# 

# ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

# Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción

“Calificación de Procedimientos de Soldadura, Operadores y Soldadores en procesos SMAW y GMAW, de acuerdo al Código AWS D1.1 para Aceros Estructurales”

**TESIS DE GRADO**

Previo a la obtención del Título de:

### INGENIERA MECÁNICA

Presentada por:

#### María Angélica Chan Pozo

#### GUAYAQUIL - ECUADOR

#### Año: 2005

#### **A G R A D E C I M I E N T O**

A todas las personas que

de uno u otro modo

colaboraron en la

realización de este

trabajo. En especial a

los miembros de

ASTINAVE, SENDRE, los

Laboratorios de la FIMCP

y al Ing. Omar Serrano,

Director de Tesis, por su

invaluable ayuda.

## D E D I C A T O R I A

#### A LA COMUNIDAD

#### 

#### 

## TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Ing. Alfredo Torres G. Ing. Omar Serrano V.

DELEGADO DEL DECANO DIRECTOR DE TESIS

DE LA FIMCP

PRESIDENTE

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Ing. Ernesto Martínez L. Ing. Manuel Helguero G.

VOCAL VOCAL

## DECLARACIÓN EXPRESA

##### “La responsabilidad del contenido de esta

Tesis de Grado, me corresponden

exclusivamente; y el patrimonio intelectual de

la misma a la ESCUELA SUPERIOR

POLITÉCNICA DEL LITORAL”

(Reglamento de Graduación de la ESPOL).

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

##### María Angélica Chan Pozo

## RESUMEN

La Calificación de Soldaduras es un proceso que va tomando mayor importancia y demanda en nuestro medio, pues se requiere que las soldaduras ejecutadas –en una amplia variedad de aplicaciones de Ingeniería Mecánica- cumplan con los requisitos del Código de Calificación aplicado; para de esta forma, alcanzar en cada caso los estándares de calidad convenientes; debiéndose tener en cuenta que, dicho código debe elegirse de acuerdo al tipo de servicio que prestará la soldadura y a las características del material a soldar.

En nuestro entorno, esta es una materia de limitada propagación informativa; por ello, el objetivo de este documento es apoyar la difusión del Sistema de Calificación de soldaduras basado en los principios del Código AWS D1.1 para Aceros Estructurales, aplicado a dos procesos de amplia utilización.

Inicialmente, se expondrán los fundamentos teóricos necesarios para comprender los conceptos y variables que abarcan los procesos de soldadura a utilizar; así como, los ensayos de calificación establecidos por el código citado.

A continuación, se explicarán los detalles de los formatos de calificación que documentarán formalmente el proceso. Luego, se describirá el procedimiento a seguir para efectuar la calificación de soldaduras de ranura ejecutadas mediante el proceso de Soldadura de Arco con Electrodo Revestido y el de Soldadura de Arco con Gas Protector.

Una vez conocidos los mecanismos de calificación, se procederá a practicarla en cuatro tipos diferentes de soldadura realizadas con los procesos previamente mencionados, en plancha y tubería. Para tal efecto, se darán a conocer las especificaciones de cada soldadura, y se procederá a practicarlas; después, se determinarán los tipos de ensayos por aplicarse, se efectuarán las operaciones necesarias para ello y se analizarán los resultados aportados en dichos ensayos.

Por último, se elaborarán los Certificados y Registros de Calificación respectivos, para determinar cuáles serán los Procedimientos de Soldadura, Operadores y Soldadores que califiquen, de acuerdo a las pruebas.

**ÍNDICE GENERAL**

Pág.

RESUMEN.....................................................................................................VI

ÍNDICE GENERAL.......................................................................................VIII

ABREVIATURAS..........................................................................................XIII

SIMBOLOGÍA..............................................................................................XIV

ÍNDICE DE FIGURAS..................................................................................XV

ÍNDICE DE TABLAS ..................................................................................XVII

ÍNDICE DE FORMATOS........................................................................ ..XVIII

ÍNDICE DE FOTOS.....................................................................................XIX

INTRODUCCIÓN.............................................................................................1

CAPÍTULO 1

1. FUNDAMENTOS TEÓRICOS....................................................................3

* 1. Procesos de soldadura SMAW y GMAW...........................................5
     1. Soldadura de Arco con Electrodo Revestido...........................6
        1. Principios de operación del proceso SMAW..............6
        2. Variables del proceso SMAW....................................8
        3. Aplicaciones del proceso SMAW.............................13
     2. Soldadura de Arco con Gas Protector...................................15
        1. Principios de operación del proceso GMAW...........15
        2. Variables del proceso GMAW..................................17
        3. Aplicaciones del proceso GMAW............................32
  2. Ensayos de Calificación requeridos por el código AWS D1.1 para aceros estructurales................................................................34

1.2.1. Inspección Visual..........................................................34

* + 1. Ensayos No Destructivos..............................................42
       1. Radiografía....................................................43
       2. Ultrasonido....................................................61
    2. Ensayos Destructivos (Mecánicos)...............................61
       1. Doblado.........................................................61
       2. Tensión.........................................................69
    3. Ensayo de Impacto.......................................................72
    4. Ensayo Metalográfico...................................................76

CAPÍTULO 2

2. CALIFICACIÓN DE SOLDADURA MEDIANTE EL CÓDIGO AWS D1.1

PARA ACEROS ESTRUCTURALES.......................................................80

* 1. Generalidades..................................................................................80
  2. Formatos de Calificación..................................................................81
     1. Especificaciones del Procedimiento de Soldadura

(WPS)....................................................................................82

* + 1. Certificado de Calificación del Procedimiento

(PQR)....................................................................................83

* + 1. Registro de Calificación de Operadores y Soldadores

(WQR)...................................................................................83

* 1. Procedimiento de Calificación..........................................................84
     1. Preparación del WPS............................................................84
        1. Variables Esenciales................................................85
        2. Posiciones de soldaduras requeridas para la Calificación...............................................................90
           1. Posiciones para soldadura de ranura en plancha...............................................93
           2. Posiciones para soldadura de ranura en tubería................................................94
        3. Tipos de soldadura para Calificación

del WPS..................................................................96

* + - 1. Selección de las Pruebas de Calificación................97
      2. Requerimientos para Recalificación del WPS.........97
      3. Localización de los especimenes de prueba.........101
         1. Especimenes de soldadura en

plancha............................................... .102

* + - * 1. Especimenes de soldadura

en tubería..............................................103

* + - 1. Dimensiones de los especimenes de

prueba...................................................................103

* + - 1. Dimensiones del equipo para Ensayo de

Doblado.................................................................104

CAPÍTULO 3

3. PROTOTIPOS DE CALIFICACIÓN DE SOLDADURAS........................105

* 1. Especificaciones de los Procedimientos de Soldadura a

Calificar..........................................................................................105

* + 1. WPS 1: Soldadura de ranura en plancha de acero realizada mediante el proceso SMAW................................................106
    2. WPS 2: Soldadura de ranura en tubería de acero efectuada usando el proceso SMAW......................................106
    3. WPS 3: Soldadura de ranura en plancha de acero ejecutada mediante el proceso GMAW...................................107
    4. WPS 4: Soldadura de ranura en tubería de acero practicada utilizando el proceso GMAW...................................108
  1. Ensayos aplicados.........................................................................108
  2. Análisis de los resultados obtenidos en los ensayos.....................109
  3. Elaboración de los Certificados de Calificación de los Procedimientos, PQR.....................................................................118
  4. Elaboración de los Registros de Calificación para Operadores y Soldadores, WQR..........................................................................119

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.........................................120

APÉNDICES

BIBLIOGRAFÍA

## ABREVIATURAS

ac Corriente alterna

ANSI American National Standards Institute

API American Petroleum Institute

ASME American Society of Mechanical Engineers

AWS American Welding Society

cd Corriente directa o continua

CJP Penetración Completa en la Unión

cm Centímetro

END Ensayo No Destructivo

FCAW Soldadura de arco con Núcleo de Fundente

GMAW Soldadura de arco con Gas Protector

GTAW Soldadura de arco con electrodo de Tungsteno

incl. inclusive

Kg kilogramo

mm Milímetro

PAW Soldadura de arco y Plasma

psi Lb/pulg2

pulg Pulgadas

RT Ensayo de Radiografía

SAW Soldadura de Arco Sumergido

SMAW Soldadura de arco con Electrodo Revestido

UT Ensayo de Ultrasonido

###### SIMBOLOGÍA

A Área

Al Aluminio

Ar Argón

CO2 Dióxido de carbono

H2 Hidrógeno

He Helio

N2 Nitrógeno

P Presión

T Temperatura

###### ÍNDICE DE FIGURAS

Pág.

Figura 1.1 Formación de un cordón de soldadura SMAW..........................7

Figura 1.2 Principio del proceso GMAW....................................................17

Figura 1.3 Componentes del proceso GMAW semiautomático…………..18

Figura 1.4 Pistola del proceso GMAW semiautomático............................19

Figura 1.5 Esquema básico de un Alimentador de electrodo

tipo empuje ..............................................................................21

Figura 1.6 Tipos de Transferencia de depósito del

metal de aporte ........................................................................24

Figura 1.7 Perfiles de soldadura aceptables e inaceptables....................41

Figura 1.8 Requerimientos de Calidad en soldaduras

con Discontinuidades Alargadas determinadas por

Radiografía en estructuras no Tubulares cargadas

Estáticamente...........................................................................47

Figura 1.9 Requerimientos de Calidad para soldaduras

sometidas a Carga Cíclica de Tensión con

Discontinuidades , en conexiones No Tubulares

(Limitaciones de porosidad y Discontinuidades

de fusión ).................................................................................50

Figura 1.10 Requerimientos de Calidad para soldaduras sujetas

a Carga Cíclica de Compresión en conexiones No

Tubulares con Discontinuidades

( Limitaciones de porosidad o Discontinuidades de

Fusión )……………………………………………………….........53

Figura 1.11 Requerimientos de Calidad para soldaduras con

Discontinuidades Alargadas determinadas por

Radiografía en Uniones Tubulares..........................................56

Figura 1.11 (continuación) CASO I ….......................................................57

Figura 1.11 (continuación) CASO II ..........................................................58

Figura 1.11 (continuación) CASO III..........................................................59

Figura 1.11 (continuación) CASO IV ........................................................60

Figura 1.12 Esquema de un Ensayo de Doblado Guiado

con Rodillo Giratorio................................................................65

Figura 1.13 Esquema de un Ensayo de Doblado Guiado

.con Troqueles..........................................................................66

Figura 1.14 Esquema de un Ensayo de Doblado Guiado

con Base Móvil........................................................................67

Figura 1.15 Probetas Charpy e Izod de un Ensayo de Impacto................73

Figura 1.16 Máquina de Ensayos de Impacto.............................................74

Figura 2.1 Posiciones de soldaduras de ranura........................................92

Figura 2.2 Posiciones de soldadura de ranura en plancha para

calificación................................................................................93

Figura 2.3 Posiciones de soldadura de ranura en tubos para

calificación……………..............................................................95

###### ÍNDICE DE TABLAS

Pág.

Tabla 1 Clasificación AWS y composición límite de los electrodos

para GMAW (AWS A 5.18)…………………………….………...…22

Tabla 2 Aplicaciones del GMAW características y mezclas

más comunes…………………………………………………………26

Tabla 3 Gases y mezclas de gases para GMAW…………………………..27

Tabla 4 Resultados del análisis químico de una

muestra del tubo a soldar con GMAW .........................................31

Tabla 5 Composición Química de los aceros SAE 1006...........................31

Tabla 6 Criterios de Aceptación de la Inspección Visual......................... .36

Tabla 7 Perfiles de la soldadura................................................................40

Tabla 8 Posiciones para ensayos de calificación......................................91

Tabla 9 Cambios en las variables esenciales del PQR que

requieren de recalificación del WPS...........................................98

ÍNDICE DE FORMATOS

Apéndice

FORMATO 1 WPS 1. PLANCHAS SOLDADAS CON

SMAW.......................................................................E

FORMATO 2 PQR DEL WPS 1..……........................................................E

FORMATO 3 WQR DEL WPS 1.................................................................E

FORMATO 4 WPS 2. TUBOS SOLDADOS CON

SMAW…..……..........................................….......….F

FORMATO 5 PQR DEL WPS 2…................................................................F

FORMATO 6 WQR DEL WPS 2...................................................................F

FORMATO 7 WPS 3. PLANCHAS SOLDADAS CON

GMAW.........................................................…........G

FORMATO 8 WPS 4. TUBOS SOLDADOS CON

GMAW.....................................................................H

###### ÍNDICE DE FOTOS

Pág.

FOTO 1.1 Ensayo de Tensión con Sección Reducida

Estiramiento (izq.) – Ruptura (der.).............................................71

FOTO 1.2 Ensayo Metalográfico – Pulido Fino............................................78

FOTO 1.3 Visualización Microscópica de una soldadura....………………...78

FOTO 3.1 Probetas de Tensión con Sección Reducida.............................110

FOTO 3.2 Probeta de Doblado Guiado del WPS 1...................................111

FOTO 3.3 Soldadura SMAW en un tubo de acero ASTM A53………..…111

FOTO 3.4 Raíz de una soldadura SMAW en un tubo

de acero ASTM A53……………………………………………….112

FOTO 3.5 Cara de la soldadura GMAW metal base

acero ASTM A36…………………………………………….……..114

FOTO 3.6 Raíz de la soldadura GMAW metal base

acero ASTM A36…………………………………………………...114

FOTO 3.7 Cara de la soldadura GMAW metal base

acero SAE 1006…….……………………………………………..116

FOTO 3.8 Raíz de la soldadura GMAW metal base

acero SAE 1006…….……………………………………………...117