: _____ (OPCIONAL)

TEMPORAL: _____ (OPCIONAL)

TÍTULO O GRADO ASOCIADO CON EL TRABAJO:
Ingeniero Mecánico

NIVEL ASOCIADO CON EL TRABAJO:
Pregrado

ÁREA DE ESTUDIO:
Departamento de Mecánica

INSTITUCIÓN:

Universidad de Oriente/ Núcleo de Anzoátegui

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO

DERECHOS

Artículo 41: “Los Trabajos de Grado son exclusiva propiedad de la Universidad de Oriente, y sólo podrán ser utilizados para otros fines con el consentimiento del Consejo de Núcleo respectivo, quien deberá participarlo previamente al Consejo Universitario, para su autorización”.

Juan A., Krispin H.	Rafael R., Palma H.
AUTOR	**AUTOR**

Rómulo Nottaro	Luis Martínez	Simón Bittar
TUTOR	**JURADO**	**JURADO**

POR LA SUBCOMISION DE TESIS