

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

ESCUELA DE INGENIERÍA

“OPTIMIZACIÓN DE LOS PROCESOS EN LA CONSTRUCCIÓN DE ESTRUCTURAS METÁLICAS DE EDIFICIOS”

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO
MECÁNICO**

**GALO EDUARDO BONILLA SALAZAR
CRISTIAN MARCELO RUEDA MARTÍNEZ**

DIRECTOR: ING. MIGUEL ÁNGEL VILLACRÉS

Quito, Mayo 2006

DECLARACIÓN

Nosotros, Cristian Marcelo Rueda Martínez y Galo Eduardo Bonilla Salazar, declaramos bajo juramento que el trabajo es de nuestra autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedemos nuestros derechos de propiedad intelectual correspondiente a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.

Cristian Marcelo Rueda Martínez

Galo Eduardo Bonilla Salazar

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Cristian Marcelo Rueda Martínez y Galo Eduardo Bonilla Salazar, bajo mi supervisión.

Ing. Miguel Ángel Villacrés
DIRECTOR DEL PROYECTO

PRESENTACIÓN

El presente proyecto de titulación tiene como objetivo fundamental el orientar a las personas que quieren profundizar conocimientos dentro del diseño de soldaduras en estructuras metálicas ya que es el proceso fundamental en la construcción de edificaciones e instalaciones estructurales.

El primer capítulo contiene información acerca de los diferentes tipos de soldadura dentro de la fabricación y montaje de estructuras metálicas. Se puede encontrar información de las diferentes variables, ventajas, desventajas y aplicaciones de los principales procesos de soldadura por arco.

El segundo capítulo explica el diseño estructural en acero, en el se encuentra información de los tipos de cargas a los que se someten las estructuras metálicas como también la metodología y procedimiento del diseño estructural. El cálculo para el diseño se enfoca en dos métodos divididos por el AISC que son las normas ASD y la LRFD, es así como dentro del capítulo se divide claramente a las fórmulas utilizadas para el cálculo en los distintos esfuerzos a los que pueden estar sometidos los elementos estructurales por los dos métodos.

El tercer capítulo contiene una guía para el manejo de la norma AWS D1.1, esta norma es la que se utiliza en soldadura de estructuras metálicas por lo que se hace esencial su estudio para realizar diseños estructurales. Se encuentra también en este capítulo una guía para la selección del proceso adecuado como también de la configuración de la junta de soldadura.

El cuarto capítulo comprende toda la información requerida para el diseño de soldaduras de estructuras metálicas en base a las normas ASD y LRFD, dentro del contenido se encuentran los diferentes tipos de soldadura, tipos de juntas y su respectiva nomenclatura ya que es esencial para la elaboración de juntas soldadas y su representación adecuada. En este capítulo también se

encuentra la información pertinente a las conexiones usadas dentro de las estructuras ya sea viga - columna o viga - viga.

El quinto capítulo establece los procedimientos necesarios para la realización de la prefabricación y montaje de estructuras metálicas de edificios, así como la importancia del cumplimiento de normas y códigos preestablecidos para dichos procesos.

El sexto capítulo comprende la realización de un programa informático que es una herramienta para el diseño de soldadura dentro de una estructura, en él tenemos las diversas configuraciones de soldaduras y su enfoque está basado a la obtención del costo de dicho proceso.

El capítulo final es un estudio realizado en función del tiempo empleado efectivamente en la soldadura, con el tiempo real pagado al personal, para la optimización de costos dentro del montaje de una estructura.

INDICE GENERAL

DECLARACIÓN	ii
CERTIFICACIÓN	iii
PRESENTACIÓN	iv
INDICE GENERAL	vi
INDICE DE FIGURAS	xii
INDICE DE TABLAS	xv
TERMINOLOGÍA.....	1
CAPITULO 1	2
FUNDAMENTOS TEORICOS DE PROCESOS DE SOLDADURA.....	2
1.1 INTRODUCCION	2
1.2 SOLDADURA POR ARCO.....	2
1.3 FUNDAMENTOS DE LA SOLDADURA.....	3
1.3.1 CALOR Y MATERIAL DE APORTE.....	3
1.4 CLASIFICACION DE LOS PROCESOS DE SOLDADURA POR ARCO.....	4
1.4.1 SMAW (SHIELDED METAL ARC WELDING)	5
1.4.2 GMAW (GAS METAL ARC WELDING)	7
1.4.3 SAW (SUBMERGED ARC WELDING)	11
CAPITULO 2	14
DISEÑO DE ESTRUCTURAS EN ACERO	14
2.1 INTRODUCCIÓN	14
2.2 PARAMETROS DE DISEÑO DE ESTRUCTURAS METÁLICAS	15
2.2.1 Factores de Diseño.....	15
2.3 ESTUDIO DE LAS CARGAS	16
2.3.1 TIPOS DE CARGAS.....	16
2.3.2 COMBINACIÓN DE CARGAS	19
2.3.3 PROCEDIMIENTO DE DISEÑO	20
2.3.4 CÁLCULO EN EL DISEÑO.....	22

2.4	USO DEL ACERO COMO MATERIAL ESTRUCTURAL	33
2.4.1	antecedentes	33
2.4.2	LOS ACEREROS CLÁSICOS.....	34
2.4.3	ACEROS ESPECIALES	35
2.4.4	VENTAJAS	37
2.4.5	DESVENTAJAS	38
2.5	USO DE SOFTWARE EN EL DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE ACERO	39
2.5.1	EJEMPLO	40
CAPITULO 3		42
ESTUDIO DE LA NORMA AWS D1.1 2002		42
3.1	OBJETIVOS	42
3.2	INTRODUCCION	42
3.3	REQUISITOS PARA EL USO DEL CODIGO AWS D1.1 2002	43
3.4	LIMITACIONES.....	44
3.5	DEFINICIONES BASICAS USADAS EN EL CODIGO AWS D1.1	44
3.6	TÉRMINOS USADOS EN EL CÓDIGO	45
3.7	RESPONSABILIDADES	46
3.7.1	RESPONSABILIDADES DEL INGENIERO	46
3.7.2	Responsabilidades del contratista	47
3.7.3	Responsabilidades del Inspector	47
3.8	APROBACION	47
3.9	SIMBOLOGIA DE SOLDADURA	47
3.10	PRECAUCIONES DE SEGURIDAD	48
3.11	UNIDADES DE MEDIDA ESTANDARIZADAS	48
3.12	MANEJO DEL CODIGO AWS D1.1 2002	48
3.13	DIMENSIONAMIENTO	49
3.14	SELECCIÓN DE PROCESOS	49
3.15	PRECALIFICACION.....	50
3.16	CALIFICACION	51

CAPITULO 4	52
SOLDADURA DE ESTRUCTURAS METALICAS EN BASE A	
LAS NORMAS LRFD Y ASD.....	52
4.1 INTRODUCCIÓN	52
4.2 TIPOS DE SOLDADURA.....	52
4.2.1 Soldadura de Cordón.....	52
4.2.2 Soldadura Ondeada.....	53
4.2.3 Soldadura de Ranura.....	53
4.2.4 Soldadura de Filete.....	54
4.2.5 Soldadura de Tapón	54
4.3 TIPOS DE JUNTAS	55
4.3.1 Juntas a Traslape	55
4.3.2 Juntas a tope	55
4.3.3 Juntas de Esquina	55
4.3.4 Juntas de Brida.....	56
4.3.5 Juntas en T	56
4.4 SÍMBOLOS DE SOLDADURA	56
4.4.1 Soldadura de filete	57
4.4.2 Soldadura de ranura	58
4.5 RESISTENCIA DE LAS SOLDADURAS.....	60
4.5.1 REQUISITOS DEL ASD Y LRFD.....	60
4.6 DISEÑO DE CONEXIONES VIGA-COLUMNA.....	64
4.6.1 Métodos de conexión.....	65
4.6.2 Tipos de conexiones.....	65
4.6.3 DISEÑO DE SOLDADURAS EN CONEXIONES.....	70
CAPITULO 5	73
OPERACIONES DESARROLLADAS EN PREFABRICACION Y	
MONTAJE DE ESTRUCTURAS METALICAS DE EDIFICIOS	73
5.1 OBJETIVOS.....	73
5.2 INTRODUCCION	73
5.3 PREFABRICACION	74

5.3.1	COMPRA	75
5.3.2	TRANSPORTE	75
5.3.3	ALMACENAMIENTO	76
5.3.4	CORTE	76
5.3.5	SOLDADURA.....	77
5.3.6	PULIDO	77
5.3.7	PINTURA	78
5.3.8	ALMACENAMIENTO	78
5.3.9	TRANSPORTE	79
5.4	MONTAJE.....	79
5.4.1	TRANSPORTE	80
5.4.2	MONTAJE O ARMADO (TACK WELDING).....	80
5.4.3	SOLDADURA.....	81
CAPITULO 6		85
PROGRAMACIÓN DE UN SISTEMA PARA CALCULAR COSTOS EN LA SOLDADURA DE PROYECTOS ESTRUCTURALES		85
6.1	INTRODUCCION	85
6.2	PESO DE METAL DEPOSITADO (P.M.D.)	85
6.3	FACTOR DE OPERACIÓN (F.O.).....	87
6.3.1	Tiempo de Arco.....	87
6.3.2	Tiempo Muerto.....	88
6.4	PESO DE ELECTRODOS REQUERIDO (P.E.R.)	88
6.4.1	Eficiencia de Deposición (E_D)	89
6.5	COSTO DE ELECTRODOS.....	90
6.6	COSTO DE GAS DE PROTECCIÓN.....	90
6.7	COSTO DE MANO DE OBRA.....	91
6.8	COSTOS GENERALES.....	91
6.9	COSTOS DE ELECTRICIDAD.....	92
6.10	DISEÑO DEL SOFTWARE	92
6.10.1	Antecedentes.....	92
6.10.2	Alcance y Funcionamiento.....	93
6.10.3	Estructura del programa	93

6.11	MANUAL DE USUARIO.....	94
6.11.1	Proyecto.....	94
6.11.2	Ingresar Datos	102
6.11.3	Reportes	104
CAPITULO 7		106
OPTIMIZACION DE PROCESOS		106
7.1	OBJETIVOS.....	106
7.2	INTRODUCCIÓN	106
7.3	METODOS DE OPTIMIZACION	107
7.3.1	Problema de la dieta.....	108
7.4	ESTUDIO DE TIEMPO REQUERIDO PARA EL DEPÓSITO DE MATERIAL DE APORTE	110
7.5	ESTUDIO DE COSTOS.....	111
7.5.1	Costo de mano de obra	112
7.5.2	Costo de energía	112
7.5.3	Depreciación de maquinaria y equipos.....	113
7.6	Planteamiento DE LA Optimización	115
7.6.1	Nomenclatura a usar.....	117
7.6.2	ANALISIS DE LAS VARIABLES INVOLUCRADAS	118
7.6.3	Determinación de los tipos de juntas de soldadura requeridas.....	122
7.6.4	DETERMINACIÓN DE LA ECUACIÓN PARA OPTIMIZAR EL COSTO GLOBAL DE MONTAJE DE UNA ESTRUCTURA METÁLICA	128
7.6.5	CALCULO DEL AHORRO TOTAL EN UNA ESTRUCTURA REAL.	132
7.6.6	Cálculo del ahorro utilizando el software para cálculo de costos.	137

CAPITULO 8	139
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	139
8.1 CONCLUSIONES	139
8.2 RECOMENDACIONES	140
CAPITULO 9	141
ANEXOS	141
9.1 ANEXO 1	142
9.2 ANEXO 2	143
PROPIEDADES DE ACEROS PARA LA CONSTRUCCIÓN.....	143
9.2.1 CARACTERÍSTICAS DE BARRAS CORRUGADAS A NIVEL INTERNACIONAL.....	143
9.2.2 DATOS TÉCNICOS DE LAS BARRAS DE CONSTRUCCIÓN ASTM A706.....	143
9.2.3 PROPIEDADES DE ALGUNOS ACEROS ESTRUCTURALES DE ACUERDO A LA SOCIEDAD AMERICANA DE ENSAYO DE MATERIALES (ASTM)	143
9.3 ANEXO 3	146
DETERMINACION DE ECUACIONES PARA LAS CURVAS DE DEPOSICIÓN DE MATERIAL PARA DIFERENTES TIPOS DE ELECTRODOS EN FUNCIÓN DE LA INTENSIDAD DE CORRIENTE	146
9.3.1 PROCESO SMAW	146
9.3.2 PROCESO GMAW	150
9.4 ANEXO 4	152
9.5 ANEXO 5	153
COSTOS ACTUALES DE DIFERENTES EQUIPOS USADOS EN LA CONSTRUCCIÓN DE ESTRUCTURAS METÁLICAS.....	153
9.6 ANEXO 6	155
9.6.1 ANÁLISIS DE FUERZAS Y MOMENTOS EN UN ELEMENTO ESTRUCTURAL.....	157
BIBLIOGRAFIA	159

INDICE DE FIGURAS

Fig. 1.1 Circuito típico de soldadura	4
Fig. 1.2. Soldadura GMAW.....	8
Fig. 1.3 Diagrama esquemático del equipo de soldadura GMAW	8
Fig. 1.4 Soldadura SAW.....	11
Fig. 1.5 Diagrama esquemático del equipo de soldadura SAW	12
Fig. 2.1 Determinación de la carga de sismo en una estructura.....	18
Fig. 2.2 Constantes para determinación de resistencia de columnas al pandeo	27
Fig. 2.3. Convertidor de arrabio en acero inventado por Henry Bessemer.....	34
Fig. 2.4. Gráfica de la producción mundial de acero en los últimos siglos.	35
Fig. 2.5. Producción de acero en Inglaterra por los distintos métodos	35
Fig. 4.1 Soldadura de cordón	53
Fig. 4.2 Soldadura Ondeadada	53
Fig. 4.3 Soldadura de ranura.....	53
Fig. 4.4 Soldadura de Filete	54
Fig. 4.5 Soldadura de Tapón.....	54
Fig. 4.6 Junta a Traslape.....	55
Fig. 4.7 Juntas a Tope.....	55
Fig. 4.8 Juntas de Esquina	56
Fig. 4.9 Junta de Brida	56
Fig. 4.10 Juntas en T.....	56
Fig. 4.11 Símbolos de Soldadura	57
Fig. 4.12 Soldadura de Filete	58
Fig. 4.13 Soldadura Intermitente	58
Fig. 4.14 Conexiones viga-columna	65
Fig. 4.15 Conexión simple de viga-columna.....	66
Fig. 4.16 Conexión de viga asentada	66
Fig. 4.17 Conexión con nervaduras.....	67
Fig. 4.18 Conexiones a corte con platina en el extremo.....	67
Fig. 4.19 Conexiones con carga excéntrica	68

Fig. 4.20 Conexiones apoyadas	68
Fig. 4.21 Conexión para momentos	69
Fig. 4.22 Conexiones usadas en estructuras metálicas de edificios	69
Fig. 4.23 Distribución de carga en una conexión plástica	70
Fig. 5.1 Diagrama de flujo para prefabricación de elementos estructurales.....	74
Fig. 5.2 Diagrama de flujo para montaje de estructuras metálicas.....	80
Fig. 5.3 Ubicación de columnas y diferentes tipos de vigas.	82
Fig. 6.1 Simbología de una junta soldada	87
Fig. 6.2 Formulario principal.....	94
Fig. 6.3 Formulario principal ingreso a proyectos.....	94
Fig. 6.4 Formulario de datos para proyectos.....	95
Fig. 6.5 Cálculo de longitud requerida de soldaduras	96
Fig. 6.6 Formulario para cálculo del área transversal de soldadura.....	97
Fig. 6.7 Cálculo del tiempo necesario para deposición del material requerido.....	98
Fig. 6.8 Cálculo de la eficiencia de deposición en soldadura SMAW	98
Fig. 6.9 Cálculo total de costos de soldadura.....	99
Fig. 6.10 Perfiles disponibles en la base de datos	100
Fig. 6.11 Costo total de soldadura por obra	101
Fig. 6.12 Consulta comparativa de costos de soldadura.....	101
Fig. 6.13 Informe detallado de costos de soldadura por metro	102
Fig. 6.14 Ingreso de datos para productos a usar durante el programa.....	102
Fig. 6.15 Formulario para ingreso de electrodos.....	103
Fig. 6.16 Electrodos disponibles en el tipo E-6013.....	103
Fig. 6.17 Perfilería disponible en el tipo I	104
Fig. 6.18 Informe técnico acerca del electrodo E-6013	105
Fig. 7.1a Diseño de una estructura metálica	120
Fig. 7.1b Detalle de las juntas	120
Fig. 7.2 Unión columna - columna.....	122
Fig. 7.3 Unión columna – viga principal.....	123
Fig. 7.4 Unión viga principal – viga secundaria	125
Fig. 7.5 Unión Viga Principal o secundaria – viga terciaria	126
Fig. 7.6 Curva de costo total vs factor de operación	131
Fig. 7.7 Costos totales para un factor de trabajo de 10% aproximadamente	137

Fig. 7.8 Costos totales para un factor de trabajo de 34% aproximadamente	138
Fig. 9.1 Diagrama esfuerzo-deformación, comparando la resistencia de algunos tipos de aceros.	145
Fig. 9.2 Vista general de la estructura.....	155
Fig. 9.3 Configuración usada en la estructura	155
Fig. 9.4 Factor de diseño de la estructura y verificación de diseño	156
Fig. 9.5 Lista de materiales por sección transversal.....	157
Fig. 9.5 Diagrama de momentos para una viga principal.	158

INDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Los factores que se deben tomar en cuenta para el diseño son	15
Tabla 2.2 Para el ASD, las siguientes son combinaciones típicamente usadas: ..	19
Tabla 2.3 Para la norma LRFD se tiene las siguientes cargas combinadas:	20
Tabla 2.4 Efecto de los elementos aleantes en las características de los aceros para herramientas.....	36
Tabla 4.1 Simbología de algunos tipos de soldaduras	59
Tabla 4.2 Garganta efectiva de soldaduras de filete	61
Tabla 4.3 Coeficientes de resistencia de soldaduras	62
Tabla 4.4 Tamaños mínimos de soldadura de filete.....	64
Tabla 5.1 Requisitos necesarios para la especificación del procedimiento de soldadura (WPS)	83
Tabla 6.1 Fórmulas de Área transversal según tipo de soldadura	86
Tabla 7.2 Pago por hora de Operarios (Estimado).....	112
Tabla 7.3 Consumo de energía de equipos	113
Tabla 7.4 Costos promedio de equipos y maquinaria para la construcción	114
Tabla 7.5 Depreciación mensual de equipos	115
Tabla 7.6 Variables a optimizar	117
Tabla 7.7 Dimensiones de los elementos.....	121
Tabla 7.8 Tiempo requerido para depositar 439.6g en la junta	123
Tabla 7.9 Tiempo requerido para depositar 356.1g de metal en la conexión.....	124
Tabla 7.10 Tiempo requerido para depositar 356.1g de metal en la conexión.....	125
Tabla 7.12 Consumo de material y tiempo requerido para la realización de las juntas de soldadura	127
Tabla 7.13 Tiempo requerido para el depósito de material	128
Tabla 7.14 Número de soldadores necesarios para diferentes factores de operación.....	135
Tabla 7.11 Costos de elevación para una planta	135
Tabla 7.12 Costos por planta para un número constante de personal de soldadura.....	136

Tabla 9.1 Esfuerzos admisibles en estructuras metálicas.....	142
Tabla 9.2 Características de barras corrugadas.....	143
Tabla 9.3 Datos Técnicos para barras de construcción	143
Tabla 9.4 Propiedades de aceros para la Construcción	144
Tabla 9.5 Propiedades de aceros para la construcción.....	145
E 6010	146
E6011	146
E6012-E6013	147
E6027	147
E7018	148
E7024	148
E7028	149
D = 0.8mm	150
D = 0.9mm	150
D = 1.2mm	151
D = 1.6mm	151
Tabla 9.6 Composición Química típica de los alambres marca INDURA	152
Tabla 9.7 Propiedades mecánicas con diferentes gases	152
Tabla 9.8 Tabla de Valores recomendados para el proceso GMAW.....	152

TERMINOLOGÍA

SIGLAS	SIGNIFICADO
AC	Corriente Alterna
AWS	Sociedad Americana de Soldadura (American Welding Society)
ASD	Diseño con Esfuerzo Admisible (Allowable Stress Design)
AISC	Instituto Americano de Construcción en Acero (American Institute of Steel Construction)
DC	Corriente Continua
GMAW	Soldadura por Arco con Alambre Sólido y Protección Gaseosa (Gas Metal Arc Welding)
LRFD	Factor de Diseño de Carga y Resistencia (Load and Resistance Factor Design)
NTC-Viento	Normas Técnicas Complementarias para el viento
RCDF	Reglamento de Construcciones del Distrito Federal
SAW	Soldadura de Arco Sumergido (Submerged Arc Welding)
SMAW	Soldadura de Arco con Electrodo Revestido (Shielded Metal Arc Welding)
1G	Soldadura de ranura en posición plana
2G	Soldadura de ranura en posición horizontal
3G	Soldadura de ranura en posición vertical
4G	Soldadura de ranura en posición sobre cabeza
1F	Soldadura de filete en posición plana
2F	Soldadura de filete en posición horizontal
3F	Soldadura de filete en posición vertical
4F	Soldadura de filete en posición sobre cabeza

CAPITULO 1

FUNDAMENTOS TEORICOS DE PROCESOS DE SOLDADURA

1.1 INTRODUCCION

En los últimos años la industria de la construcción a sufrido cambios conceptuales en cuanto al uso y distribución del acero dentro de las estructuras en todo tipo de construcciones arquitectónicas, uno de los cambios principales es el reemplazo de las columnas y vigas de concreto con varillas de acero en su interior, por columnas de láminas de acero y vigas completamente de acero. Es por esta razón que uno de los componentes fundamentales en este nuevo método de construcción es la Soldadura, razón por la cual se debe hacer un análisis de los procesos a usarse en todas las fases de construcción y de montaje de los diferentes elementos estructurales.

Dentro de la construcción de estructuras metálicas se tiene principalmente el uso de soldadura por arco, es por este motivo que en el presente capítulo se enfoca en este tipo de soldadura y los diferentes procesos que pertenecen a este grupo y que son de mayor aplicabilidad en la construcción, así como también se presenta un estudio comparativo de los diferentes parámetros involucrados dentro de cada uno de los procesos más usados.

1.2 SOLDADURA POR ARCO

Este tipo de soldadura es uno de los procesos más usados en la unión de metales, mediante la generación de calor intenso la unión entre dos piezas de metal es fundida y mezclada directamente o el uso de un metal fundido intermedio llamado material de aporte, lo cual es más frecuente. Al enfriarse y solidificarse la junta soldada, se tiene que piezas inicialmente independientes

entre sí pasan a formar un solo ensamble estructural continuo, en el cual las propiedades mecánicas son básicamente las mismas que tenían los materiales antes de ser soldados.

En la soldadura por arco, el intenso calor que se necesita para fundir el metal es producido mediante un arco eléctrico, el mismo que se forma entre la pieza de trabajo y un electrodo, el que puede ser movido manual o mecánicamente a lo largo de la junta, también existe la posibilidad de que la pieza de trabajo se mueva debajo de un electrodo estacionario. El electrodo generalmente es un alambre o varilla especialmente preparada que no solamente conduce la corriente eléctrica y mantiene el arco, por que también se funde y provee material de aporte a la junta, estos constituyen los electrodos consumibles. Electrodos de carbono puro y tungsteno pueden ser usados, pero en este caso el electrodo solamente sirve para conducir la corriente eléctrica y mantener el arco entre la punta y la pieza de trabajo, y no son consumibles, para este tipo de electrodos el material de aporte viene dado como varillas o alambres, los cuales son fundidos dentro del arco.

Las operaciones de soldadura más usadas se dan con electrodos consumibles.

1.3 FUNDAMENTOS DE LA SOLDADURA

1.3.1 CALOR Y MATERIAL DE APORTE

Una fuente de poder AC o DC dotada de los controles necesarios es conectada con cables a la pieza de trabajo y al electrodo, como se muestra en la figura 1.3.1. Cuando el circuito es energizado, el flujo de corriente eléctrica calienta el electrodo debido a la resistencia eléctrica que este presenta, cuando la punta del electrodo toca la pieza de trabajo y se produce el arco, la resistencia eléctrica es mucho mayor, lo que da como resultado una altísima temperatura en la zona donde se sostiene el arco, alrededor de 6500°F, la misma que es adecuada para fundir la mayoría de metales. El calor del arco funde tanto el metal base, como el metal de aporte. La zona de metal fundido es llamada

charco de soldadura, la cual se solidifica mientras el electrodo y el arco se mueven a lo largo de la junta que esta siendo soldada.

Los resultados metalúrgicos dependen de las velocidades de calentamiento y enfriamiento de las juntas soldadas, lo cual se logra mediante el control del calor proporcionado a la soldadura, variando la transferencia de metal al charco, mediante el uso de capas superficiales removibles o el uso de gases de protección.

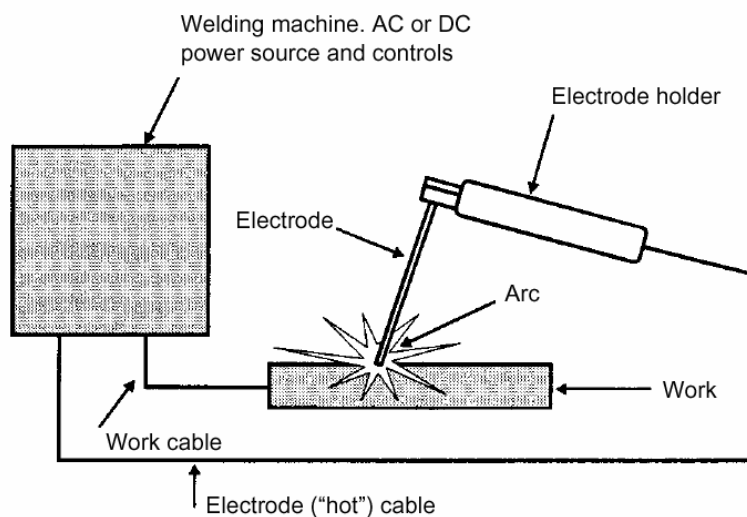


Fig. 1.1 Circuito típico de soldadura

1.4 CLASIFICACION DE LOS PROCESOS DE SOLDADURA POR ARCO

Actualmente la American Welding Society (AWS) indica la siguiente clasificación de los procesos de soldadura por arco.

Soldadura con hidrógeno atómico

AHW

Soldadura de arco metálico con electrodo desnudo

BMAW

Soldadura con arco de carbón	CAW
Con gas	CAW-S
Con arco protegido	CAW-S
Con arcos gemelos	CAW-T
Soldadura de arco con núcleo	
De fundente	FCAW
Electrogras	FCAW-EG
Soldadura con arco metálico y gas	GMAW
Electrogras	GMAW-EG
Arco pulsado	GMAW-P
Arco de corto circuito	GMAW-S
Soldadura de arco de tungsteno y gas	GTAW
Arco pulsado	GTAW-P
Soldadura de arco con plasma	PAW
Soldadura de arco metálico protegido	SMAW
Soldadura de arco de esparragos	SW
Soldadura de arco sumergido	SAW
En serie	SAW-S

En el presente capítulo se tiene un resumen de ventajas, desventajas o limitaciones y aplicaciones de los principales procesos que se pueden usar en la construcción de estructuras metálicas de edificios, como son: SMAW, GMAW, FCAW y SAW.

1.4.1 SMAW (SHIELDED METAL ARC WELDING)

Es el proceso de mayor uso en el mundo, en el que se tiene electrodos revestidos con fundente. Al igual que en los otros procesos de soldadura por arco el calor necesario para llevar la pieza de trabajo y el electrodo a la fusión se establece como se muestra en la figura 1.1. En este proceso el arco arranca pequeños glóbulos de metal fundido de la punta del electrodo hacia la zona fundida que se forma sobre la superficie de la pieza de trabajo. El principio clave

de este proceso es la protección que se obtiene por la descomposición del revestimiento en el arco, el cual tiene las siguientes funciones principales:

1.4.1.1 Funciones del revestimiento

- Creación de una atmósfera inerte que protege el metal fundido del contacto con el oxígeno e hidrógeno del aire.
- Adición de desoxidantes o limpiadores para refinar la estructura granular del metal de soldadura.
- Formación de una película de escoria de endurecimiento rápido, que protege la zona fundida de soldadura.
- Adición de metales de aleación para mejorar las propiedades de la soldadura.
- Estabiliza y protege el arco de soldadura.

1.4.1.2 Ventajas

- Bajos costos de los equipos de soldadura.
- Bajos costos de los materiales de aporte.
- Posibilidad de uso en todas las posiciones de soldadura.
- Facilidad de transporte de los equipos de soldadura.
- No requiere el uso de gases para la protección del arco.
- Se pueden tener un sin número de revestimientos para proveer diferentes propiedades al cordón de soldadura, dependiendo de las solicitaciones a las que se encuentre sometida

1.4.1.3 Desventajas

- Es un proceso totalmente manual, lo cual indica un mayor grado de preparación de los soldadores.
- Dificultad de uso para la producción en serie.
- Bajas eficiencias de deposición del material de aporte (+-60% en peso).

- Discontinuidad de los cordones y del proceso de soldadura debido a la corta longitud del electrodo.
- Bajos valores del coeficiente de operación.

1.4.1.4 Aplicaciones

- En todo tipo de trabajos de cerrajería, como lo es en la construcción de ventanas, puertas, artículos domésticos y demás elementos de esta clase.
- En la construcción de estructuras de vehículos como son autobuses y camiones.
- En la construcción de estructuras de casas y edificios.
- En el montaje de oleoductos y gasoductos.
- En la construcción de recipientes para gases o líquidos.
- En reparación de toda clase de estructuras domésticas.

1.4.2 GMAW (GAS METAL ARC WELDING)

La soldadura con arco metálico y gas tiene como características principales el uso de gas de protección y la alimentación continua de material de aporte a velocidad constante predeterminedada. La fusión se produce por el calentamiento producido por el arco que se genera entre la punta del electrodo y la pieza de trabajo. La protección del arco se obtiene mediante el uso de gas suministrado en forma externa que puede ser inerte o activo, el cual tiene como funciones principales:

1.4.2.1 Funciones del Gas Protector

- Creación de una atmósfera que protege el metal líquido de la acción del oxígeno e hidrógeno del aire.
- Ayudar a estabilizar el arco.

Un esquema general de la soldadura GMAW se muestra en la figura 1.2.

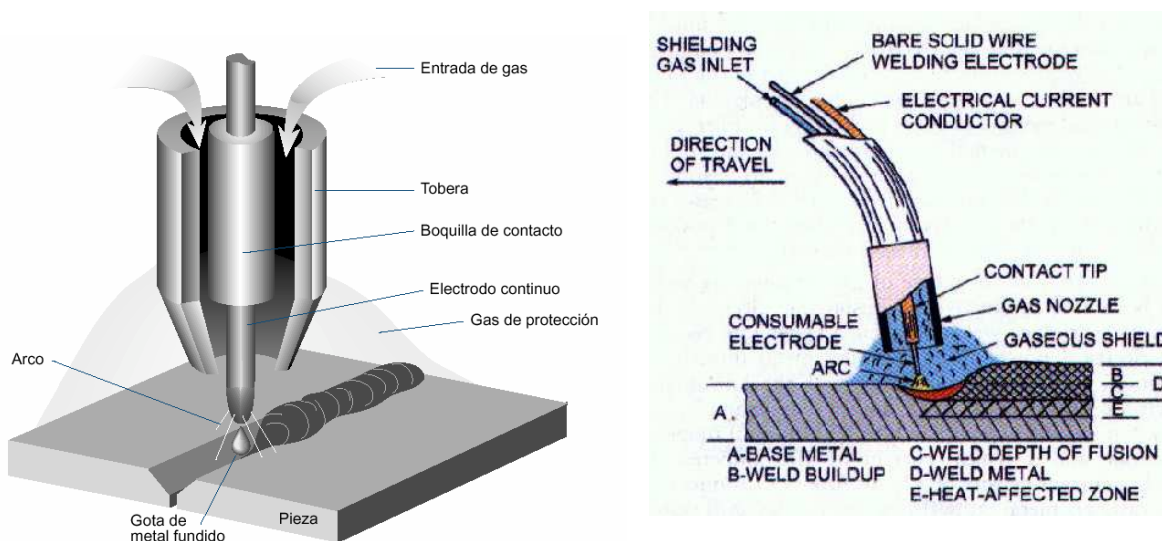


Fig. 1.2. Soldadura GMAW

1.4.2.2 Equipo de Soldadura GMAW

El equipo básico para este tipo de soldadura debe ser una máquina soldadora que posea la característica voltio-amperio plana, y además cuenta con: un alimentador de alambre – electrodo que impulsa automáticamente el mismo hacia el charco de soldadura a una velocidad constante previamente seleccionada, una pistola la cual permite la salida del electrodo y del gas de protección, un contenedor del gas para la protección. Lo cual se puede apreciar de mejor manera en la figura 1.3

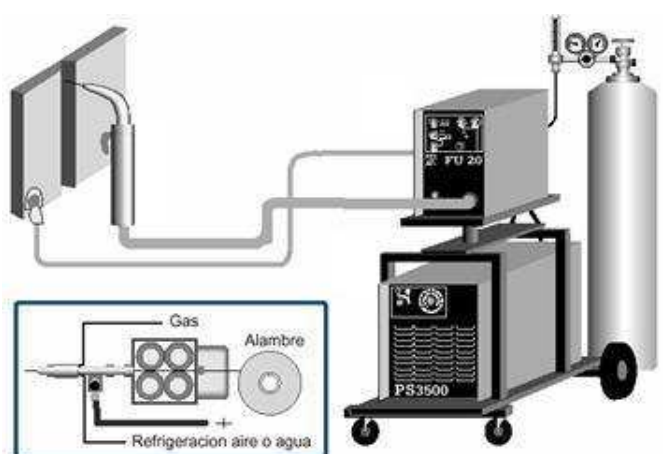


Fig. 1.3 Diagrama esquemático del equipo de soldadura GMAW

1.4.2.3 Tipos de Transferencia de Metal

El voltaje, amperaje y tipo de gas de protección, determinan la manera en la cual se transfiere el metal desde el alambre-electrodo hacia el charco de soldadura. Existen tres tipos de transferencia del metal que son: Cortocircuito o por inmersión, Spray o por aspersion, Globular y Por pulsos.

1.4.2.3.1 Cortocircuito

En cortocircuito la deposición de metal se da cuando el electrodo toca al metal base, lo cual produce un calentamiento y fusión del alambre electrodo en una pequeña longitud, así como su posterior desprendimiento, esta transferencia metálica se logra con el uso de Dióxido de carbono como gas de protección o una mezcla entre dióxido de carbono y argón, además se necesitan voltajes y corrientes bajos.

1.4.2.3.2 Transferencia Globular

En la transferencia globular las gotas de metal de aporte son de gran tamaño por lo que su deposición se da debido a su peso que vence a la tensión superficial que tiende a sujetarlas en la punta del electrodo. Para que esto ocurra se necesitan voltajes y corrientes altos y como gas protector dióxido de carbono.

1.4.2.3.3 Rocío

La deposición por rocío tiene como característica que el metal es transportado a altas velocidades en partículas muy finas a través del arco, aquí las fuerzas electromagnéticas son lo suficientemente fuertes para desprender las pequeñas gotas del electrodo. En este tipo de transferencia se usa argón y los voltajes y corrientes son elevados.

1.4.2.3.4 Pulsos

En la transferencia por pulsos se tiene que la alimentación de electrodo se da de manera pulsada, para este tipo de transferencia de metal se requieren intensidades altas y se puede usar dióxido de carbono como gas de protección.

1.4.2.4 Ventajas

- Es un proceso que tiene un alto factor de operación.
- Se puede tener varios grados de penetración dependiendo del gas de protección usado.
- Posibilidad de uso en todas las posiciones de soldadura
- Tiene facilidad para la producción en serie.
- Mejor eficiencia de deposición que el proceso SMAW.
- No produce escoria sobre el cordón de soldadura.
- Se pueden soldar una mayor cantidad de materiales no ferrosos como son el aluminio y sus aleaciones y el cobre y sus aleaciones.

1.4.2.5 Desventajas

- El uso de gas de protección hace que el transporte del equipo no sea fácil.
- El costo del equipo utilizado es mayor que para procesos manuales
- Existe un mayor número de parámetros que se deben controlar
- Se requiere personal con mayor capacitación.
- Mayor consumo de energía eléctrica.
- Se tiene un mayor riesgo de enfermedades en los soldadores cuando se usa argón como gas de protección

1.4.2.6 Aplicaciones

- Estanques que contengan productos químicos corrosivos.
- Industria alimenticia, de papel, turbinas, bombas.

- Recipientes y tubería a presión.
- Fabricación de chasis de carrocerías, muebles, extintores.
- Estructuras metálicas de puentes, edificios, entre otras.
- Recuperación de ejes por medio de recargues superficiales y posterior maquinado.

1.4.3 SAW (SUBMERGED ARC WELDING)

Es un proceso totalmente automático en el cual se tiene que un alambre – electrodo es alimentado continuamente hacia la pieza de trabajo, el cual al hacer contacto con la misma produce el arco que se caracteriza por estar sumergido en una masa de fundente granular provisto desde una tolva que se desplaza delante del electrodo. Este proceso se caracteriza por los elevados índices de deposición, su uso es diverso ya que se puede soldar espesores de 5 a 40 mm. Un esquema general de la soldadura SAW se muestra en la figura 1.4

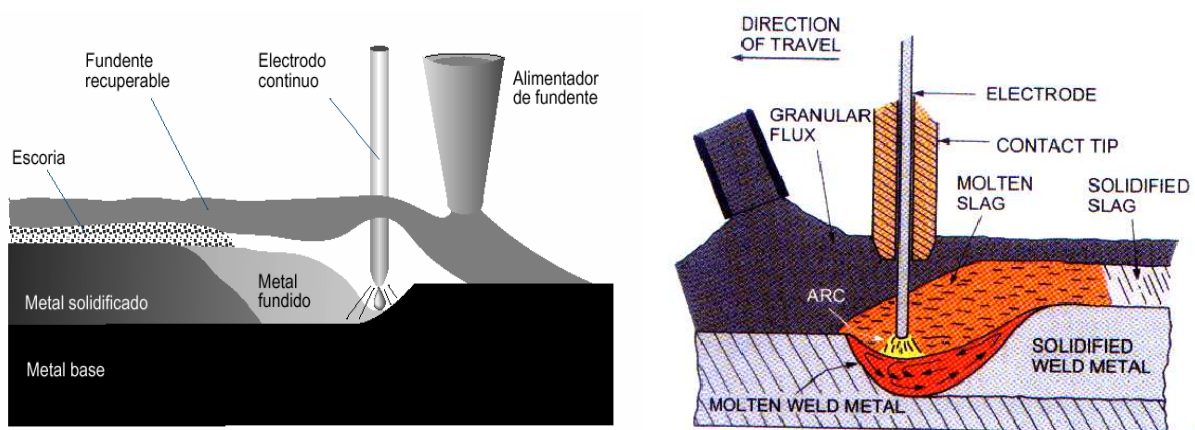


Fig. 1.4 Soldadura SAW

A diferencia de las máquinas usadas en GMAW y FCAW las usadas en SAW deben tener la capacidad de ser usadas al 100% del ciclo de trabajo.

1.4.3.1 Equipo de Soldadura SAW

Para este tipo de soldadura el equipo usando es de voltaje constante y cuenta con un cabezal que alimenta el electrodo y fundente de forma separada. Un esquema del equipo utilizado en la soldadura de arco sumergido se muestra en la figura 1.5

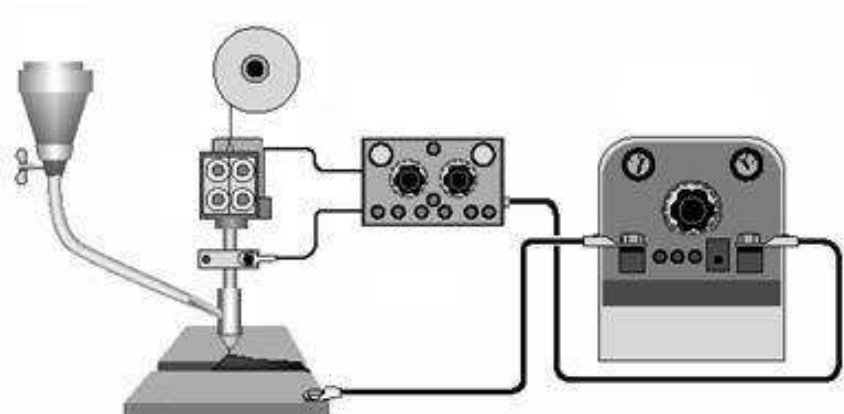


Fig. 1.5 Diagrama esquemático del equipo de soldadura SAW

Una variable propia de este proceso es la cantidad de fundente usado en la soldadura, esto se puede calibrar en la tolva. Cuando la altura de fundente es muy ligera se dan soldaduras frágiles y porosas, en el otro caso, si la altura del fundente es alta se produce un cordón agudo con penetración media.

1.4.3.2 Ventajas

- Se tiene alta velocidad y rendimiento del 100%.
- La deposición es hasta tres veces más rápida que en soldadura manual.
- Con este proceso se permite obtener depósitos de propiedades comparables o superiores a las del metal base.
- Las soldaduras son homogéneas de buen aspecto y de penetración uniforme.
- Los operarios no necesitan mayor protección o capacitación, ya que solamente se requiere un operario, más no un soldador

1.4.3.3 Desventajas

- Se puede soldar solamente en posiciones Plana u Horizontal.
- El equipo no es fácil de transportar.
- Los costos son superiores en comparación a los otros procesos.
- El consumo de energía eléctrica es mayor que en los otros procesos.
- No se puede usar para montaje o producción en campo

1.4.3.4 Aplicaciones

- Construcción de perfilería en planta
- Carros de ferrocarril
- Construcción de recipientes sometidos a presión
- Recargues duros de superficies desgastadas
- Soldadura de placas de grandes espesores

CAPITULO 2

DISEÑO DE ESTRUCTURAS EN ACERO

2.1 INTRODUCCIÓN

En el presente capítulo se hace una breve reseña de los principales parámetros que intervienen en el diseño de estructuras metálicas, así como también del cálculo de los principales elementos estructurales como son las vigas y las columnas en el diseño de estructuras metálicas, otro aspecto importante es el uso de programas computacionales para el cálculo de las mismas.

En la segunda sección se indican los principales métodos de cálculo de la sección transversal de un elemento sometido a flexión, el cual es típico en vigas.

En una sección posterior se muestran métodos de cálculo de elemento sometidos a cargas múltiples, ya sea estas de compresión o flexión, en combinación con flexión, más comúnmente conocido como pandeo en diferentes condiciones de apoyo de los extremos del elemento en cuestión.

En una cuarta sección se tiene una breve descripción del cálculo de estructuras completas con ayuda de software, así como también algunos ejemplos ilustrativos del uso de dichos programas.

Al final del presente capítulo se hace un breve análisis de las ventajas y limitaciones en cuanto al uso de elementos que proporcionen mayor estabilidad y rigidez a la estructura en cuestión.

2.2 PARAMETROS DE DISEÑO DE ESTRUCTURAS METÁLICAS

El proyectista debe aprender a distribuir y a proporcionar los componentes de las estructuras de manera que tengan suficiente resistencia, su montaje sea práctico y sean económicas.

2.2.1 FACTORES DE DISEÑO

Tabla 2.1 Los factores que se deben tomar en cuenta para el diseño son¹

Seguridad	Las estructuras no solo deben soportar las cargas impuestas (límite de falla), sino que además las deflexiones y vibraciones resultantes, no sean excesivas alarmando a los ocupantes, o provoquen agrietamientos (límite de servicio)
Costo	El proyectista debe siempre procurar bajar los costos de construcción sin reducir la resistencia, algunas ideas que permiten hacerlo son usando secciones estándar con detalles simples de conexiones y de mantenimiento sencillo.
Factibilidad	Las estructuras diseñadas deben fabricarse y montarse sin problemas, por lo que el proyectista debe adecuarse al equipo e instalaciones disponibles debiendo aprender como se realiza la fabricación y el montaje de las estructuras para poder detallarlas adecuadamente, debiendo aprender tolerancias de montaje, dimensiones máximas de transporte, especificaciones sobre instalaciones; de tal manera que el proyectista se sienta capaz de fabricar y montar la estructura que esta diseñando.

¹JOHNSTON, BRUCE; Diseño básico de estructuras de acero, Editorial Prentice Hall

2.3 ESTUDIO DE LAS CARGAS

Las cargas son fuerzas que actúan o pueden actuar sobre una estructura. Con el propósito de predecir el comportamiento resultante de la estructura, las cargas, o influencias externas, incluyendo las fuerzas, los desplazamientos consecuentes y los asentamientos de los apoyos, se suponen conocidos. Estas influencias están especificadas en normas, por ejemplo en los códigos de construcción, en los códigos de prácticas recomendadas o en las especificaciones del propietario, o pueden determinarse por criterios de ingeniería. Las cargas se dividen en dos tipos generales: carga muerta, la cual es el peso de una estructura, incluyendo todos sus componentes permanentes, y carga viva, que comprende todas las demás cargas aplicadas sobre la estructura como son: cargas de viento, lluvia, nieve, sísmicas, etc..

2.3.1 TIPOS DE CARGAS

El tipo de carga tiene una influencia considerable sobre el comportamiento de la estructura en la cual actúa. De acuerdo con esta influencia las cargas pueden clasificarse en estáticas, dinámicas, de larga duración, o repetitivas.

2.3.1.1 Cargas Estáticas

Las cargas estáticas son aquellas que se aplican tan lentamente que el efecto del tiempo puede ignorarse. Todas las estructuras están sometidas a alguna carga estática, por ejemplo, su propio peso. Sin embargo, hay muchas cargas que usualmente se aproximan a cargas estáticas por conveniencia. Las cargas de ocupación y las cargas de viento con frecuencia se suponen estáticas.

2.3.1.2 Cargas Dinámicas

Las cargas dinámicas se caracterizan por duraciones muy cortas y la respuesta de la estructura depende del tiempo. Los movimientos sísmicos, las

ráfagas de viento de alto nivel, y las cargas vivas móviles pertenecen a esta categoría.

2.3.1.3 Cargas de Larga Duración

Las cargas de larga duración son las que actúan sobre una estructura por extensos periodos. Para algunos materiales y niveles de esfuerzo, dichas cargas ocasionan que las estructuras sufran deformaciones bajo carga constante que pueden tener efectos graves. Puede ocurrir flujo plástico y relajación de los materiales estructurales, al estar sometidos a cargas de larga duración. El peso de una estructura y cualquier carga muerta superpuesta pertenecen a esta categoría.

2.3.1.4 Cargas Repetitivas

Las cargas repetitivas son aquellas que se aplican y se remueven varias veces. Si se repiten gran cantidad de veces, pueden hacer que la estructura falle por fatiga. Las cargas vivas móviles corresponden a esta categoría.

2.3.1.5 Carga de Viento

Es la carga producida por la acción del viento, la cual trata de empujar a la estructura en una determinada dirección, dependiendo de la zona en la que se vaya a construir la estructura esta carga puede ser considerablemente grande, y por lo tanto no se puede dejar de lado su efecto

En las NTC-Viento del RCDF-87* se especifica el cálculo de estas presiones de acuerdo a las características de la estructura.

2.3.1.6 Carga de Lluvia y granizo

Esta carga se un peso extra que se suma sobre la estructura, al igual que la de viento esta debe ser tomada en cuenta en el diseño dependiendo de la zona en la que se encuentre la edificación.

* Normas Técnicas Complementarias para viento, del Reglamento de Construcciones del Distrito Federal.

Esta carga se calcula como el producto del volumen de granizo sobre la estructura multiplicado por la densidad del agua dividida entre dos. El volumen es calculado utilizando el área de superficie de la cubierta multiplicado por la altura que se desea que soporte la estructura. Para el caso de diseño de estructuras en la ciudad de Quito se tiene que una altura de 10 cm de granizo, es aproximadamente la que se produce durante una tormenta promedio.

2.3.1.7 Carga de sismo

Estas cargas inducidas en las estructuras están en relación a su masa y elevación a partir del suelo; así como de las aceleraciones del terreno y de la capacidad de la estructura para disipar energía; estas cargas se pueden determinar como fuerzas estáticas horizontales aplicadas a las masas de la estructura, aunque en ocasiones debido a la altura de los edificios o esbeltez se hace necesario un análisis dinámico para determinar las fuerzas máximas a que estará sometida la estructura.

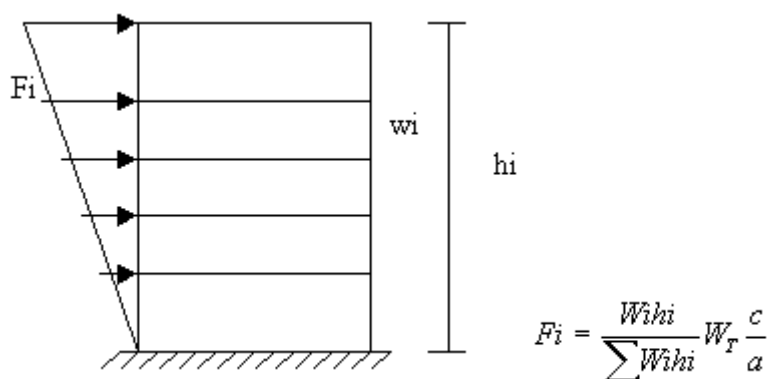


Fig. 2.1 Determinación de la carga de sismo en una estructura

Donde:

F_i = Diferenciales de fuerza sobre la estructura

W_i = Diferenciales de masa de la estructura

h_i = Diferencial de altura de la estructura

W_T = Peso total de la estructura

c = Capacidad de la estructura para disipar energía

a = Aceleraciones del terreno debidas al sismo

2.3.2 COMBINACIÓN DE CARGAS

Los tipos de carga descritos anteriormente pueden actuar simultáneamente. Por tanto, los máximos esfuerzos o deformaciones pueden resultar de alguna combinación de las cargas. Los códigos de construcción especifican diversas combinaciones que deben usarse, dependiendo de si usa el diseño por esfuerzos permisibles “ASD” (Allowable Stress Design) o el diseño con coeficiente de carga y resistencia “LRFD” (Load and Resistance Factor Design).

2.3.2.1 Cargas combinadas usadas en diseño ASD

En función de la zona donde vaya a construirse una estructura metálica para edificio, y según las necesidades o características que se crean necesarias, las cargas totales pueden estar definidas por las ecuaciones mostradas en la tabla 2.2.

Tabla 2.2 Para el ASD, las siguientes son combinaciones típicamente usadas:²

1.-	D	7.-	$D+A+(S \text{ o } 0.5W \text{ o } E)$
2.-	$D+L+(Lr \text{ o } S \text{ o } R)$	8.-	$0.75 [D+L+(Lr \text{ o } S \text{ o } R)+(W \text{ o } E)]$
3.-	$0.75 [D+L+(Lr \text{ o } S \text{ o } R)+T]$	9.-	$0.75 (D+L+W+0.5S)$
4.-	D+A	10.-	$0.75 (D+L+0.5W \text{ o } S)$
5.-	$0.75 [D+(W \text{ o } E)]$	11.-	$0.66 [D+L+(Lr \text{ o } S \text{ o } R)+(W \text{ o } E)+T]$
6.-	$0.75 [D+(W \text{ o } E)+T]$		

Donde:

D = carga muerta de la estructura

L = carga viva de piso, incluyendo el impacto

Lr = carga viva de techo de la estructura

A = cargas provenientes de grúas y sistemas de manejo de materiales

S = carga de techo de nieve, granizo, ceniza

R = carga de lluvia

W = cargas de viento

E = carga sísmica

T = cargas de restricción sobre la estructura

² Brockenbrough Roger; Merrit frederick; Diseño de estructuras de acero; Mc Graw Hill; Colombia; 1997; segunda edición

2.3.2.2 Cargas combinadas usadas en diseño LRFD

En función de la zona donde vaya a construirse una estructura metálica para edificio, y según las necesidades o características que se crean necesarias, las cargas totales pueden estar definidas por las ecuaciones mostradas en la tabla 2.3.

Tabla 2.3 Para la norma LRFD se tiene las siguientes cargas combinadas³:

1.-	$1.4 D$	4.-	$1.2D+1.3W+0.5L+0.5(Lr \text{ o } S \text{ o } R)$
2.-	$1.2 D+1.6 L+0.5 (Lr \text{ o } S \text{ o } R)$	5.-	$1.2D+1.5E+(0.5L \text{ o } 0.2S)$
3.-	$1.2D+1.6(Lr \text{ o } S \text{ o } R)+(0.5L \text{ o } 0.8W)$	6.-	$0.9D-(1.3W \text{ o } 1.5E)$

En estas combinaciones, R es carga debida al agua de lluvia o hielo inicial, exclusiva del empozamiento. Al igual que con las combinaciones de carga del ASD, la más crítica combinación de carga puede ocurrir cuando no actúan una o más de las cargas.

2.3.3 PROCEDIMIENTO DE DISEÑO

El Procedimiento que se sigue en el diseño estructural consiste en seis pasos principales explicados a continuación.

2.3.3.1 Selección del tipo de estructura

El tipo de estructura se selecciona con bases funcionales, económicas, estéticas y de servicio. En algunos casos, el tipo de estructura que se adopte depende de otras consideraciones como los deseos del cliente, preferencias de diseñador o algún precedente ya establecido, frecuentemente es necesario investigar varias estructuraciones diferentes y la selección final se la hace después de que se ha avanzado bastante en varios diseños comparativos.

³ BROCKENBROUGH ROGER; MERRIT FREDERICK; Diseño de estructuras de acero; Mc Graw Hill; Colombia; 1997; segunda edición

2.3.3.2 Determinación de las cargas de servicio

Una vez escogido el tipo general de estructura, o al menos al haberse definido varias alternativas, es posible realizar un croquis a pequeña escala de la estructuración. La distribución de los miembros se rige naturalmente por las magnitudes de las cargas que actúan sobre ellos. Partiendo de la estructuración general, puede hacerse ya una estimación de las cargas aplicadas, que son de varios tipos incluyendo gente, mobiliario, equipo y materiales almacenados.

2.3.3.3 Momentos y fuerzas internas

Los momentos y fuerzas en los miembros de las estructuras estáticamente determinadas y sujetas a cargas estáticas se calculan simplemente haciendo uso de las condiciones de equilibrio. Para poder realizar un análisis preliminar de un marco estáticamente indeterminado, frecuentemente se estima por experiencia las localizaciones de los puntos de inflexión, y se efectúa el análisis preliminar sobre esta base.

2.3.3.4 Dimensionamiento de miembros y conexiones

Una vez conocidas las fuerzas internas en los miembros y el material que se va a emplear, puede seleccionarse el tamaño de cada miembro teniendo en cuenta el siguiente criterio: a) rigidez y resistencia adecuadas, b) factibilidad de conexión y c) economía.

Al escoger la forma y las dimensiones generales de un miembro, el diseñador debe considerar su conexión con los miembros adyacentes, frecuentemente las dimensiones de cada miembro pueden determinarse independientemente del resto aunque a veces este procedimiento no es teóricamente correcto, como en el caso de algunos miembros que se usan para restringir pandeos de otros.

2.3.3.5 Funcionamiento bajo condiciones de servicio

Después que se ha determinado el tamaño de un miembro, a partir de las cargas conocidas, debe revisarse para comprobar si satisface los requisitos de servicio tales como deformaciones máximas admisibles, distorsiones excesivas, vibración, fatiga, corrosión, esfuerzos por temperatura, esfuerzos debido a asentamientos de apoyos y cualquier otra condición que pueda afectar el funcionamiento de la estructura.

2.3.3.6 Revisión Final

Una vez conocidas las propiedades de las secciones, es necesario verificar si los pesos supuestos para la estructura corresponden con los pesos reales obtenidos en el diseño.

De estas consideraciones se concluye que el diseño de cualquier estructura de importancia es esencialmente un procedimiento de aproximaciones sucesivas.

2.3.4 CÁLCULO EN EL DISEÑO

2.3.4.1 Especificaciones ASD y LRFD

El Instituto Americano de Construcción en Acero AISC (American Institute of Steel Construction) ha desarrollado especificaciones de diseño para el acero estructural con dos diferentes enfoques de diseño:

a) Especificación para construcción de estructuras de acero en base al esfuerzo admisible de diseño, ASD (Specification for Structural Steel Buildings-Allowable Stress Design)

b) Especificación para construcción de estructuras de acero en base a un factor de carga y resistencia, LRFD (Specification for Structural Steel Buildings Load and Resistance Factor Design).

Es prerrogativa del diseñador seleccionar el enfoque que va a seguirse, esta decisión generalmente se basa en consideraciones económicas. Es importante aclarar que los dos enfoques no deben mezclarse.

La especificación del AISC para el ASD establece esfuerzos admisibles que bajo cargas de servicio en una estructura, no pueden sobrepasarse en los miembros estructurales o en sus conexiones. Los esfuerzos admisibles incorporan un factor de seguridad para compensar por las incertidumbres en el diseño y la construcción. Los esfuerzos comunes de la especificación ASD del AISC se muestran en el Anexo 1.

La especificación del AISC para el LRFD exige que se apliquen los coeficientes tanto a las cargas de servicio como a la resistencia nominal de los miembros y conexiones. Para tener en cuenta las incertidumbres al estimar las cargas de servicio se aplican a ellas coeficientes de carga generalmente mayor que la unidad. Para reflejar la variabilidad inherente en los pronósticos de la resistencia de un miembro o conexión, la resistencia nominal R_n se multiplica por un coeficiente de resistencia ϕ menor que la unidad. Para asegurar que el miembro o conexión tenga suficiente resistencia para soportar cargas de servicio, dichas cargas de servicio multiplicadas por los coeficientes de carga adecuadas no deben sobrepasar la resistencia de diseño ϕR_n . En el anexo 1 se resumen las fórmulas para la resistencia de diseño indicadas en la especificación LRFD del AISC.

2.3.4.2 Tensión Axial

La especificación LRFD del AISC da la resistencia de diseño P_n de un miembro a tensión como:

$$\phi_t P_n = 0.9F_y A_g \leq 0.75F_u A_e \quad (1)$$

Donde:

A_e = área neta efectiva

A_g = área bruta del miembro

F_y = resistencia mínima a la fluencia

F_u = resistencia mínima especificada a la tensión

ϕ = coeficiente de resistencia tensión

Para el ASD los esfuerzos admisibles a tensión son $0.6 F_y$ en el área bruta y $0.50 F_u$ en el área efectiva.

2.3.4.3 Esfuerzo Cortante

En las vigas, el área del alma para los cálculos del cortante A_w es el producto de la altura total d y el espesor t del alma. Las especificaciones LRFD y ASD del AISC para el acero estructural para edificios indican las mismas ecuaciones nominales pero presentan distintos formatos.

2.3.4.3.1 Esfuerzo cortante en las almas

Según la norma LRFD, la resistencia de diseño a cortante ϕV_n está dada por las siguientes ecuaciones con $\phi = 0.90$.

$$\text{Para } \frac{h}{t} \leq 187 \sqrt{\frac{k}{F_y}} \quad \phi V_n = 0.54 F_y A_w \quad (2)$$

$$\text{Para } 187 \sqrt{\frac{k}{F_y}} < \frac{h}{t} \leq 234 \sqrt{\frac{k}{F_y}} \quad \phi V_n = 0.54 F_y A_w \frac{187 \sqrt{\frac{k}{F_y}}}{h/t} \quad (3)$$

$$\text{Para } \frac{h}{t} > 234 \sqrt{\frac{k}{F_y}} \quad \phi V_n = A_w \frac{23.760}{(h/t)^2} \quad (4)$$

Donde:

h = distancia libre entre las aletas menos el radio de esquina o filete en cada aleta para un perfil laminado y la distancia libre entre las aletas para una sección armada.

t = espesor del alma

k = coeficiente de pandeo del alma

$$k = 5 + \frac{5}{\left(\frac{a}{h}\right)^2} \quad \text{si } \frac{a}{h} \leq 3.0 \quad (5)$$

$$k = 5 \quad \text{si } \frac{a}{h} > 3.0 \quad \text{ó} \quad \left[\frac{260}{\left(\frac{h}{t}\right)} \right]^2 \quad (6)$$

a = distancia libre entre rigidizadores transversales

F_y = esfuerzo mínimo de fluencia especificado en el alma

El esfuerzo cortante de diseño F_v en el ASD está dado por las siguientes ecuaciones:

$$\text{Para } \frac{h}{t} \leq \frac{380}{\sqrt{F_y}} \quad F_v = 0.40 F_y \quad (7)$$

$$\text{Para } \frac{h}{t} > \frac{380}{\sqrt{F_y}} \quad F_v = \frac{F_y C_v}{2.89} \leq 0.4 F_y \quad (8)$$

$$\text{Donde } C_v = \frac{45000 k_v}{F_y \left(\frac{h}{t}\right)^2} \quad \text{cuando } C_v < 0.8 \quad (9)$$

$$C_v = \frac{190}{\frac{h}{t}} \sqrt{\frac{k_v}{F_y}} \quad \text{cuando } C_v > 0.8 \quad (10)$$

$$k_v = 4.00 + \frac{5.34}{\left(\frac{a}{h}\right)^2} \quad \text{cuando } \frac{a}{h} < 1.0 \quad (11)$$

$$k_v = 5.34 + \frac{4.00}{\left(\frac{a}{h}\right)^2} \quad \text{cuando } \frac{a}{h} > 1.0 \quad (12)$$

2.3.4.4 Tensión y Cortante combinados en las almas de vigas esbeltas armadas

Grandes fuerzas de cortante pueden desarrollarse en las vigas esbeltas armadas diseñadas para acción de campo tensionado. Por lo tanto, en los sitios de gran cortante y flexión (esto es cuando $\frac{0.6V_n}{M_n} \leq \frac{V_u}{M_u} \leq \frac{V_n}{0.75M_n}$), de acuerdo

con la especificación LRDF el miembro debe revisarse para la siguiente interacción de flexión y cortante:

$$\frac{M_u}{M_n} + 0.625 \frac{V_u}{V_n} \leq 1.375\phi \quad (13)$$

Donde:

M_n = resistencia nominal a la flexión

M_u = resistencia requerida a flexión para resistir las cargas combinadas

ϕ = coeficiente de reducción 0.9

V_u = resistencia nominal cortante

V_n = resistencia requerida al cortante para resistir las cargas combinadas

En el ASD, el alma de la viga esbelta armada debe diseñarse de manera que los esfuerzos de tensión causados por la flexión F_b debida al momento en el plano del alma no sobrepasen

$$F_b = \left(0.825 - 0.375 \frac{f_v}{F_v} \right) F_y \leq 0.6 F_y \quad (14)$$

Donde:

f_v = esfuerzo cortante aplicado

F_v = esfuerzo cortante admisible con acción de campo tensionado

F_y = esfuerzo de fluencia mínimo especificado del alma

2.3.4.5 Compresión

Las fuerzas de compresión pueden producir fallas de pandeo local o general en un miembro de acero. El pandeo general es la flexión hacia fuera del plano mostrado por una columna o una viga cargada axialmente. El pandeo local puede manifestarse como una falla del alma bajo una carga concentrada o por encima de una reacción o como pandeo de una aleta o alma a lo largo de una viga o columna.

El diseño de miembros que están sometidos a compresión aplicada axialmente a través del eje centroidal se basa en el supuesto de esfuerzos uniformes sobre el área bruta. Este concepto es aplicable tanto al diseño con

coeficientes de carga y de resistencia (LRFD) como al diseño de esfuerzos permisibles (ASD).

Los dos métodos utilizan el concepto de longitud efectiva de columna KL para el diseño de un miembro a compresión o columna axialmente cargado. El coeficiente de pandeo es la relación entre la longitud efectiva de columna y la longitud no arriostrada L , estos valores dependerán de las condiciones de apoyo de la columna que va a diseñarse.

Los valores de diseño de K recomendados por el Structural Stability Research Council para usarlos se ilustran en la siguiente figura.

LA FORMA PANDEADA DE LA COLUMNA ESTÁ INDICADA POR LA LÍNEA A TRAZOS	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
VALOR TEÓRICO K	0.5	0.7	1.0	1.0	2.0	2.0
VALOR RECOMENDADO DE DISEÑO CUANDO LAS CONDICIONES IDEALES SON APROXIMADAS	0.65	0.80	1.2	1.0	2.10	2.0
CÓDIGO DE CONDICIONES EN LOS EXTREMOS						
		ROTACIÓN Y TRASLACIÓN IMPEDIDAS				
		ROTACIÓN LIBRE Y TRASLACIÓN IMPEDIDA				
		ROTACIÓN IMPEDIDA Y TRASLACIÓN LIBRE				
		ROTACIÓN Y TRASLACIÓN LIBRES				

Fig. 2.2 Constantes para determinación de resistencia de columnas al pandeo⁴

La resistencia a la compresión axial de una columna depende de su rigidez medida por la relación de esbeltez KL/r en donde r es el radio de giro respecto al plano de pandeo, por consideraciones de capacidad de servicio el AISC recomienda que KL/r no sea superior a 200.

La resistencia por la norma LRFD de un miembro a compresión ϕP_n está dada por:

$$\phi P_n = 0.85 A_g F_{cr} \quad (15)$$

⁴ MC CORMAC; Diseño de estructuras de acero; Alfaomega; Mexico; 1989; cuarta edición

(15) BROCKENBROUGH ROGER; MERRIT FREDERICK; Diseño de estructuras de acero; Mc Graw Hill; Colombia; 1997

Con $\phi = 0.85$

$$\text{Para } \lambda_c \leq 1.5 \quad F_{cr} = 0.658^{\lambda_c^2} F_y \quad (16)$$

$$\text{Para } \lambda_c > 1.5 \quad F_{cr} = \frac{0.877}{\lambda_c^2} F_y \quad (17)$$

Donde:

$$\lambda_c = \left(\frac{KL}{r\pi} \right) \sqrt{\frac{F_y}{E}} \quad (18)$$

F_y = esfuerzo a la fluencia mínimo especificado del acero

A_g = área bruta del miembro

E = módulo elástico del acero

Según la norma ASD, el esfuerzo de compresión admisible depende si el paneo será elástico o inelástico, como se indica por la relación de esbeltez

$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{F_y}} \quad (19)$$

Cuando $\frac{KL}{r} < C_c$, el esfuerzo de compresión admisible F_a sobre la sección bruta debe calcularse a partir de

$$F_a = \frac{1 - \frac{\left(\frac{KL}{r}\right)^2}{2C_c^2}}{\frac{5}{3} + 3 \frac{\left(\frac{KL}{r}\right)}{8C_c} - \frac{\left(\frac{KL}{r}\right)^3}{8C_c^3}} F_y \quad (20)$$

Cuando $\frac{KL}{r} > C_c$, el esfuerzo de compresión admisible es

$$F_a = \frac{12\pi^2 E}{23 \left(\frac{KL}{r}\right)^2} \quad (21)$$

2.3.4.6 Resistencia a la Flexión

Para un miembro sometido a flexión, la resistencia a la flexión depende de la forma del miembro, de las razones ancho-espesor o altura-espesor de sus elementos, de la localización y dirección de la carga, y del apoyo dado a la aleta en compresión.

La resistencia a la flexión puede reducirse con base en el espaciamiento de los apoyos laterales que impiden el desplazamiento de la aleta en compresión y la torsión de la sección transversal.

2.3.4.6.1 Resistencia a la flexión en el LRFD

Según la especificación LRFD del AISC, la resistencia de diseño a flexión para un perfil viene determinada por el estado límite de pandeo lateral-torsional con un límite superior de capacidad de la sección transversal.

La resistencia de diseño a flexión ϕM_n de un miembro I doble o simplemente simétrico con $\phi=0.90$ se determina a partir de las siguientes ecuaciones, dependiendo de la longitud no arriostrada lateralmente de la aleta en compresión L_b y las longitudes no arriostradas límites para la capacidad de flexión plástica total L_p o el pandeo inelástico torsional L_r .

$$\text{Cuando } L_b \leq L_p; \quad M_n = M_p \quad (22)$$

$$\text{Cuando } L_b \leq L_r; \quad M_n = C_b \left[M_p - (M_p - M_r) \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] \leq M_p \quad (23)$$

$$\text{Cuando } L_b > L_r; \quad M_n = M_{cr} \leq C_b M_r \quad (24)$$

Donde:

M_p = momento plástico de flexión = $F_y Z$

Z = módulo plástico de la sección (calculado para la capacidad completa de la sección transversal de la viga)

$M_r = (F_y - F_r) S_x$

S_x = módulo plástico de la sección con respecto al eje principal

F_y = esfuerzo de capacidad mínimo especificado de la aleta en compresión

$$M_{cr} = C_b \frac{\pi}{L_b} \sqrt{EI_y GJ + \left(\frac{\pi E}{L_b} \right)^2 I_y C_w} \quad (25)$$

$C_b = 1.75 + 1.05(M_1/M_2) + 0.3(M_1/M_2)^2 \leq 2.3$; donde M_1 es el menor y M_2 el mayor momento en los extremos del segmento no arriostrado de la viga; M_1/M_2 es

positivo cuando los momentos ocasionan curvatura inversa y negativo cuando está flexionando en una sola curvatura.

$C_b = 1$; para voladizos no arriostrados y para los miembros en que el momento dentro de una porción significativa del segmento no arriostrado es mayor que o igual al mayor de los momentos en los extremos del segmento

L_b = distancia entre los puntos arriostrados contra el desplazamiento lateral de la aleta en compresión, o entre los puntos arriostrados para impedir la torsión de la sección transversal

$L_p = \frac{300r_y}{\sqrt{F_y}}$ para los miembros en I y los canales flexionados con respecto a su eje

principal

$$L_r = \frac{r_y X_1}{(F_{yw} - F_r)} \sqrt{1 + \sqrt{X_2 (F_{yw} - F_y)^2}} \quad (26)$$

$$X_1 = \frac{\pi}{S_x} \sqrt{\frac{EGJA}{2}} \quad (27)$$

$$X_2 = 4 \frac{C_w}{I_y} \left(\frac{S_x}{GJ} \right)^2 \quad (28)$$

r_y = radio de giro con respecto al eje menor

E = módulo de elasticidad del acero

A = área transversal del miembro

G = módulo cortante de elasticidad del acero

J = constante de torsión para la sección

F_{yw} = esfuerzo de cadencia del alma

I_y = momento de inercia con respecto al eje menor

C_w = constante de alabeo

F_r = esfuerzo residual de compresión en la aleta; 10 Klb/pulg² para perfiles laminados, 16.5 Klb/pulg² para perfiles soldados

A causa de la mayor estabilidad lateral de los perfiles circulares o cuadrados y de los perfiles que se flexionan con respecto a su eje menor, la capacidad de momento nominal está definida por $M_n = M_p$, en donde M_p se evalúa para el eje menor y $\phi = 0.9$.

2.3.4.6.2 Esfuerzos de flexión en la norma ASD

Los requisitos de la norma ASD para la resistencia a la flexión siguen, en concepto, las provistas de la norma LRFD en que los esfuerzos admisibles se definen con base a la sección transversal del miembro, las relaciones ancho-espesor y altura-espesor de sus elementos, la dirección de la carga, y la cantidad de apoyo lateral proporcionado a la aleta en compresión.

El esfuerzo de flexión admisible para un perfil compacto depende de la longitud no apoyada lateralmente L de la aleta en compresión. El esfuerzo de flexión admisible también depende de la rigidez de la parte en compresión de la sección transversal como se mide por L/r_T , en donde r_T es el radio de giro de una sección que comprende la aleta en compresión y una tercera parte del área del alma en compresión, tomado con respecto a un eje en el plano del alma.

El mayor esfuerzo de flexión permitido para una sección compacta simétrica con respecto a y cargada en el plano de su eje menor es:

$$F_b = 0.66 F_y \quad (29)$$

Sin embargo, este esfuerzo puede usarse únicamente si L no sobrepasa el menor de los valores de L_c calculados a partir de las dos ecuaciones siguientes.

$$L_c = \frac{76b_f}{\sqrt{F_y}} \quad (30)$$

$$L_c = \frac{20000}{\left(\frac{d}{A_f}\right) F_y} \quad (31)$$

Donde:

b_f = ancho de la aleta

d = altura nominal de la viga

A_f = área de la aleta a compresión

F_y = esfuerzo de cadencia mínimo especificado

Cuando $L > L_c$, el esfuerzo admisible de flexión para las secciones compactas o no compactas es el mayor entre F_b calculado a partir de la siguientes ecuaciones.

$$F_b = \frac{12000C_b}{\left(\frac{Ld}{A_f}\right)} \leq 0.60F_y \quad (32)$$

Donde C_b es el coeficiente de flexión definido en el método LRFD cuando

$$\frac{L}{r_T} \leq \sqrt{\frac{102000C_b}{F_y}} \quad (33)$$

$$\text{Cuando } \sqrt{\frac{102000C_b}{F_y}} \leq \frac{L}{r_T} \leq \sqrt{\frac{510000C_b}{F_y}} \quad (34)$$

$$F_b = \left[\frac{2}{3} - \frac{F_y \left(\frac{L}{r_T}\right)^2}{1530000C_b} \right] F_y \leq 0.60F_y \quad (35)$$

$$\text{Cuando } \frac{L}{r_T} \leq \sqrt{\frac{510000C_b}{F_y}} \quad (36)$$

$$F_b = \frac{170000C_b}{\left(\frac{L}{r_T}\right)^2} \leq 0.60F_y \quad (37)$$

Las especificaciones del AISC para los edificios de acero estructural no exigen arriostramiento lateral para los miembros que tienen igual resistencia con respecto al eje mayor y al eje menor, ni para la flexión con respecto al eje débil cuando las cargas pasan por el centro del cortante.

Para los miembros de perfil I o H simétricos con respecto a los dos ejes, con aletas compactas continuamente conectadas al alma y secciones rectangulares sólidas, sometidos a flexión con respecto al eje menor, el esfuerzo de flexión admisible es:

$$F_b = 0.75F_y \quad (38)$$

Este esfuerzo es también permitido para barras sólidas redondas y cuadradas.

2.4 USO DEL ACERO COMO MATERIAL ESTRUCTURAL

En la actualidad existe una amplia variedad de aceros con características especiales para determinadas aplicaciones en la industria metal mecánica. Las propiedades de algunos de estos aceros se encuentran en el anexo 2.

2.4.1 ANTECEDENTES

Antes de la revolución industrial, el acero era un material caro que se producía en escala reducida para fabricar armas, principalmente. Los componentes estructurales de máquinas, puentes y edificios eran de hierro forjado o fundiciones. Las fundiciones son aleaciones de hierro con carbono entre 2.5% y 5%. La aleación que contiene el 4.3% se conoce como "eutéctica" y es aquella donde el punto de fusión es mínimo, 1 130°C . Esta temperatura es mucho más accesible que la del punto de fusión del hierro puro (1, 537°C). Los chinos ya en el siglo VI de nuestra era, conocían y aprovechaban la composición eutéctica para producir fundiciones en hornos de leña. Eran hornos, mayores que los europeos y por su mayor escala podían alcanzar temperaturas superiores a los 1150°C. El producto de estos hornos era una aleación líquida llamada arrabio que contenía abundantes impurezas. Por su baja temperatura de fusión, el arrabio servía como punto de partida para la fabricación de hierro fundido, al cual solamente se le eliminaban las impurezas manteniendo un alto contenido de carbono.

El primer paso para lograr la transformación masiva del arrabio en acero lo dio el inglés Henry Bessemer en 1856. La idea de Bessemer era simple: eliminar las impurezas del arrabio líquido y reducir su contenido de carbono mediante la inyección de aire en un "convertidor" de arrabio en acero. Se trata de una especie de crisol, como el que muestra en la Fig. 2.3, donde se inyecta aire soplado desde la parte inferior, que a su paso a través del arrabio líquido logra la oxidación de carbono. Así, el contenido de carbono se reduce al 4 o 5% a alrededor de un 0.5%. Además el oxígeno reacciona con las impurezas del arrabio produciendo

escoria que sube y flota en la superficie del acero líquido. Como la combinación del oxígeno con el carbono del arrabio es una combustión que genera calor; Bessemer acertadamente sostenía que su proceso estaba exento de costos por energía. La idea era fantástica.

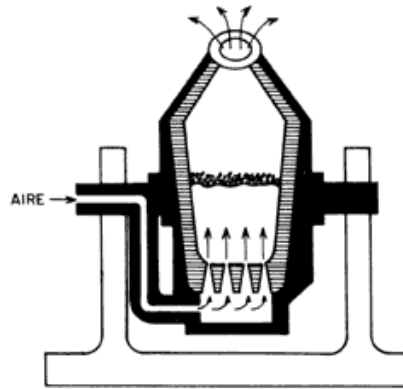


Fig. 2.3. Convertidor de arrabio en acero inventado por Henry Bessemer.

2.4.2 LOS ACEREROS CLÁSICOS

Una vez desatada la producción masiva de acero durante la revolución industrial, la producción, mundial creció vertiginosamente, como se indica en la Fig. 2.4, impulsada por una fiebre tecnológica sin precedentes y por una demanda industrial insatisfecha. El fenómeno nunca estuvo limitado al ámbito inglés. Diez años antes de registrarse la patente de Bessemer, William Kelly había desarrollado la misma idea en Estados Unidos. Asimismo los hermanos Siemens, alemanes, y posteriormente los hermanos Martin, franceses, dieron grandes pasos en el desarrollo de convertidores de arrabio en acero que antes de terminar el siglo XIX ya habían superado la producción a los de Bessemer (Fig. 2.5).

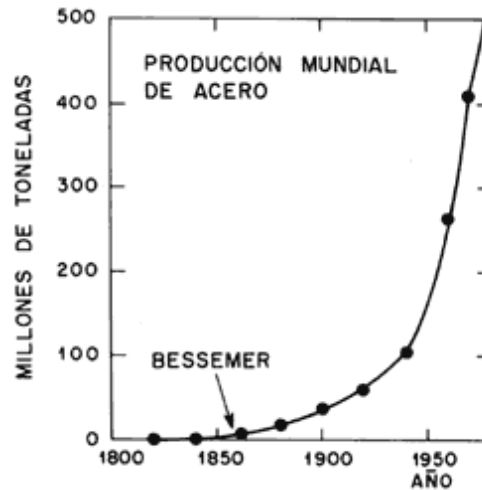


Fig. 2.4. Gráfica de la producción mundial de acero en los últimos siglos.

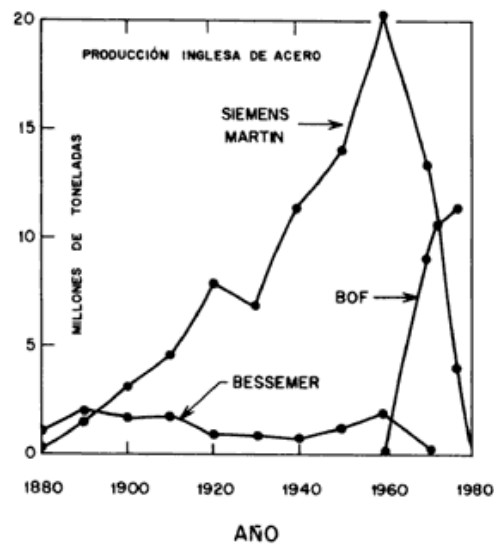


Fig. 2.5. Producción de acero en Inglaterra por los distintos métodos

2.4.3 ACEROS ESPECIALES

La fabricación de piezas, equipos y estructuras se hace con herramientas. Se necesitan guillotinas para cizallar; dados para forjar; brocas para perforar; moldes para conformar; martillos y cincelos para golpear. Hay un acero para cada uso.

Hoy las herramientas para maquinar, llamadas herramientas de corte, se hacen con aceros de alta velocidad. A principios del presente siglo los aceros de

alta velocidad llevaban un alto porcentaje de tungsteno, alrededor del 18%. Contenían cromo, en un 4%; además del carbono, el manganeso y el silicio.

La competencia entre la dureza de los aceros y su tenacidad es casi tan vieja como el acero mismo. Es fácil hacer que un acero sea duro aunque frágil, o que un acero sea dúctil y tenaz, pero blando. Que sea duro, dúctil y tenaz ya no es tan fácil. Siempre se tiene que llegar a un compromiso porque, de lo contrario, una propiedad se come a la otra.

Tabla 2.4 Efecto de los elementos aleantes en las características de los aceros para herramientas

<i>Características</i>	<i>Elemento</i>
Dureza a alta temperatura	tungsteno, molibdeno, cobalto, vanadio, cromo, manganeso.
Resistencia al desgaste por fricción	vanadio, tungsteno, molibdeno, cromo, manganeso.
Endurecimiento profundo	manganeso, molibdeno, cromo, silicio, níquel, vanadio.
Distorsión mínima en el temple	molibdeno, Cromo, manganeso.
Resistencia al impacto	vanadio, tungsteno, molibdeno, manganeso, cromo.

En el anexo 2 se muestran las propiedades de algunos aceros especiales que pueden ser usados en la construcción de estructuras metálicas de edificios.

2.4.4 VENTAJAS

2.4.4.1 Alta resistencia

La alta resistencia del acero por unidad de peso implica que será poco el peso de las estructuras; esto es de gran importancia en puentes de grandes claros, en edificios altos y en estructuras con malas condiciones en la cimentación.

2.4.4.2 Uniformidad

Las propiedades del acero no cambian apreciablemente con el tiempo como es el caso de las estructuras de concreto reforzado.

2.4.4.3 Elasticidad

El acero se acerca más en su comportamiento a las hipótesis de diseño que la mayoría de los materiales, gracias a que sigue la ley de Hooke hasta esfuerzos bastante altos. Los momentos de inercia de una estructura de acero pueden calcularse exactamente, en tanto que los valores obtenidos para una estructura de concreto reforzado son relativamente imprecisos.

2.4.4.4 Durabilidad

Si el mantenimiento de las estructuras de acero es adecuado durarán indefinidamente. Investigaciones realizadas en los aceros, indican que bajo ciertas condiciones no se requiere ningún mantenimiento a base de pintura.

2.4.4.5 Ductilidad

En miembros estructurales sometidos a cargas normales se desarrollan altas concentraciones de esfuerzos en varios puntos. La naturaleza dúctil de los aceros estructurales comunes les permite fluir localmente en esos puntos, evitándose así fallas prematuras. Una ventaja adicional de las estructuras dúctiles

es que, al sobrecargarlas, sus grandes deflexiones ofrecen evidencia visible de la inminencia de la falla.

2.4.4.6 Tenacidad

Los aceros estructurales son tenaces, es decir, poseen resistencia y ductilidad. Un miembro de acero cargado hasta que se presentan grandes deformaciones será aún capaz de resistir grandes fuerzas. Esta es una característica muy importante porque implica que los miembros de acero pueden someterse a grandes deformaciones durante su fabricación y montaje, sin fracturarse, siendo posible doblarlos, martillarlos, cortarlos y taladrarlos sin daño aparente. La propiedad de un material para absorber energía en grandes cantidades se denomina tenacidad.

2.4.5 DESVENTAJAS

2.4.5.1 Costo de mantenimiento

La mayor parte de los aceros son susceptibles a la corrosión al estar expuestos al aire y al agua y, por consiguiente, deben pintarse periódicamente. El uso de aceros intemperizados para ciertas aplicaciones, tiende a eliminar este costo.

2.4.5.2 Costo de la protección contra el fuego

Aunque algunos miembros estructurales son incombustibles, sus resistencias se reducen considerablemente durante los incendios, cuando los otros materiales de un edificio se queman. Han ocurrido muchos incendios en edificios vacíos en los que el único material combustible era el mismo edificio. El acero es un excelente conductor de calor, de manera que los miembros de acero sin protección pueden transmitir suficiente calor de una sección o compartimiento incendiado de un edificio a secciones adyacentes del mismo edificio e incendiar el material presente. En consecuencia, la estructura de acero de un edificio debe

protegerse con materiales con ciertas características aislantes o el edificio deberá acondicionarse con un sistema de rociadores para que cumpla con los requisitos del Código de Construcción de la localidad en que se halle.

2.4.5.3 Susceptibilidad al pandeo

Entre más largos y esbeltos sean los miembros a compresión, mayor es el peligro de pandeo. Como se indicó previamente, el acero tiene una alta resistencia por unidad de peso, pero al usarse como columnas no resulta muy económico ya que debe usarse bastante material, sólo para hacer más rígidas las columnas contra el posible pandeo.

2.4.5.4 Fatiga

Otra característica inconveniente del acero es que su resistencia puede reducirse si se somete a un gran número de inversiones del signo del esfuerzo, o bien, a un gran número de cambios de la magnitud del esfuerzo de tensión. (Se tienen problemas de fatiga sólo cuando se presentan tensiones.) En la práctica actual se reducen las resistencias estimadas de tales miembros, si se sabe de antemano que estarán sometidos a un número mayor de ciclos de esfuerzos variables que cierto número límite.

2.5 USO DE SOFTWARE EN EL DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE ACERO

En la actualidad el desarrollo de la informática nos ayuda en el cálculo tedioso que debería realizarse en el diseño de las estructuras metálicas, es por eso que se va a realizar un ejemplo ilustrativo con el uso del método LRFD realizado con el uso de las fórmulas citadas en este capítulo para luego hacer una comparación con datos obtenidos en SAP 2000 que es un utilitario para el diseño de estructuras.

2.5.1 EJEMPLO

Una viga simplemente apoyada con un claro de 20 ft debe soportar una carga muerta estática uniforme de 1.0 kip/ft en adición a su peso muerto propio. El patín está soportado lateralmente por el sistema de piso. Seleccione el perfil W más económico, usando acero A36. La deflexión por la carga viva no debe exceder de $L/360$.

Solución

Selección del tipo de viga: perfil laminado W

Selección del grado del acero: A36, $F_y = 36\text{ksi}$

Ciclos de carga < 2000 ; ninguna revisión por fatiga es necesaria

Carga estática; ningún factor por impacto es necesario

Resistencia de diseño por flexión

$$\phi_b M_n = 0.9 M_p = 0.9 Z_x F_y$$

Resistencia de diseño por cortante:

$$\phi V_n = 0.9 V_n = 0.9 (0.6 F_y A_w)$$

Peso propio estimado: 0.04 kip/ft

Cargas de diseño:

Carga muerta: $w_D = 1.0 + 0.04 = 1.04 \text{ kips/ft}$

Carga viva: $w_L = 1.5 \text{ kips/ft}$

Carga de diseño requerida: $w_u = \text{máx} (1.4w_D, 1.2w_D + 1.6w_L)$

$$w_u = \text{máx} (1.456, 3.648) = 3.648 \text{ kips/ft}$$

Momento de diseño requerido

$$M_u = \frac{w_u L^2}{8} = 3.65 \times 20^2 \times \frac{12}{8}$$

$$M_u = 2189 \text{ kip-in}$$

Fuerza cortante de diseño requerida

$$V_u = \frac{wL}{2} = \frac{3.65 \times 20}{2} = 36.5 \text{ kips}$$

Módulo de sección plástico requerido:

$$Z_x = \frac{M_u}{\phi_b F_y} = \frac{2189}{0.9 \times 36} = 67.6 \text{ in}^3$$

Selección del tamaño de la viga: W16 x 40, $Z_x = 72.9 \text{ in}^3$

Revisión de peso: 0.04 kip/ft (correcto)

Revisión de la capacidad del patín:

$$\frac{b_f}{2t_f} = 6.9 < \frac{65}{\sqrt{F_y}} = 10.8 \quad (\text{correcto})$$

Revisión de la capacidad del alma por flexión:

$$\frac{h}{t_w} = 46.6 < \frac{640}{\sqrt{F_y}} = 106.7 \quad (\text{correcto})$$

Revisión de la capacidad por cortante:

$$\frac{h}{t_w} = 46.6 < 260 \quad (\text{correcto})$$

$$\frac{h}{t_w} = 46.6 < \frac{418}{\sqrt{F_y}} = 69.7 \quad (\text{correcto})$$

Resistencia de diseño por cortante:

$$0.9 \times 0.6 \times 36 \times d \times t_w = 0.9 \times 0.6 \times 36 \times 16.01 \times 0.305 = 94.6 \text{ kips} > 36.5 \text{ kips} \quad (\text{correcto})$$

Revisión de la deflexión por carga viva:

$$\frac{5w_L L^4}{348EI_x} = \frac{5 \times \left(\frac{1.5}{12}\right) \times \left(\frac{20}{12}\right)^4}{384 \times 29000 \times 518} = 0.36 \text{ in}$$

$$\frac{L}{360} = \frac{20 \times 12}{360} = 0.67 \text{ in} > 0.36 \text{ in} \quad (\text{correcto})$$

Usar W16 x 40

CAPITULO 3

ESTUDIO DE LA NORMA AWS D1.1 2002

3.1 OBJETIVOS

Conocer a fondo la aplicabilidad de la Norma AWS D1.1 versión 2002, en la industria metalmecánica pesada.

Establecer la importancia de la aplicación o no de los parámetros que se encuentran como opcionales en la norma y que deben estar bien claros dentro de los contratos

Tener claras todas las responsabilidades y derechos de todas las partes que intervienen en un contrato

Establecer los procedimientos que se deben seguir para la selección de personal tanto en planta como para el campo

Determinar los mejores procesos y métodos de construcción y montaje para la edificación de un determinado proyecto

3.2 INTRODUCCION

El presente capítulo se enfoca en un análisis de las aplicaciones, ventajas y limitaciones de la norma AWS D1.1 versión 2002. Debido a la creciente demanda que se ha dado en los últimos años en cambiar el tradicional estilo de construcción con hormigón a la construcción en base a estructuras metálicas para edificios, puentes, casas, entre otros.

En una segunda parte se habla los diferentes tipos de conexiones que pueden presentarse en la construcción de estructuras metálicas. Así como también los métodos de selección de mejores alternativas para el uso de las mismas dependiendo de las condiciones de trabajo que se presenten.

Mas adelante se habla de los métodos usados para la preselección de las juntas y los detalles que estas requieren, para ser usadas dentro de un proyecto.

En la sección siguiente se indican los procesos a usarse para la calificación, tanto de procedimientos a usarse, como de personal requerido para el levantamiento de un proyecto de construcción de estructuras metálicas. En la sección final se trata el tema del montaje, inspección, seguridad, mantenimiento y reparación de estructuras metálicas.

3.3 REQUISITOS PARA EL USO DEL CODIGO AWS D1.1 2002

Este código contiene los requisitos para fabricación y montaje de estructuras metálicas soldadas. Cuando este código es mencionado en los documentos de contrato conforme con todas las provisiones del código debe ser cumplido, a excepción de aquellas provisiones en las que el ingeniero o el contrato lo modifiquen específicamente.

A continuación se hace un resumen de las diferentes secciones del código:

1. General Requirements. Esta sección contiene información básica en alcance y limitaciones del código.
2. Design of Welded Connections. Esta sección contiene los requisitos para el diseño de conexiones soldadas compuestas de miembros tubulares y no tubulares.
3. Prequalification. Esta sección contiene los requisitos para la determinación de los WPS (especificación del procedimiento de soldadura) a partir de los requisitos de calificación de este código.
4. Qualification. Esta sección contiene los requisitos de calificación de los WPSs y personal de soldadura como son los soldadores, operadores y montadores necesarios para el trabajo.
5. Fabrication. Esta sección contiene los requisitos para la preparación, ensamble y trabajo humano de estructuras metálicas soldadas.
6. Inspection. Esta sección contiene los criterios de calificación y responsabilidades de inspectores, criterios de aceptación de para la producción de soldaduras, y establece los procedimientos para inspección visual y pruebas no destructivas.

7. Stud Welding. Esta sección contiene los requisitos para la soldadura de tapón en acero estructural.

8. Strengthening and Repair of Existing Structures. Esta sección contiene información básica para modificaciones de la soldadura o reparación de estructuras existentes.

3.4 LIMITACIONES

El código AWS D1.1 no fue realizado para las siguientes aplicaciones:

1. Aceros con una resistencia mínima a la fluencia mayor que 100 ksi
2. Aceros con un espesor menor a 1/8" (3mm). Cuando el espesor del metal base a ser soldado es menor a 1/8", los requerimientos de la norma AWS D1.3 debería ser aplicada. Cuando se tiene el uso en conjunto con la norma AWS D1.3, conforme con las provisiones aplicables de este código son requeridas
3. Recipientes de presión o tubería a presión.
4. Otros metales base al carbono o aceros de baja aleación. El código AWS D1.6 para acero inoxidable debería ser usado para la soldadura de estructuras de de acero inoxidable. Mientras los documentos de contrato especifiquen AWS D1.1 para soldadura de acero inoxidable, los requerimientos de la norma AWS D1.6 deberían aplicarse.

3.5 DEFINICIONES BASICAS USADAS EN EL CODIGO AWS D1.1

Los términos de soldadura usados en el código AWS D1.1 deben ser interpretados de acuerdo con las definiciones dadas en la última edición de AWS 3.0, *Standard Welding Terms and Definitions*, En suplemento con el anexo B del código AWS D1.1 y las siguientes definiciones

Ingeniero (Engineer).- Debe ser definido como un ente individual designado quien actúa para y por el dueño en todas las razones incluidas en el rango del código.

Contratista (Contractor).- Debe ser definido como cualquier compañía, o su representante, responsable por la fabricación, montaje, producción o soldadura de acuerdo con las provisiones del código.

Inspectores (Inspectors)

Inspector del contratista (Contractor's Inspector).- Se debe definir como a la persona designada quien actúa por y para el contratista, en todas las inspecciones y calidad de las situaciones incluidas en el alcance del código y los documentos de contrato.

Inspector de Verificación (Verification Inspector).- Debe ser definido como la persona designada para actuar por y para el dueño o el ingeniero en todas las inspecciones y situaciones especificadas por el ingeniero.

Inspector(es) Cuando el termino inspector es usado sin ninguna denominación como una categoría específica descrita anteriormente, este aplica igual para inspector del contratista y el inspector de verificación dentro de los límites de responsabilidad descritos es la sección 6.1.2 del código AWS D1.1.

Equipo Original del Fabricante (OEM Original Equipment Manufacturer).- Debe ser asumido como que un solo contratista asume algunas o todas las responsabilidades asignadas mediante el código para el ingeniero.

Cliente (Owner).- Debe ser definido como un individuo o compañía que ejerce el derecho legal de ser dueño del producto o el ensamble estructural producido bajo el código.

3.6 TÉRMINOS USADOS EN EL CÓDIGO

Shall.- Las provisiones del código que usen el término "shall" son obligatorias a menos que sean específicamente modificadas en el contrato por el ingeniero.

Should.- La palabra "should" es recomendada para practicas que son consideradas benéficas, pero no son requisitos.

May.- La palabra "may" en una provisión permite el uso de procedimientos opcionales o prácticas que pueden ser usadas como una alternativa o suplemento del código. Estos procedimientos opcionales que requieren la aprobación del ingeniero deben también estar especificados en el contrato, o requieren la

aprobación por escrito del ingeniero. El contratista podría usar cualquier opción sin la aprobación del ingeniero cuando el código especifique que la aprobación del ingeniero no es requerida.

3.7 RESPONSABILIDADES

3.7.1 RESPONSABILIDADES DEL INGENIERO

El ingeniero debe ser responsable por el desarrollo del contrato que gobierna los productos o ensambles estructurales producidos bajo el código. El ingeniero puede aumentar, quitar, o modificar algunos de los requisitos del código para obtener requerimientos particulares de una estructura específica. Todos los requisitos que modifiquen el código deben ser incorporados dentro del contrato.

El ingeniero debe especificar en el contrato como necesario y como aplicable lo siguiente:

- Los requerimientos del código que son aplicables solamente cuando son especificados por el ingeniero.
- Todos los ensayos no destructivos adicionales que no están específicamente indicados en el código
- Verificación de inspección cuando es requerida por el ingeniero
- Otros criterios de aceptación de la soldadura que no están en la sección 6
- Criterio de aceptación de ensayo charpy para metal soldado, metal base, o zona afectada por el calor cuando son requeridos.
- Para aplicaciones no tubulares, si la estructura esta estáticamente cargada o cíclicamente cargada.
- Todos los requisitos adicionales que no estén específicamente escritos en el código.

Para aplicaciones OEM, las responsabilidades de las partes involucradas.

3.7.2 RESPONSABILIDADES DEL CONTRATISTA

El contratista debe ser responsable por los WPS's, Calificación de personal de soldadura, inspección del contratista, y mejoramiento del trabajo de acuerdo con los requisitos del código y del contrato.

3.7.3 RESPONSABILIDADES DEL INSPECTOR

Inspección del Contratista.- La inspección del contratista debe ser dada como sea necesario para asegurar que los materiales y el trabajo del personal para cumplir los requisitos del contrato.

Inspección de Verificación.- El ingeniero debe determinar si la inspección de verificación debe ser dada. Las responsabilidades de la inspección de verificación debe ser establecida entre el ingeniero y el inspector de verificación.

3.8 APROBACION

Todas las referencias que se necesitan para aprobar deben ser interpretadas por el comisionado de la construcción o el ingeniero.

3.9 SIMBOLOGIA DE SOLDADURA

Los símbolos de soldadura deben ser tomados de los mostrados en la última edición de AWS A2.4, Symbols for Welding, Brazing, and Nondestructive Examination. Condiciones especiales deben ser completamente explicadas mediante notas añadidas o detalles.

3.10 PRECAUCIONES DE SEGURIDAD

Este documento técnico no indica todos los riesgos de soldadura y salud. Por lo tanto, información pertinente puede ser encontrada en los siguientes documentos:

ANSI Z49.1 Safety in Welding, Cutting, and Allied Processes

Manufacturer's Safety literature on equipment and materials

También revisar el anexo J del código AWS D1.1 2002 de prácticas seguras

3.11 UNIDADES DE MEDIDA ESTANDARIZADAS

El código AWS D1.1 2002 hace uso de ambos sistemas de unidades US Customary Units y el Internacional System of Units SI, Las medidas pueden no ser exactamente las equivalentes, por lo tanto cualquier sistema debe ser usado independientemente del otro sin combinaciones de ningún tipo. El código con la designación D1.1:2002 usa el sistema inglés. El código con la designación D1.1M:2002 usa el SI. El cual esta indicado entre corchetes.

3.12 MANEJO DEL CODIGO AWS D1.1 2002

El código AWS D1.1 es un conjunto de requisitos que se deben cumplir con diferente grado de obligatoriedad, o alternatividad, lo cual significa que también contiene un sin número de procedimientos y prácticas recomendadas. Previo a la realización de cualquier proyecto de construcción de estructuras metálicas, se deben tener establecidos todos los procedimientos y personal, con la calificación que sea requerida, en cumplimiento con las exigencias que el código establece como mínimas necesarias.

En la sección 3 del código se establecen algunos procedimientos que se encuentran precalificados, es decir que cuando se apliquen estos procedimientos, no es necesaria la realización de las pruebas que se encuentran mencionadas en

la sección 4. Por otra parte, la calificación del personal de soldadura, soldadores, montadores, y operadores, si es necesaria.

El procedimiento de manejo consiste en primer lugar en la determinación de las dimensiones de los cordones de soldadura, por medio de un análisis de resistencia y ubicación de los mismos. Esto significa que antes de la selección de procesos y personal para soldadura, es necesario tener una idea clara de la resistencia de la soldadura, su aplicación, sus efectos sobre el material base, entre otras. Una vez determinadas las dimensiones de la soldadura, se debe pasar al proceso de selección de procedimientos y personal.

3.13 DIMENSIONAMIENTO

El cálculo de las dimensiones de la soldadura en filete que se requiere se realiza en base a las fórmulas y gráficas recomendadas que se encuentran en el capítulo 2 del código en la secciones 2.1, 2.2, 2.3. En la sección 2.1 se tienen los requisitos generales para conexiones tubulares y no tubulares. En la sección 2.2 se muestran los requisitos que se deben cumplir para el diseño de conexiones no tubulares que se encuentran en estados de carga estática o cíclica. En la sección 2.3 se encuentran los requisitos para el diseño de conexiones no tubulares sometidas a carga cíclica. Los requerimientos de las secciones 2.2 y 2.3 deben ser aplicados en conjunto con los requerimientos de la sección 2.1.

3.14 SELECCIÓN DE PROCESOS

Una vez determinadas las características de las juntas de soldadura que se requieren para el proyecto, se puede pasar al proceso de precalificación y posteriormente a la calificación de procedimientos y personal de soldadura, fabricación y montaje de la estructura. El primer paso en la selección de los procesos consiste en un análisis de costos y disponibilidad de equipo para la realización del proyecto. Una vez establecidas las dimensiones y ubicación de las juntas, se debe pasar al proceso de precalificación y posteriormente al proceso de

calificación de personal y procesos que no se encuentren previamente calificados en el código.

3.15 PRECALIFICACION

La precalificación de WPS's debe ser definida como una excepción de las pruebas de calificación requeridas en la sección 4 del código. Todos los WPS's precalificados deben ser hechos por escrito. Un WPS es precalificado de acuerdo con los requerimientos de la sección 3 del código. Los WPS's que no se encuentren en conformidad con los requisitos de la sección 3, pueden ser calificados mediante pruebas de acuerdo a la sección 4. El uso de juntas precalificadas no debe estar exento del criterio del ingeniero en la determinación de la aplicabilidad de estas juntas en una conexión o ensamble soldado. En el anexo H del código se tiene una lista y la referencia necesaria, de las provisiones que deben ser incluidas en el WPS precalificado, y cuales deberían estar incluidas en el programa de soldadura del fabricante o del contratista.

El primer paso en la precalificación consiste en establecer la combinación entre material base y material de aporte que se usará en la estructura. En la tabla 3.1 se muestran todas las posibles combinaciones entre los mismos, indicando los procesos que se pueden usar y las denominaciones de los materiales de aporte recomendados para determinado material.

A continuación se debe establecer si es o no requerido un precalentamiento del material base, en la tabla 3.2* se muestran las temperaturas de precalentamiento para diferentes materiales base, dependiendo del espesor de los mismos. En la tabla 3.3* se muestran los requerimientos que deben tener los materiales de aporte por proceso de soldadura. En la tabla 3.4* se indican los tamaños mínimos de la soldadura para juntas de penetración parcial PJP. En las tablas 3.5* y 3.6* se aprecian los detalles para juntas de penetración completa CJP, en conexiones tubulares. En la tabla 3.7* se muestran los límites de algunos parámetros como son diámetro de electrodo, corriente de soldadura, espesor del

los diferentes pases, y tamaño de los filetes, en función del proceso de soldadura y la posición en la cual se va a realizar la junta.

En las figuras 3.3* y 3.4* se muestran algunas configuraciones de juntas de penetración parcial y completa respectivamente, para su uso en la precalificación de un WPS. En las figuras antes mencionadas, se tiene un gráfico que indica el tipo de junta, y una tabla en la cual se muestran los límites máximos de las dimensiones que se encuentran acotadas en el gráfico, dependiendo del proceso de soldadura que se utilice, y su respectiva designación.

3.16 CALIFICACION

Los requerimientos para la calificación de WPS's y personal y personal de soldadura, se encuentran en la sección 4 del código AWS D1.1, y se encuentran descritos en la siguiente forma:

Parte A: Requisitos generales. En esta sección se cubren los requisitos generales para ambos, WPS's y personal de soldadura

Parte B: Welding Procedure Specification (WPS) En esta sección se cubre la calificación de los WPS's que no se encuentran clasificados como precalificados de acuerdo a la sección 3.

Parte C: Criterios de Calificación. En esta parte se cubren los criterios de pruebas de calificación que se requieren para determinar la habilidad de soldadores, operadores, y montadores, para producir juntas de alta confiabilidad.

* Corresponden a las figuras y tablas del código AWS D1.1.2002

CAPITULO 4

SOLDADURA DE ESTRUCTURAS METALICAS EN BASE A LAS NORMAS LRFD Y ASD

4.1 INTRODUCCIÓN

La soldadura como proceso de fabricación es uno de los más destacados y usados en los últimos años, de la misma manera su desarrollo ha sido vertiginoso, es por eso que una gran cantidad de instituciones americanas como la sociedad americana de soldadura (AWS), el instituto americano de construcción en acero (AISC), entre otros establecen un sin número de recomendaciones para garantizar hasta cierto punto la confiabilidad en la aplicación de soldaduras en la construcción metalmecánica.

En el presente capitulo se hace una breve reseña acerca del diseño de conexiones, procedimientos y simbología de soldadura, prácticas recomendadas y los requisitos exigidos por las normas LRFD y ASD para el diseño y elaboración de conexiones soldadas.

4.2 TIPOS DE SOLDADURA

Existen básicamente cinco tipos de soldadura que son: de cordón, ondeada, filete, ranura y tapón; las cuales inciden sobre el diseño de la junta. La selección del tipo de soldadura se encuentra ligada a la eficiencia de la junta como el diseño mismo de esta.

4.2.1 SOLDADURA DE CORDÓN

Se la realiza solamente en una pasada y sin el movimiento del material de aporte hacia los lados. El uso de este tipo de soldadura es limitado para reconstrucción de superficies mas no se usa para juntas.

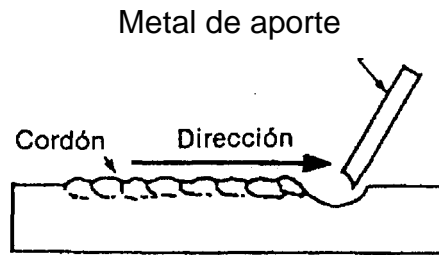


Fig. 4.1 Soldadura de cordón

4.2.2 SOLDADURA ONDEADA

Este tipo de soldadura se la realiza con movimientos laterales del material de aporte, el ancho del cordón depende de la necesidad y es manejado por los movimientos hacia los lados. Su aplicación también se limita a la reconstrucción de superficies.

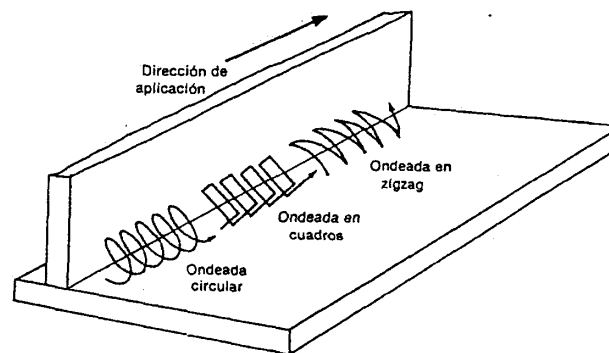


Fig. 4.2 Soldadura Ondeada

4.2.3 SOLDADURA DE RANURA

Para soldar con ranura debe dejarse un espacio entre los metales base, hay factores que inciden en el diseño dentro de este tipo de soldadura como son: el ángulo de la ranura, la cara de la ranura y el radio de la ranura.



Fig. 4.3 Soldadura de ranura

4.2.4 SOLDADURA DE FILETE

En este tipo de soldadura no hay ranura es decir las placas bases se hallan juntas es por eso que se la realiza a mayor velocidad que las de ranura, este tipo de soldadura es usada en las mismas condiciones que la soldadura de ranura cuando se piensa en economía pero no se debe olvidar que la soldadura de filete presenta resistencia menor.

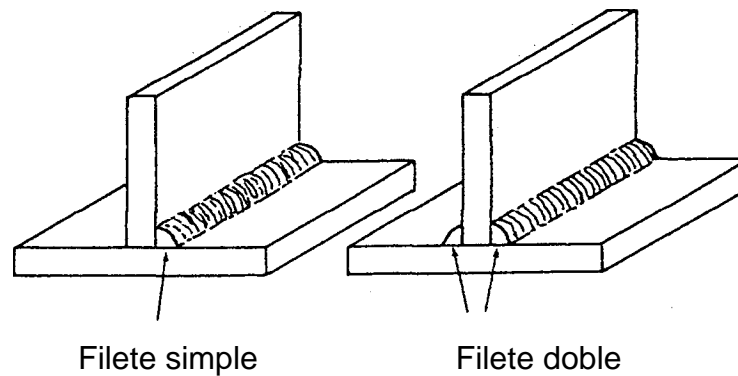


Fig. 4.4 Soldadura de Filete

4.2.5 SOLDADURA DE TAPÓN

Se la usa en lugar de remaches, tienen la misma función, se la usa cuando por alguna razón no puede haber fusión en los bordes de la placa de metal, entonces puede soldarse el círculo interior dejando las orillas libres.

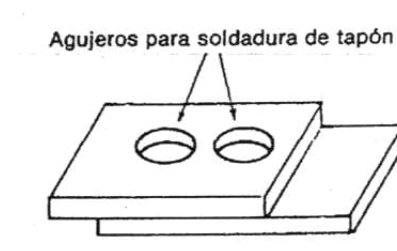


Fig. 4.5 Soldadura de Tapón

4.3 TIPOS DE JUNTAS

Son cinco los estilos básicos de juntas: a traslape, a tope, de esquina, de brida y en T.

4.3.1 JUNTAS A TRASLAPE

En este tipo de juntas las piezas de metal están solapadas o traslapadas y se unen por fusión mediante soldadura de filete o de tapón.

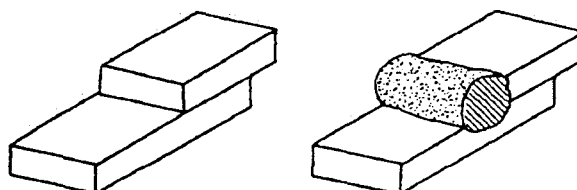


Fig. 4.6 Junta a Traslape

4.3.2 JUNTAS A TOPE

Esta junta está comprendida entre los planos de las superficies de las dos partes y pueden ser: simples, escuadradas, biseladas, en V, de ranura de una sola J, de ranura de una sola U o dobles.

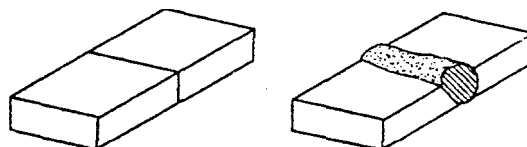


Fig. 4.7 Juntas a Tope

4.3.3 JUNTAS DE ESQUINA

Son soldaduras realizadas entre dos parte situadas con un ángulo de 90°. Estas pueden ser de medio traslape, de esquina a esquina o de inserción completa además que pueden prepararse para formar un solo bisel, una sola V o ranuras de una sola U.

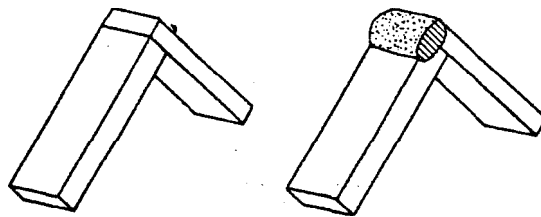


Fig. 4.8 Juntas de Esquina

4.3.4 JUNTAS DE BRIDA

La soldadura es realizada en la superficie adyacente de cada parte así esta soldadura queda dentro de los planos superficiales de ambas partes.

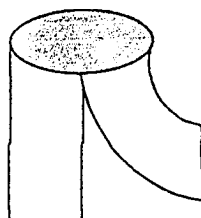


Fig. 4.9 Junta de Brida

4.3.5 JUNTAS EN T

Como su nombre lo indica son juntas en las que los metales forman una T y pueden ser de un solo bisel, de doble bisel, de una sola J y de doble J.

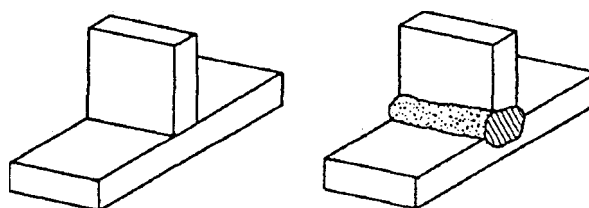


Fig. 4.10 Juntas en T

4.4 SÍMBOLOS DE SOLDADURA

De acuerdo al AWS la junta es la base de referencia, así toda junta cuya soldadura se indique por medio de un símbolo tendrá siempre un "lado de la flecha" y un "otro lado", esto es importante para localizar la soldadura con respecto a la junta. El símbolo de soldadura completo está formado por los siguientes elementos o número de éstos que resulte necesario: línea de

referencia con flecha, símbolos básicos de soldadura, las dimensiones y otros datos; símbolos suplementarios; símbolos de acabado; y la cola la cual contiene especificaciones, el proceso y otras referencias.

Para indicar la localización de una soldadura, se traza una flecha con la cabeza apuntando directamente a la junta en la que ha de hacerse la soldadura.

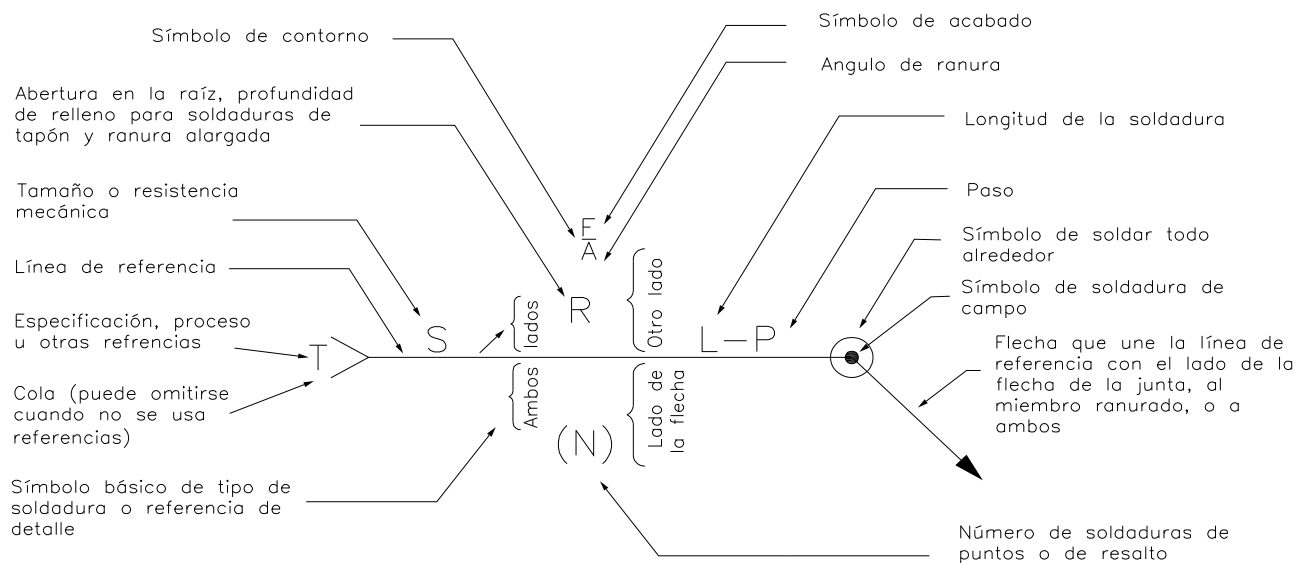


Fig. 4.11 Símbolos de Soldadura

4.4.1 SOLDADURA DE FILETE

Como su propio símbolo lo sugiere estas soldaduras son básicamente triangulares vistas desde su sección, aunque su forma no sea siempre un triángulo perfecto o isósceles.

En el caso de que las dos caras de la soldadura sean de la misma dimensión entonces sea da una sola medida (figura 2), cuando se tiene caras desiguales entonces es necesario especificar ambas dimensiones (figura 3).

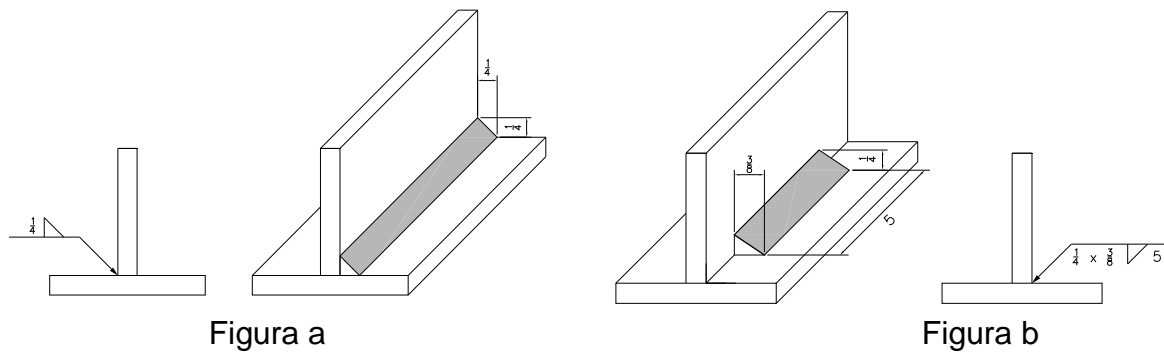


Fig. 4.12 Soldadura de Filete

En el caso de soldaduras intermitentes o interrumpidas, el largo de la soldadura como la separación centro a centro son indicados siempre a la derecha del símbolo de filete.

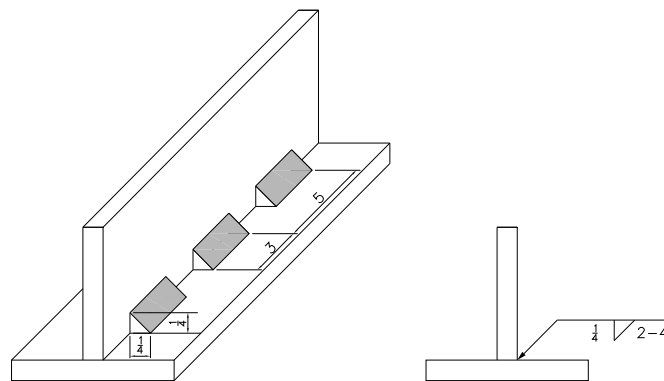


Fig. 4.13 Soldadura Intermitente

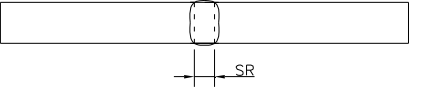
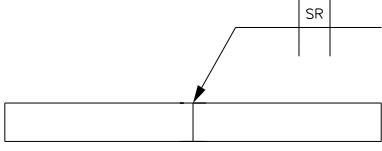
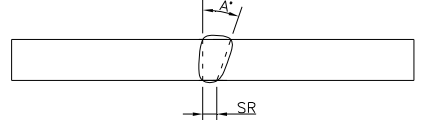
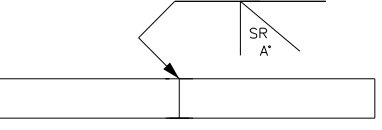
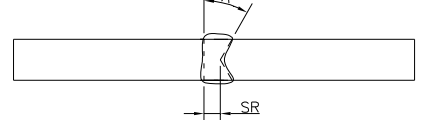
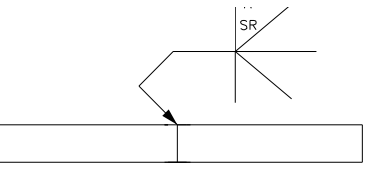
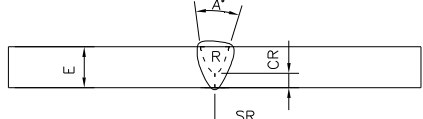
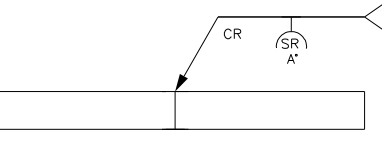
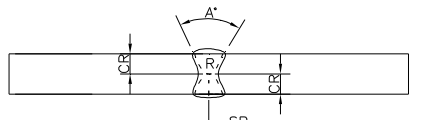
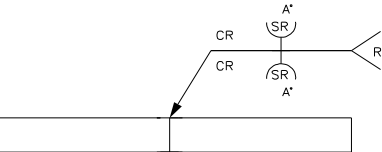
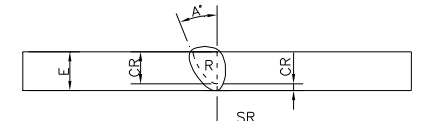
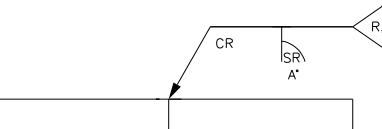
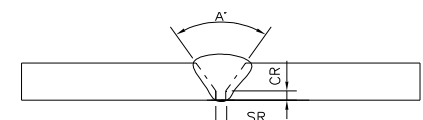
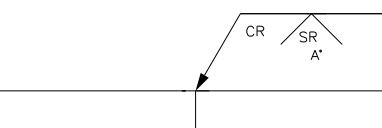
4.4.2 SOLDADURA DE RANURA

En este tipo de soldadura se puede realizar mayor variedad de juntas debido a que todo dependerá de la geometría con que serán unidas y la preparación de los bordes.

Si los ángulos de ranura y las aberturas de fondo de raíz no están de acuerdo a las normas de taller establecidas (WPS), se debe especificar en el símbolo de la soldadura.

En la siguiente tabla se encuentran las diversas soldaduras de acuerdo a la geometría y preparación de los bordes.

Tabla 4.1 Simbología de algunos tipos de soldaduras

Soldadura Deseada	Símbolo	Ranura
		Recta
		Soldadura en media "V"
		Soldadura en "K"
		Soldadura en "U"
		Soldadura en "U" doble
		Soldadura en "J"
		Soldadura en "V"

		<p>Soldadura en "V" Doble</p>

Donde:

SR = Separación de Raíz

CR = Cara de Raíz

E = Espesor del material base

A = Ángulo de Bisel

R = Radio usado en juntas "U" y "J"

4.5 RESISTENCIA DE LAS SOLDADURAS

El esfuerzo en una soldadura se considera igual a la carga efectiva aplicada en la misma, dividida entre el área de la garganta efectiva de la soldadura, este método para el tipo de filete se usa sin tomar en cuenta la dirección de la carga con el fin de simplificar los cálculos.

4.5.1 REQUISITOS DEL ASD Y LRFD

Todo lo provisto del código AWS D1.1 es aplicado bajo las especificaciones ASD y LRFD, a excepción de los tratados para estructuras tubulares.

4.5.1.1 Soldadura de Ranura

4.5.1.1.1 Área Efectiva

El área efectiva será considerada como la longitud efectiva de las pasadas de soldadura en el espesor de la garganta efectiva.

La longitud efectiva será el ancho de la parte unida. El espesor de la garganta efectiva puede ser de dos tipos ya sea de penetración completa y penetración parcial, en el primer caso será el espesor de la parte más delgada, mientras si se trata de una penetración parcial deberá usarse la tabla 4.2.

Tabla 4.2 Garganta efectiva de soldaduras de filete

Espesor de la garganta efectiva de las soldadura de ranura con penetración parcial			
Proceso de Soldadura	Posición de Soldadura	Ángulo incluido a la cara de la ranura	Espesor de la garganta efectiva
SMAW	Todas	Unión J ó U	Profundidad de chaflán
SAW			
GMAW		Bevel o unión en V > 60°	Profundidad de chaflán menor a 1/8 de pulgada
FCAW		Bevel o unión en V > 45° pero <60°	

4.5.1.2 Soldadura de Filete

4.5.1.2.1 Área Efectiva

El área efectiva será la longitud de la soldadura efectiva multiplicada por la garganta efectiva. El espesor de la garganta efectiva de una soldadura de filete será la distancia más corta de la raíz de la juntura a la cara de la soldadura diagramática, excepto para soldaduras de filete realizadas con arco sumergido, el espesor de la garganta efectiva será igual al tamaño de la pierna para las soldaduras de filete iguales o menores a 3/8 de pulgada y el para filetes mayores a 3/8 de pulgada se suma 0.11 pulgadas.

4.5.1.2.2 Resistencias y Esfuerzos Admisibles.

En las soldaduras el material debe tener propiedades del metal base, en caso de que las propiedades sean comparables entonces se habla que el metal de aporte es compatible con el de la base.

La tabla 4.3 proporciona las resistencias nominales (LFRD) y los esfuerzos permisibles (ASD) de varios tipos de soldadura.

Tabla 4.3 Coeficientes de resistencia de soldaduras

Tipos de Soldadura y Esfuerzos	Material	LFRD		ASD
		Coeficiente de resistencia	Resistencia nominal F_{BM} o F_w	Esfuerzo Admisible
Soldaduras de ranura con penetración completa				
Tensión perpendicular al área efectiva	Base	0.9	F_y	Igual que el metal base
Compresión perpendicular al área efectiva	Base	0.9	F_y	
Tensión o compresión paralela al eje de soldadura				
Cortante en el área efectiva	Base	0.9	$0.60 F_y$	0.30 x resistencia nominal a tensión del metal de soldadura
	Electrodo de soldadura	0.8	$0.60 F_{EXX}$	

Soldaduras de tapón o de ranura

Cortante paralelo a las superficies en contacto (en el área efectiva)	Base	0.75	0.6 F _{EXX}	0.30 x resistencia nominal a tensión del metal de soldadura
	Electrodo de soldadura			

Cortante en el área efectiva	Base	0.75	0.6 F _{EXX}	0.30 x resistencia nominal a tensión del metal de soldadura
	Electrodo de soldadura			
Tensión o compresión paralela al eje de soldadura	Base	0.9	F _y	Igual que el metal base

La resistencia de diseño es la menor de F_{BM} y F_W;

Donde:

F_{BM} = Resistencia nominal del metal de base que se va a soldar

F_W = Resistencia nominal del material del electrodo de soldadura

F_y = Esfuerzo de cedencia mínimo especificado del metal de base

F_{EXX} = Resistencia de clasificación del metal de soldadura de acuerdo a la AWS

Además de los esfuerzos permisibles y resistencias nominales dados en la tabla anterior existen otras recomendaciones del ASD y LRFD aplicables a la soldadura, las más importantes son:

- 1.- La longitud mínima de una soldadura de filete no debe ser menor de 4 veces la dimensión nominal del lado de la soldadura. Si su longitud real es menor de este valor, el tamaño de la soldadura efectiva debe reducirse a 1/4 de la longitud de la soldadura.
- 2.- El tamaño máximo de una soldadura de filete a lo largo de material menor a 1/4 pulg. de grueso debe ser igual al grueso del material, para material más grueso la soldadura no debe ser mayor que el espesor del material menos 1/16 pulg.

3.- Los filetes permisibles mínimos se dan en la tabla 4.4, estos tamaños mínimos no se han desarrollado en base a consideraciones de resistencia sino al hecho que materiales gruesos tienen un efecto de enfriamiento rápido en las soldaduras pequeñas, y por lo tanto aparecen grietas en la soldadura.

Tabla 4.4 Tamaños mínimos de soldadura de filete.

Espesor del material de la parte unida con mayor espesor (in)	Tamaño mínimo de la soldadura de filete (in)
Hasta 1/4 incluido	1/8
Mayor de 1/4, hasta 1/2 incluido	3/16
Mayor de 1/2 hasta 3/4 incluido	1/4
Mayor de 3/4 hasta 1 1/2 incluido	5/16
Mayor de 1 1/2 hasta 2 1/4 incluido	3/8
Mayor de 2 1/4 hasta 6 incluido	1/2
Mayor de 6	5/8

4.- De ser posible en las soldaduras de filetes debe realizarse remates, la longitud de ese debe ser mayor que dos veces el tamaño nominal de la soldadura. Los remates reducen la concentración de esfuerzos en los extremos de la soldadura.

5.- En juntas de traslape, este debe ser mayor a 1 pulg., la razón de este traslape es el impedir que la junta rote excesivamente al aplicarse las cargas.

4.6 DISEÑO DE CONEXIONES VIGA-COLUMNA

Al igual que el diseño de la sección transversal de una elemento estructural, el diseño de una junta, ya sea de unión entre vigas o entre columnas o viga-columna, estas deben estar debidamente diseñadas y verificadas. Para este propósito el instituto americano de construcción en acero (AISC) menciona la

posibilidad de varios diseños de juntas, ya sean mediante un solo método, o con el uso de combinaciones entre los métodos más utilizados.

4.6.1 MÉTODOS DE CONEXIÓN

Existen básicamente 3 métodos de unión para elementos estructurales, estos métodos son mediante el uso de: soldadura, pernos y remaches. De los métodos antes mencionados el más usado es por medio de soldadura, ya que este presenta menor cantidad de problemas en cuanto a su elaboración, el tiempo y el equipo que se requiere es mucho menor. Algunos ejemplos de conexiones se presentan a continuación:

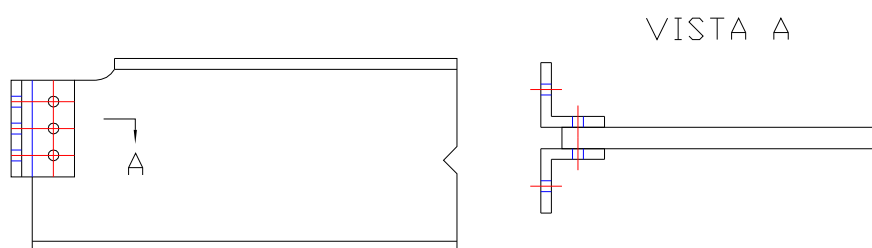


Fig. 4.14 Conexiones viga-columna

4.6.2 TIPOS DE CONEXIONES

4.6.2.1 Conexiones de vigas simples

Este tipo de conexiones usan otros elementos estructurales como ángulos y te's para unir dos elementos estructurales diferentes, en general este tipo de uniones tienen la configuración que se indica en la figura 4.14, en la cual se puede apreciar que solamente se colocan los elementos de acople en el alma de la viga. Otro aspecto importante es la posibilidad de combinación de métodos de unión o el uso de un solo método como se tiene en la figura 4.15.

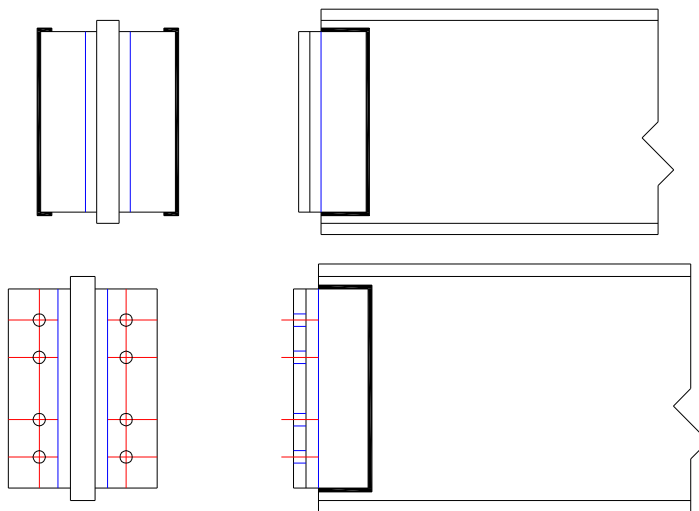


Fig. 4.15 Conexión simple de viga-columna

4.6.2.2 Conexiones de vigas asentadas

Al igual que en el caso de conexiones simples se tiene que este tipo de uniones pueden ser usadas con una combinación de métodos, Este tipo de uniones se caracteriza por la presencia de elementos estructurales que sirven de asiento para una viga, los elementos que se recomiendan para esta práctica son ángulos estructurales, estos generalmente se usan en la parte inferior para el asentamiento y en la parte superior para tope. En la figura 4.16 se tiene la configuración usada para este tipo de conexiones.

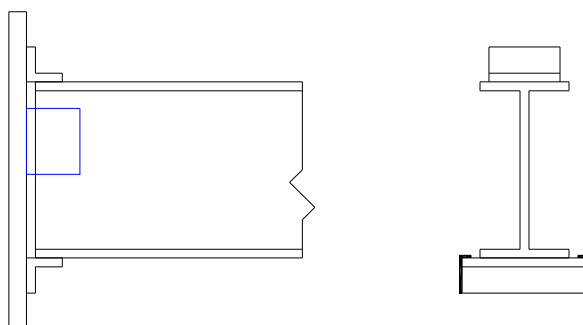


Fig. 4.16 Conexión de viga asentada

Otro aspecto importante es el uso de nervaduras para refuerzo de las conexiones con asentamiento de vigas. En la figura 4.17 se muestra este tipo de configuraciones con el uso de nervaduras.



Fig. 4.17 Conexión con nervaduras

4.6.2.3 Conexiones a corte con platina en el extremo

Este tipo de conexiones consiste en el uso de una placa menor que el ancho de la viga en la longitud perpendicular al eje longitudinal de la misma, soldada en el alma de la viga con soldaduras de filete en ambos lados. Este tipo de conexiones se usa favorablemente para la conexión con ángulos dobles. La configuración esta determinada como se muestra en la figura 4.18

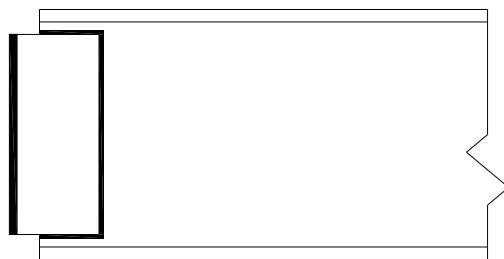


Fig. 4.18 Conexiones a corte con platina en el extremo

4.6.2.4 Conexiones de carga excéntrica

Este tipo de conexiones se realizan cuando se tiene la presencia de cargas en partes en las cuales no es posible la realización de las uniones, en el manual del AISC se tienen dos métodos de cálculo de dicho tipo de conexiones. Generalmente las configuraciones que se presentan son las indicadas en la figura 4.19. Al igual que en los casos anteriores se tiene la posibilidad de combinación de métodos de conexión.

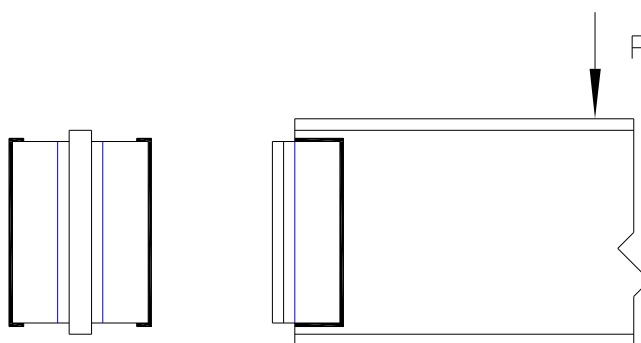


Fig. 4.19 Conexiones con carga excéntrica

4.6.2.5 Conexiones apoyadas

Este tipo de uniones se realizan cuando se tiene la posibilidad de colocar en la parte superior de una columna la viga, el acople de estos elementos se realiza mediante el uso de te's, las cuales tienen agujeros para sujeción, el cálculo y establecimiento de alternativas se encuentra en el manual del AISC. La ubicación y forma de este tipo de conexiones es la indicada en la figura 4.20.

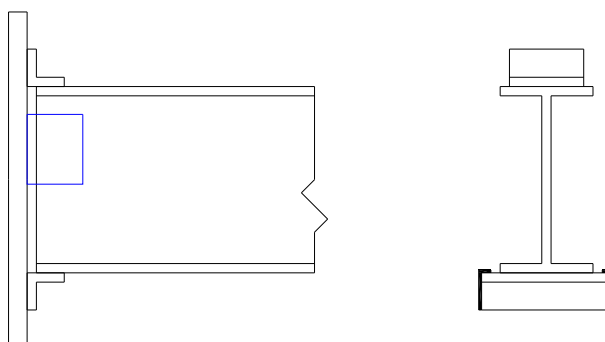


Fig. 4.20 Conexiones apoyadas

4.6.2.6 Conexiones para momentos

Muchas conexiones de tipo semi-rígidas deben ser desarrolladas para generar momentos resistentes específicos. Este tipo de conexión se recomienda usar para juntas que se encuentran sujetas a carga gravitacional. Al igual que en casos anteriores se tiene que estas se pueden realizar con un solo método de unión o con combinación de los diferentes métodos existentes. La configuración aproximada que se puede usar en este tipo de conexiones es la mostrada en la Fig. 4.21.

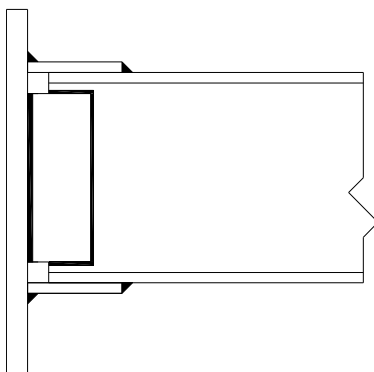


Fig. 4.21 Conexión para momentos

Para el caso de estructuras metálicas de edificios se tiene que las conexiones para momentos son las más útiles, ya que estas pueden tener un sin número de aplicaciones y cambios en su configuración. A continuación se muestra un desarrollo de cada uno de los componentes de este tipo de conexiones y sus funciones dentro de la misma. Una de las conexiones más usadas en la unión entre viga-columna es la mostrada en la figura 4.22.

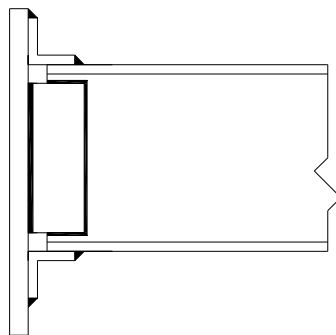


Fig. 4.22 Conexiones usadas en estructuras metálicas de edificios

En la cual el ángulo que se encuentra en la parte inferior se conoce como patín, y sirve para apoyo provisional y teóricamente sirva para soportar la carga axial de compresión en la junta. La placa o ángulo que se puede colocar en la parte superior sirve como tope y teóricamente soporta la carga axial de tracción. En el alma de la viga se acostumbra a soldar placas las cuales cumplen la función de soportar la fuerza cortante en la conexión. Es decir las juntas que se encuentran sobre los patines de la viga soportan el momento generado por la estructura en la conexión y la junta que se encuentra en el alma soporta la carga de corte. Para el diseño o cálculo teórico se realizan este tipo de aproximaciones, en la realidad todas las juntas de una conexión soportan todas las cargas con un predominio en el aspecto antes mencionado, pero los cálculos con esas estimaciones dan como resultado muy buenas aproximaciones a lo que sucede realmente en la conexión.

4.6.3 DISEÑO DE SOLDADURAS EN CONEXIONES

En la Fig. 4.22 se muestra la conexión más usada en la construcción de estructuras metálicas de edificios, porque sirve para soportar: cargas de flexión, cargas de corte. Este tipo de conexión hace que el momento producido en la junta sea cargado en su mayoría sobre los patines de la viga, y la carga cortante en la conexión esta casi en su totalidad sobre el alma de la misma. En la Fig. 4.23 se indica la distribución de carga.

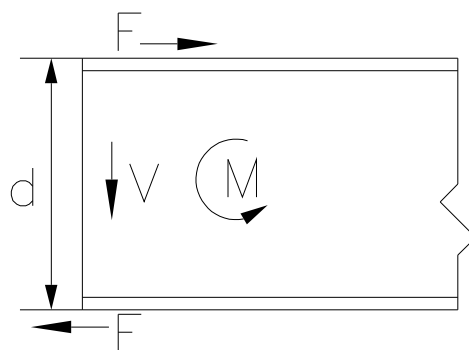


Fig. 4.23 Distribución de carga en una conexión plástica

Donde:

$$M = F \cdot d \quad (4.1)$$

M = Momento resultante en la conexión

V = Fuerza cortante resultante en la conexión

d = Ancho del alma de la viga

F = Fuerza equivalente en el patín de la viga

En la realidad los valores de carga cortante y momento se dividen en todas las soldaduras, pero en mayor proporción se establecen como se indica en la Fig. 4.23, El cálculo de la sección de soldadura se realiza mediante los procedimientos indicados en la sección 4.5, dependiendo del tipo de soldadura que se desee realizar.

Como las soldaduras de los patines de la viga se encuentran a tracción y compresión, los esfuerzos de las mismas están dados por:

$$\sigma_{T-C} = F / A \quad (4.2)$$

Donde el área A es igual a la garganta efectiva multiplicada por la longitud del cordón de soldadura. Y es el parámetro que se debe determinar. Por otra parte σ es el esfuerzo admisible del metal depositado, Que es igual al valor de resistencia a la fluencia del mismo, dividido entre un factor de seguridad.

Para el caso de la soldadura del alma se tiene que la soldadura se encuentra sometida a corte. El esfuerzo cortante esta determinado por:

$$\tau = V / A \quad (4.3)$$

Donde el área A es igual a la garganta efectiva multiplicada por la longitud del cordón de soldadura. Por otra parte τ es el esfuerzo admisible a corte del metal depositado. Este se establece como el 70% de la resistencia a tracción o compresión.

Para el caso mostrado en el anexo 6 se tiene que el momento máximo, la máxima carga de corte son: 529.92 Kg*m y 324.91 Kg respectivamente. Considerando que

se utilice un electrodo E-7018, la resistencia a la tracción del metal depositado es de 70 Ksi, es decir 482.6 MPa. Si para el diseño se usa un factor de seguridad de 3 se tiene que los esfuerzos admisibles son los siguientes:

$$\sigma_{T-c} = 160.9 \text{ _MPa}$$

$$\tau = 112.6 \text{ _MPa}$$

Dividiendo estos valores entre las fuerzas aplicadas en la soldadura, se tiene el área efectiva de las mismas. Es decir:

$$A = \frac{F}{\sigma} = \frac{M/d}{\sigma} = \frac{529.92/0.2}{160.9 \times 10^6} = 1.65 \times 10^{-5} \text{ _m}^2 = 0.16 \text{ _cm}^2$$

Esta área sería suficiente para soportar la carga, pero se tiene que el área de soldadura real es de 0.25 cm², es decir la soldadura satisface los requerimientos de resistencia que la estructura exige como mínimo.

Para el caso de la soldadura sometida a corte se tiene que el área esta dada por:

$$A = \frac{V}{\tau} = \frac{324.91}{112.6 \times 10^6} = 2.88 \times 10^{-6} \text{ _m}^2 = 0.028 \text{ _cm}^2$$

Para este caso se tienen también que la soldadura real supera ampliamente el tamaño mínimo calculado, es decir que no existe la necesidad de realizar una sobreventa excesiva en los cordones, sino solamente cubrir el espesor del material.

CAPITULO 5

OPERACIONES DESARROLLADAS EN PREFABRICACION Y MONTAJE DE ESTRUCTURAS METALICAS DE EDIFICIOS

5.1 OBJETIVOS

Determinar un procedimiento documentado para las operaciones que deben realizarse en las diferentes etapas de construcción de estructuras metálicas de edificios.

Establecer la importancia del cumplimiento de normas y códigos específicos en la construcción de estructuras metálicas de edificios.

5.2 INTRODUCCION

La construcción de estructuras metálicas para edificios comprende una gran cantidad de actividades tanto de trabajo en planta como en el montaje mismo de la estructura. En el presente capítulo se hace referencia a los principales procesos que deberían aplicarse en prefabricación de perfiles estructurales y durante el montaje en campo. Las operaciones que se mencionan son las mismas que se usan en grandes empresas de construcción de estructuras metálicas en el país, y el objetivo del presente proyecto, es precisamente optimizar esos procedimientos. En la primera parte del capítulo se hace referencia a los pasos que se siguen en la fabricación de elementos estructurales en planta. En una segunda sección se tienen los pasos que se deben seguir para el montaje de dichos elementos.

5.3 PREFABRICACION

La prefabricación de estructuras metálicas consiste en la construcción en una planta o taller, de elementos que van a formar parte de la construcción. Estos elementos deben cumplir con las exigencias establecidas en el dimensionamiento de las secciones transversales de las mismas, así como también en la forma y longitud de acuerdo con los planos de la edificación, razón por la cual deben estar debidamente codificadas y elaboradas.

Entre los procesos de prefabricación se pueden incluir la adquisición de materia prima, transporte y almacenamiento antes de su uso. En el siguiente diagrama se indican los principales procesos a los que se somete la materia prima, en este caso las láminas de acero o platinas que se usan en la construcción de edificaciones con estructura metálica.

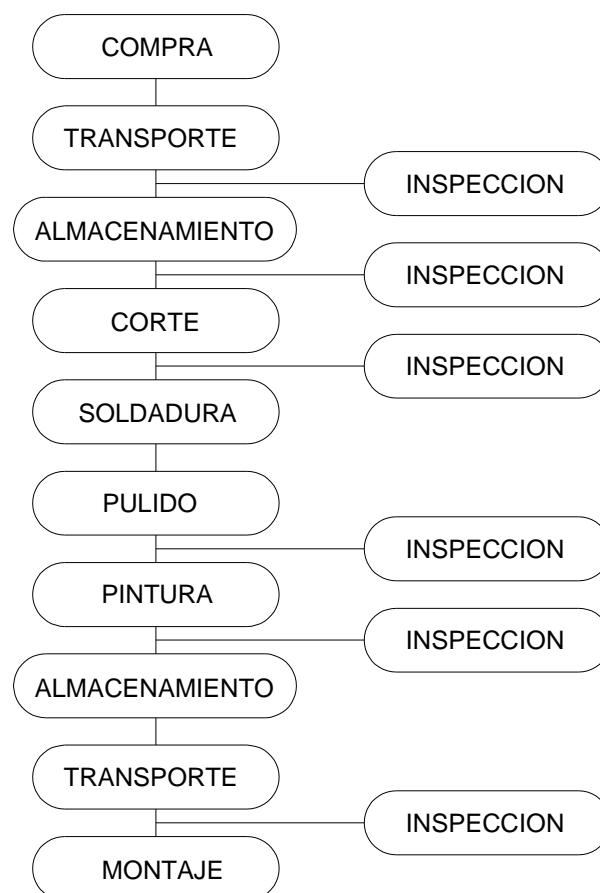


Fig. 5.1 Diagrama de flujo para prefabricación de elementos estructurales

5.3.1 COMPRA

El procedimiento de compra no se encuentra previsto en el presente estudio, pero cabe decir que la compra es realizada en base al cumplimiento de un sin número de exigencias propuestas por la parte interesada en la compra y aceptadas por parte del proveedor. Este puede ser considerado como el primer y el más importante paso para de la prefabricación de los elementos estructurales, ya que de esto dependen las características más relevantes de una estructura.

5.3.2 TRANSPORTE

El transporte de la materia prima puede ser realizado por parte del proveedor o por parte del cliente, en este caso eso depende de las condiciones de adquisición de los materiales, razón por la cual el proceso de inspección que se encuentra en el diagrama puede encontrarse antes del transporte. Por lo general en toda empresa mediana a grande se cuenta con inspectores calificados o experimentados, los cuales se encargan de la revisión exhaustiva de los insumos que llegan a su compañía. En caso de que los materiales no cumplan con las exigencias establecidas en el contrato, se procede a seguir los condicionamientos previstos en el contrato en caso de inconformidades con un determinado producto.

5.3.2.1 Inspección

Una vez que el producto es comprado y este llega a la planta, el inspector de calidad de la empresa procede a verificar que las características especificadas en la orden de compra estén de acuerdo con el producto entregado por el proveedor. En caso de no cumplir con los requisitos, se sigue el procedimiento de devolución que la empresa contratista tenga y se cambia el producto por el especificado.

5.3.3 ALMACENAMIENTO

Cualquier empresa medianamente buena cuenta con bodegas y zonas totalmente identificadas y señalizadas para el almacenamiento de todo tipo de materiales, así como también todos los productos se encuentran debidamente codificados y registrados en el sistema general que la empresa usa para control interno. Cualquier suministro que vaya a ser usado en la empresa debe también ser registrado indicando su estado durante un determinado proceso.

5.3.3.1 Inspección

Antes del uso el material debe ser inspeccionado, para verificar que las características del mismo no hayan sido afectadas durante el tiempo de almacenamiento, ya que por ejemplo en el caso de corrosión excesiva durante ese tiempo el material puede quedar inutilizable para los fines requeridos. Por esta razón el lugar del almacenamiento debe cumplir con requisitos establecidos por el fabricante y por normativas que indiquen el tratamiento de materiales.

5.3.4 CORTE

En la fabricación de elementos estructurales como son vigas y columnas, generalmente se usan platinas de diferentes dimensiones, las cuales serán cortadas y armadas previo su ensamble en la edificación. El proceso de corte es la primera operación a la cual se someten las platinas, en dicho proceso se les proporciona las dimensiones que previamente fueron establecidas en base al cálculo estructural (ver capítulo 2).

El corte de láminas y platinas de acero para la fabricación de vigas, columnas y acoples, se puede realizar por varios métodos, los cuales son función del espesor del material. Los métodos más comunes son por cizalla, oxicorte, y en algunos casos se usa el corte por plasma.

5.3.4.1 Inspección

Una vez que se realiza el proceso de corte los elementos son inspeccionados, para verificar sus dimensiones, forma, y funcionalidad. Los elementos que no pasen la inspección, deben ser revisados y modificados, de acuerdo a los defectos que estos presenten.

5.3.5 SOLDADURA

El proceso de soldadura involucra un sin número de parámetros que deben ser tomados en cuenta en el momento de su realización. Entre estos factores se encuentra uno de los más importantes que es el factor humano, ya que de la habilidad que posea el soldador dependerá el funcionamiento óptimo del elemento en cuestión. Esta es la razón principal por la cual todo el personal de soldadura debe ser calificado. En el caso de estructuras metálicas, el soldador debe cumplir los requerimientos exigidos por el código AWS D1.1 en la sección 4, si los espesores de la lámina de acero son superiores a 3mm, y los requerimientos de código AWS D1.3 si el espesor es menor que 3mm. Los materiales consumibles, y parámetros que se controlan en la máquina soldadora deben estar de acuerdo con lo establecido en los procedimientos calificados o precalificados (ver sección 3 Código AWS D1.1).

5.3.6 PULIDO

El pulido y limpieza de los elementos podría considerarse como parte del proceso de soldadura, ya que en esta se producen salpicaduras, rebabas, sobreventas excesivas, entre otros. El objetivo de la limpieza es eliminar cualquier defecto y darle a la soldadura y al elemento estructural un acabado satisfactorio. Cuando todos los requisitos para la realización de la soldadura se encuentran de acuerdo a los establecidos, se realiza el ensamble de los diferentes elementos estructurales. Una vez realizada la soldadura y la limpieza de defectos, se pasa a un periodo de prueba o inspección de los cordones de soldadura, antes de su uso en una determinada edificación.

5.3.6.1 Inspección

Una vez realizadas las soldaduras y retirada la capa de escoria, se debe verificar que el cordón realizado cumpla con los requerimientos exigidos por el código AWS D1.1:2002, para esto se realizan una determinada cantidad de ensayos no destructivos en función del número de soldaduras realizadas en una planta. El tipo y la cantidad de ensayos que se deben realizar se encuentran especificados en el código AWS D1.1:2002, pero esto puede variar de acuerdo a lo establecido previamente entre el contratista y el dueño de la edificación. En el caso de que la soldadura no pase las pruebas de inspección, las soldaduras deben ser desbastadas con amoladora y rellenadas nuevamente, para que cumplan los requerimientos exigidos como mínimos.

5.3.7 PINTURA

Aunque parece poco importante el proceso de pintura no lo es, ya que sin la misma los elementos una vez terminados deben pasar un cierto tiempo, antes de ser usados, en condiciones ambientales, en las cuales pueden sufrir oxidación y corrosión, razón por la cual estos deben ser tratados con un recubrimiento protector, hasta su uso y futura protección con otros métodos en una determinada construcción.

5.3.7.1 Inspección

Una vez que se realiza el proceso de pintura, esta debe ser inspeccionada antes de pasar al montaje final en la edificación, y en caso de cumplir con este requisito debe someterse al proceso de pintura nuevamente.

5.3.8 ALMACENAMIENTO

Una vez que se realiza el proceso de pintura, la mayoría de elementos estructurales no son usados inmediatamente, razón por la cual estos deben ser almacenados en un lugar lo menos agresivo posible. Las condiciones ideales de

mantenimiento elementos metálicos serian demasiado costosas para una empresa, ya que los dichos componentes ocuparían mucho espacio y un espacio tan grande como el que se necesita para este propósito estaría fuera de un presupuesto razonable. Por este motivo, se recomienda almacenar dichos elementos en un lugar cubierto.

5.3.9 TRANSPORTE

El transporte de elementos estructurales debe ser realizado en coordinación con las necesidades en el sitio de montaje. En caso de que los elementos sean fabricados en el mismo lugar del ensamble final, el transporte no constituye un problema, pero si la fabricación se realiza en una planta lejos de la edificación, entonces el transporte es parte vital de un ensamble óptimo y sin pérdidas de tiempo.

5.4 MONTAJE

El montaje constituye la parte más interesante e importante de todo el proceso de construcción de estructuras metálicas, ya que al final del mismo se puede apreciar en toda su magnitud una edificación. El montaje esta conformado por un sin número de subprocesos los cual son indispensables para que el proceso completo sea de total satisfacción.

Los procesos que constituyen el montaje son los que se muestran en el siguiente esquema.

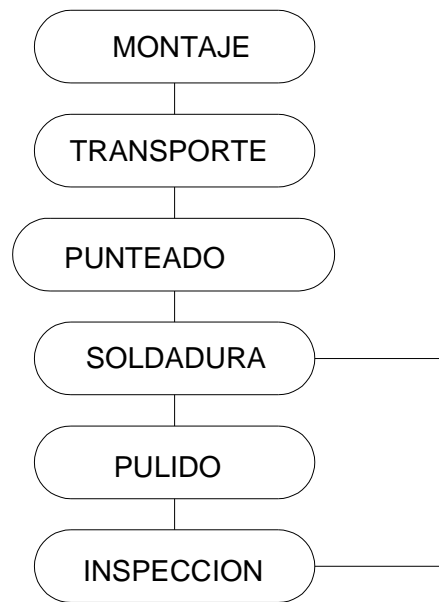


Fig. 5.2 Diagrama de flujo para montaje de estructuras metálicas

5.4.1 TRANSPORTE

Dependiendo de la magnitud de la construcción, el transporte interno de los elementos estructurales debe ser realizado con ayuda de grúas o tecles, siguiendo las instrucciones de seguridad que se especifiquen por parte de la empresa que tiene a su cargo el levantamiento de dicha estructura. Para un mejor desempeño y optimización del tiempo, el transporte debería ser realizado fuera del horario de trabajo de los soldadores, para que estos no tengan que esperar demasiado, ya que esto reduciría el tiempo efectivo de trabajo de los mismos.

5.4.2 MONTAJE O ARMADO (TACK WELDING)

Este proceso consiste en la elaboración de cordones de soldadura provisionales, solamente sirven durante el armado de la estructura, y son el paso previo a la soldadura definitiva de las juntas o uniones.

El trabajo del personal encargado de este proceso debe colocar, cuadrar y sujetar de forma provisoria los elementos estructurales antes de que se sometan al

proceso de soldadura final. Este trabajo debe ser realizado con ayuda de una grúa o un teclé, el cual debe estar disponible durante dicha operación, para evitar pérdidas de tiempo excesivas durante el levantamiento de una determinada edificación.

5.4.3 SOLDADURA

El proceso de soldadura es el más importante de los procesos involucrados en la construcción de estructuras metálicas de edificios, ya que gracias a este es posible la unión de los diferentes elementos que las constituye. En esta sección se compone de dos partes, en la primera se habla de la calificación de procedimientos de soldadura, para su uso en el montaje de estructuras metálicas, y en la segunda se habla de la calificación del personal que la realiza.

5.4.3.1 CALIFICACION DE PROCEDIMIENTOS

Los procedimientos que se van a usar en la construcción de estructuras metálicas, deben encontrarse de acuerdo al código AWS D1.1 si cumple con los requisitos mencionados en el capítulo 3. En dicho capítulo se habla de la posibilidad de uso de procedimientos precalificados, los cuales pueden ser elaborados en base al capítulo 3. En la práctica, generalmente no se califican procesos nuevos, si no más bien se hace uso procedimientos precalificados. A continuación se hace un análisis de las posibles conexiones que pueden presentarse durante el montaje de estructuras metálicas.

Como se sabe, en el diseño de estructuras metálicas, los principales elementos estructurales que se encuentran presentes son las vigas y la columnas, pero cuando se hable de vigas, estas pueden ser de primer orden o primarias, secundarias, y hasta terciarias. En el siguiente esquema se muestra la ubicación que estas generalmente poseen dentro de una estructura.

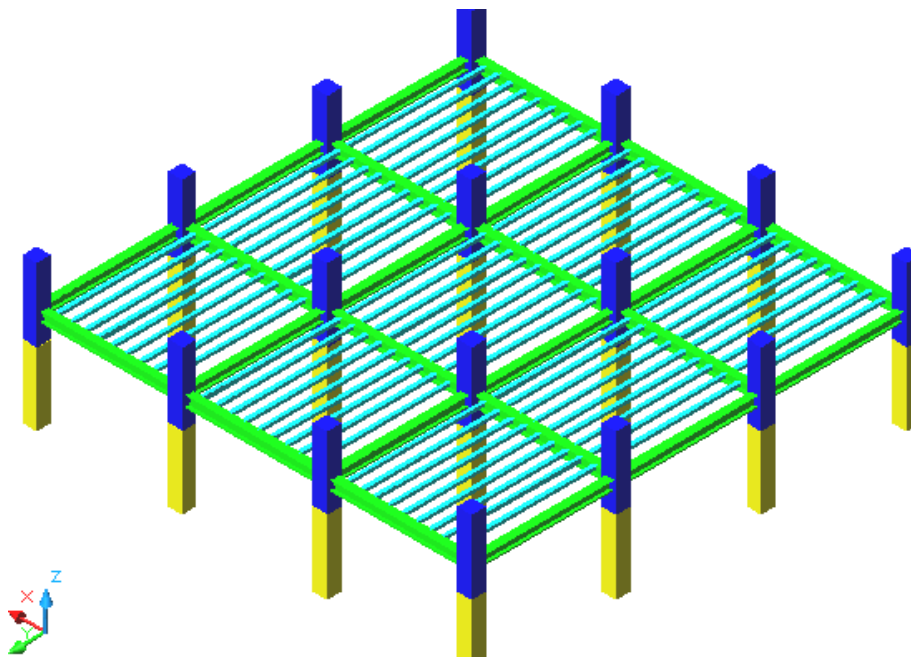


Fig. 5.3 Ubicación de columnas y diferentes tipos de vigas.

De la figura anterior se pueden establecer fácilmente los tipos de conexiones que se requieren para la unión de los mismos. En la siguiente lista se mencionan las conexiones más comunes que se tienen cuando se ensambla estructuras metálicas de edificios.

Conexiones usadas en la construcción de estructuras metálicas

1. Unión columna-columna
2. Unión viga-viga
3. Unión columna-viga principal
4. Unión viga principal-viga secundaria
5. Unión viga terciaria-vigas principal y secundaria

En cada conexión se pueden tener algunos tipos de juntas de soldadura, por ejemplo en la unión viga-columna, se tienen juntas en T y a tope, pero en diferentes posiciones, en este caso existen en las posiciones 1G, 2F, 3F. Para los demás tipos de conexiones, se pueden tener cordones en posiciones como las 2G, 3G, y dependiendo del caso se pueden tener diferentes posiciones para soldadura de tuberías.

5.4.3.2 PROCEDIMIENTOS PRECALIFICADOS

Los procedimientos de soldadura se pueden considerar como las instrucciones o los parámetros de elaboración de una junta soldada. Cuando se habla procedimientos precalificados se debe establecer los rangos de aplicabilidad de determinadas variables, en base a lo que se tiene establecido en la sección 3 del código AWS D1.1. Para el caso de la construcción de estructuras metálicas del tipo que se tiene en la figura 5.4.3.1.1, se deben elaborar los procedimientos para todas y cada una de las diferentes juntas que allí se apliquen. A continuación se presentan los requerimientos para la elaboración de procedimientos precalificados WPS's, los cuales pueden ser cambiados mediante las pruebas de calificación de procedimientos.

Tabla 5.1 Requisitos necesarios para la especificación del procedimiento de soldadura (WPS)

Numeración	Requerimiento
D1.1: 2002	
3.3	Metal base
3.2.3	Proceso de soldadura
3.9-3.13	Detalles de juntas soldadas
3.3	Requisitos del metal de aporte
3.5	Pre calentamiento y temperatura entre pases
5.3.2, 5.3.2.1	Electrodos para SMAW
Tabla 3.7	Diámetro máximo de electrodo para SAW
3.7.2	Sección transversal para soldadura de ranura y filete en SAW
5.3.3.1	Electrodos y fundentes para SAW
Tabla 3.7	Procedimientos para SAW con electrodo único, electrodos paralelos y electrodos múltiples
5.3.4	Electrodos para GMAW y FCAW
Tabla 3.7	Procedimiento para GMAW y FCAW con electrodo único

Para otros procedimientos y como son GMAW-S, GTAW, EGW y ESW, no se tienen valores precalificados, al igual que los requerimientos que no se encuentran listados en la tabla anterior pueden ser establecidos mediante pruebas de calificación.

5.4.3.3 CALIFICACIÓN DEL PERSONAL DE SOLDADURA

El personal de soldadura debe tener el grado de calificación apropiado que le permita la realización de determinados cordones de soldadura, en las posiciones que se le permitan realizarlos. Para determinar el nivel de calificación que el soldador requiere se debe recurrir a la sección 4 del código AWS D1.1 y establecer las pruebas que este debe realizar.

En la tabla 4.1 del código AWS D1.1:2002 se encuentran las pruebas de calificación de procedimientos y los procedimientos que automáticamente quedan calificados con su realización. En las tablas 4.2, 4.3, 4.4 se encuentran la cantidad de ensayos que se deben realizar dependiendo del espesor del material a ser usado en el procedimiento por calificar. En la tabla 4.5 se tienen los cambios en las variables del un registro de calificación de procedimiento (PQR), que requieren una recalificación de la especificación del procedimiento de soldadura (WPS).

En resumen la parte b de la sección 4 del código AWS D1.1:2002 indica los parámetros de obtención de probetas para ensayo, como estas deben ser sometidas a pruebas y los criterios de aceptación de los resultados obtenidos. Para esto se tienen ayudas visuales y explicaciones escritas para cada una de las pruebas de calificación.

En la parte C se tienen los parámetros de calificación de personal de soldadura, tanto soldadores, operadores y montadores. Al igual que en la sección B, se tienen tablas en las cuales indican el grado de calificación en función de la posición de prueba. Así como también los criterios de aceptación y evaluación del personal.

CAPITULO 6

PROGRAMACIÓN DE UN SISTEMA PARA CALCULAR COSTOS EN LA SOLDADURA DE PROYECTOS ESTRUCTURALES

6.1 INTRODUCCION

Los sistemas informáticos se han convertido en una herramienta esencial para las otras ramas que comprenden la ingeniería por lo que se ha creído necesario diseñar un software el cual nos ayude a realizar cálculos para los costos de la soldadura en un proyecto de estructuras metálicas. Básicamente todos los programas que calculan costos incluyen como elementos: mano de obra, costo de materiales, gasto por energía consumida y gastos generales (usualmente obtenidos por repartición como un porcentaje del costo de mano de obra). El procedimiento de soldadura es el punto de partida para estimar los costos de soldadura.

Dentro del programa diseñado existen parámetros necesarios los cuales los explicamos con mayor profundidad a continuación:

6.2 PESO DE METAL DEPOSITADO (P.M.D.)

Uno de los parámetros importantes para el cálculo de costos dentro de la soldadura es el P.M.D., aunque hay excepciones, por ejemplo, en suelda autógena no hay deposición de material por lo que este factor no influye en dicha soldadura. Sin embargo en la mayoría de soldaduras por arco se usa el P.M.D., su definición se da por la siguiente expresión:

$$P.M.D. = A_T (\text{Área transversal de soldadura}) \times \text{Densidad del material de aporte} \times \text{Longitud de Soldadura}$$

Para encontrar el peso de deposición es necesario conocer el área transversal de la soldadura por lo que en el sistema diseñado hemos considerado la gran mayoría de juntas posibles, las cuales son calculadas por geometría, pero como todos sabemos toda soldadura bien realizada cuenta con una sobremonta o refuerzo el cual también lo hemos tomado en cuenta con un porcentaje del 10% para juntas simples y 20 % para juntas dobles.

Otros valores que arbitrariamente se ha tomado ha sido que el material de aporte sea el acero por lo que es constante su densidad ($7.85 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$) y para propósito de posteriores cálculos se ha tomado la soldadura de un metro lineal. El propósito de presentar la mayoría de configuraciones para las soldaduras es que desde la elección de diseño se visualice la variación de costos. En la tabla 4.1 se muestra las fórmulas correspondientes a los tipos de soldadura:

Tabla 6.1 Fórmulas de Área transversal según tipo de soldadura

Nombre	Fórmula
Soldadura de ranura recta	$A_T = E * SR$
Soldadura de ranura en "V"	$A_T = (E - CR)^2 * \tan\left(\frac{A}{2}\right) + (E * SR)$
Soldadura de ranura en media "V"	$A_T = (E - CR)^2 * \frac{\tan(A)}{2} + SR$
Soldadura de ranura "V" Doble	$A_T = (E - CR)^2 * \frac{\tan\left(\frac{A}{2}\right)}{2} + (E * SR)$
Soldadura de ranura en K ó media "V" Doble	$A_T = (E - CR)^2 * \frac{\tan(A)}{4} + (E * SR)$
Soldadura de ranura en "U"	$A_T = (E - R - CR)^2 * \tan\left(\frac{A}{2}\right) + 2R(E - R - CR) + \frac{1}{2}\pi R^2 + (SR * E)$

Soldadura de ranura en "U" Doble	$A_T = (E - 2R - CR)^2 * \frac{\text{Tan}\left(\frac{A}{2}\right)}{2} +$ $2R(E - 2R - CR) + \pi R^2 + (SR * E)$
Soldadura de ranura en "J"	$A_T = (E - R - CR)^2 * \frac{\text{Tan}(A)}{2} +$ $R(E - R - CR) + \frac{\pi R^2}{4} + (SR * E)$
Soldadura de ranura en "J" Doble	$A_T = (E - 2R - CR)^2 * \frac{\text{Tan}(A)}{4} +$ $R(E - 2R - CR) + \frac{\pi R^2}{2} + (SR * E)$

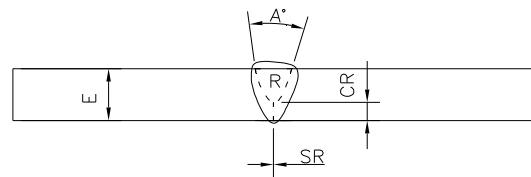
Donde:

SR = Separación de Raíz

CR = Cara de Raíz

E = Espesor del material base

A = Ángulo de Bisel



R = Radio usado en juntas "U" y "J"

Fig. 6.1 Simbología de una junta soldada

6.3 FACTOR DE OPERACIÓN (F.O.)

Para realizar juntas soldadas en estructuras mecánicas se debe tomar en cuenta no solo el tiempo que se suelda si no también el tiempo que lleva ensamblar y preparar la junta, por lo que el tiempo de soldadura se divide en: tiempo de arco y tiempo muerto.

6.3.1 TIEMPO DE ARCO

El tiempo de arco es el tiempo en el cual el soldador se encuentra depositando metal en la junta, es decir el tiempo verdadero que le toma al soldador realizar determinada junta.

6.3.2 TIEMPO MUERTO

Dentro del tiempo muerto se tiene: tiempo de ensamble de las estructuras metálicas, tiempo de posicionamiento y de preparación de la junta. Dentro de este tiempo también están los momentos de traslado de equipos, limpieza de juntas, entre otros.

El tiempo trabajado es la suma de los dos conceptos antes expuestos, el Factor de Operación es la relación del tiempo de arco sobre el tiempo total trabajado. La eficiencia de un trabajador variará de acuerdo al tiempo de arco, es por eso que un trabajador será más eficiente si aumenta el tiempo de arco. El factor de operación es un concepto muy importante porque interviene en varios costos como se verá posteriormente por lo que se debe tratar de aumentar como sea posible este factor, una buena organización de montaje ayudará sustancialmente a aumentar este factor ya que se disminuye el tiempo muerto. Los rangos de factor de operación varían según los procesos de soldadura, la tabla 6.2 muestra valores experimentales de factores de operación:

*Tabla 6.2 Factores de Operación**

Tipo de Soldadura	Soldadura	Factor de Operación (%)
Manual	GTAW	5 - 20
	Electrodo Manual	5 - 30
Semiautomática	GMAW	10 - 60
Automática	SAW	50 - 100

6.4 PESO DE ELECTRODOS REQUERIDO (P.E.R.)

Como se dijo anteriormente el P.M.D. nos ayuda a saber la cantidad de material de aporte que se necesita, pero el peso antes calculado es teórico ya que se va a perder material por salpicaduras, por escoria, por colillas no consumidas

entre otros aspectos. Es por eso que el peso de electrodos se define como la relación del P.M.D. y la eficiencia de deposición:

$$\text{Peso de Electrodo Requerido (P.E.R.)} = \frac{\text{P.M.D.}}{\text{Eficiencia de Deposición (E}_D\text{)}} * 100$$

6.4.1 EFICIENCIA DE DEPOSICIÓN (E_D)

La eficiencia de deposición se puede calcular, una norma que habla de eficiencia es la UNE 14038. En el programa se ha realizado el proceso necesario, con la variación que para efectos de cálculos podemos ingresar un número indeterminado de electrodos y sus respectivos pesos y densidad. El primer dato que se debe calcular es el del peso del alambre consumido independiente del proceso. Luego con el ingreso del peso de los electrodos y el peso del metal depositado podemos encontrar el rendimiento o eficiencia de deposición.

Existen datos experimentales de la eficiencia de deposición que se pueden usar cuando ya se tiene una noción de lo que queremos realizar, estos datos dependerán del proceso utilizado, la tabla 6.3 muestra datos experimentales.

*Tabla 6.3 Eficiencia de deposición para diferentes procesos de soldadura**

Tipo de Soldadura	Soldadura	Eficiencia de Deposición (%)
Manual	GTAW	95
	Electrodo Manual	60 - 70
Semiautomática	GMAW	80 - 90
Automática	SAW	95-98

6.5 COSTO DE ELECTRODOS

El costo de los electrodos se puede calcular tomando el costo para un metro de soldadura para ello se usa la siguiente fórmula:

$$\text{Costo de Electrodo} \left(\frac{\$}{\text{m}} \right) = \frac{\text{Valor del electrodo} \left(\frac{\$}{\text{kg}} \right) * \text{P.E.R.} \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}} \right)}{E_D (\%)}$$

Donde el valor del electrodo es el costo al cual se compra a los distribuidores, este valor podría disminuir realizando compras de gran cantidad. La eficiencia de deposición como ya se dijo puede ser calculado o tomado por experiencia.

6.6 COSTO DE GAS DE PROTECCIÓN

El sistema diseñado es apropiado para soldadura SMAW Y GMAW por lo que para esta última se tiene que calcular el costo de gas ya que es un factor principal en dicha soldadura.

Como ya se vio en el capítulo 2 el gas cumple funciones muy importantes en la soldadura GMAW, y es por eso que la elección del mismo es primordial tanto para la configuración de la soldadura como también para los costos.

El factor de operación o indirectamente el tiempo de arco es un aspecto que influye directamente al costo del gas ya que mientras más tiempo de arco exista mayor será el consumo de gas. La expresión que nos permite encontrar el costo del gas esta dada por:

$$\text{Costo de gas} \left(\frac{\$}{\text{m}} \right) = \frac{\text{Precio del Gas} \left(\frac{\$}{\text{m}^3} \right) * \text{Caudal de Consumo} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{min}} \right)}{\text{Velocidad de Avance} \left(\frac{\text{m}}{\text{min}} \right)}$$

El precio del gas va a variar de acuerdo al tipo utilizado, mientras que el consumo de gas viene dado en el procedimiento de soldadura es decir WPS, pero este valor puede ser tomado de los medidores de flujo.

6.7 COSTO DE MANO DE OBRA

Este costo es calculado en base a un salario acordado con el soldador, este salario definirá el tiempo que se va a trabajar con el que podremos encontrar el F.O.. La relación que ayuda a realizar el cálculo del costo de mano de obra es:

$$\text{Costo de mano de obra } \left(\frac{\$}{\text{m}}\right) = \frac{\text{Pago a soldador } \left(\frac{\$}{\text{min}}\right) * \text{P.M.D.} \left(\frac{\text{gr}}{\text{m}}\right)}{\text{Velocidad de Deposición } \left(\frac{\text{gr}}{\text{min}}\right) * \text{F.O.}(\%)}$$

La velocidad de deposición es el peso del metal de aporte depositado en una cantidad de tiempo, dicha velocidad depende de varios factores como: habilidad del soldador, posición de soldadura, diámetro de electrodo, material de electrodo, entre otros.

6.8 COSTOS GENERALES

Son también llamados gastos indirectos ya que son los costos que se generan ya sea en la fabricación o en la planeación. Sustentar a ejecutivos de empresa, supervisores, inspectores, recursos humanos, personal de limpieza como de mantenimiento entre otros. Es importante mencionar que dentro de estos costos se encuentran la devaluación de activos

Estos gastos normalmente se dividen de acuerdo con los gastos de mano de Obra con respecto a los trabajos de soldadura realizados por los gastos indirectos, pero para ello los gastos de mano de obra de cada proyecto deben estar muy bien controlados.

Cuando los gastos indirectos se los quiere tomar por cada proyecto se debe usar la fórmula de gastos de mano de obra con la variación que se sustituye la tarifa del soldador por un valor de gastos generales (G.G.) sin variar el resto de factores.

$$\text{Costos Generales } \left(\frac{\$}{\text{m}}\right) = \frac{\text{G.G.} \left(\frac{\$}{\text{min}}\right) * \text{P.M.D.} \left(\frac{\text{gr}}{\text{m}}\right)}{\text{Velocidad de Deposición} \left(\frac{\text{gr}}{\text{min}}\right) * \text{F.O.}(\%)}$$

Por razones de simplificación de fórmulas muchas veces el costo indirecto se lo asocia con el gasto de mano de obra dando como resultado:

$$\text{Costo de mano de Obra y gastos generales} \left(\frac{\$}{\text{m}}\right) = \frac{\left(\text{G.G.} \left(\frac{\$}{\text{min}}\right) + \text{Pago a soldador} \left(\frac{\$}{\text{min}}\right)\right) * \text{P.M.D.} \left(\frac{\text{gr}}{\text{m}}\right)}{\text{Velocidad de Deposición} \left(\frac{\text{gr}}{\text{min}}\right) * \text{F.O.}(\%)}$$

6.9 COSTOS DE ELECTRICIDAD

Debido a que el software realiza una comparación de costos entre las soldadura SMAW y GMAW es necesario tomar el costo de electricidad separadamente de los gastos generales ya que los tipos de fuentes de energía que se usa no son iguales.

El voltaje que se use y el amperaje son las variables que modifican este costo directamente. El costo de potencia por tiempo es un valor fijo provisto de nuestro proveedor de energía eléctrica, otro factor importante es la eficiencia de la máquina ya que según el fabricante y la necesidad de trabajo tenemos maquinaria de diversa eficiencia por lo que se debe tener a la mano este dato. La fórmula de gastos por electricidad es:

$$\frac{\text{Tarifa de energía eléctrica} \left(\frac{\$}{\text{kW}\cdot\text{h}}\right) * \text{Voltaje (V)} * \text{Amperaje (A)} * \text{P.M.D.} \left(\frac{\text{gr}}{\text{m}}\right)}{1000 * \text{Velocidad de Deposición} \left(\frac{\text{gr}}{\text{min}}\right) * \text{F.O.}(\%) * \text{Eficiencia de la fuente}}$$

6.10 DISEÑO DEL SOFTWARE

6.10.1 ANTECEDENTES

La falta de experiencia o ayudas didácticas en el momento de la realización de la misma, hace que las empresas contratistas no tengan una idea clara del tiempo y el costo final del montaje de una estructura metálica, esto recae en

pérdidas para la empresa contratista y para el dueño de la edificación, por lo tanto el objetivo de tener un software que facilite el establecimiento de costos totales en una edificación en base a la cantidad y tipo de soldaduras ayudaría a optimizar los costos de acuerdo a la capacidad de trabajo del personal usado en valores considerablemente buenos. Esto se conoce como el factor de operación, el cual fue especificado anteriormente.

6.10.2 ALCANCE Y FUNCIONAMIENTO

En el presente capítulo se desarrolla un programa capaz de calcular los costos totales de montaje de una edificación con estructura metálica. Ya que en primer lugar se debe escoger en que lados de los diferentes perfiles usados se realizará el mismo tipo de cordón de soldadura, y para estos calcula el costo de su elaboración. A continuación se puede calcular lo mismo para otro tipo de cordón y este valor se suma al anterior, y así sucesivamente se llega a establecer el costo total del montaje de una estructura metálica.

En el programa solamente se establece que para los costos administrativos y operacionales se deba calcular un valor de gastos generales en función de la cantidad de personas que trabajan en la empresa que realiza el montaje. También se asume que los elementos estructurales son adquiridos con la forma y tamaño adecuado, ya que la prefabricación de elementos estructurales es un amplio tema de estudio, debido a que este debe contemplar en su elaboración los costos de corte y pintura.

6.10.3 ESTRUCTURA DEL PROGRAMA

El programa desarrollado funciona en base al lenguaje de programación de Visual Basic, con enlace a base de datos mediante lenguaje SQL. Para facilitar el uso de información relativa a perfilera y material de soldadura se han realizado un enlace del software con el programa Crystal Reports, en el cual se indican las características más relevantes para los materiales antes indicados.

6.11 MANUAL DE USUARIO

Para ingresar al programa se hace doble clic en el botón de acceso directo costos de soldadura, este tiene una pantalla de presentación y luego se ingresa a un menú en el que se tiene los siguientes ítems:

- Proyecto
- Ingreso de Datos
- Reportes
- Acerca de...



Fig. 6.2 Formulario principal

6.11.1 PROYECTO

Dentro de esta selección el software está en la capacidad de realizar dos operaciones ya sea que se realice un nuevo proyecto de soldadura con perfilera, o salir del programa.



Fig. 6.3 Formulario principal ingreso a proyectos

6.11.1.1 Proyectos

Como ya se explicó, con ayuda de las fórmulas adecuadas se consiguió tener el costo de soldadura por metro y lo que hemos realizado es un acople de este valor con la longitud de los perfiles soldados dentro de un proyecto de estructuras metálicas, así tendremos el valor real de soldadura con la longitud correcta.

El formulario consta de registros de proyectos realizados es así que podemos revisar otros registros con ayuda de los botones de desplazamiento y si deseamos realizar un nuevo proyecto se debe seleccionar añadir. Luego se tiene que llenar los campos de información de la empresa a la que se le va a realizar el trabajo, dentro del primer bloque se debe ya definir que tipo de soldadura se va a realizar ya sea SMAW o GMAW.

Nombre del Proyecto:

Contacto:

Empresa:

Soldadura:

RESUMEN DE COSTOS

Costo del Electrodo:

Costo de Mano de Obra:

Costo de Energía Eléctrica:

Costo Gas:

Costo de Soldadura por metro:

Buttons: Costos, Ver Grafico, Comparación, Actualizar

PERFILERIA

Perfil	Número	Longitud Soldada
I	<input type="text"/>	<input type="text"/>
C	<input type="text"/>	<input type="text"/>
L	<input type="text"/>	<input type="text"/>
T	<input type="text"/>	<input type="text"/>
O	<input type="text"/>	<input type="text"/>

Button: Perfilería

COSTO DEL PROYECTO

Buttons: Añadir, Borrar, Grabar, Cancelar, Limpiar

Navigation: K, <, >, >|, >, Salir

Fig. 6.4 Formulario de datos para proyectos

Una vez ingresado los datos informativos se selecciona el botón de perfilería, en el cual se seleccionan los perfiles que van a ser soldados con un mismo tipo de cordón de soldadura.

valor en X: 9270valor en Y: 990

PERFILERIA

Perfil: HP 8x36 Tipo de perfil: SHAPE

Lado 1: 8.155 Lado 2: 3.855 Lado 3:

Lado 4: 3.855 Lado 5: 8.155 Lado 6: 3.855

Lado 7: Lado 8: 3.855 Longitud: 31.73

Perfiles Utilizados:

Nuevo Ingreso
Limpiar
Calcular

Lado 1: Lado 2: Lado 3:

Lado 4: Lado 5: Lado 6:

Perfiles Utilizados: Longitud:

Nuevo Ingreso
Limpiar
Calcular

Lado 1: Lado 2: Lado 3:

Lado 4: Perfiles Utilizados: Longitud:

Nuevo Ingreso
Limpiar
Calcular

Lado 1: Lado 2: Lado 3:

Lado 4: Lado 5: Longitud:

Perfiles Utilizados:

Nuevo Ingreso
Limpiar
Calcular

Lado 1: Lado 2: Lado 3:

Lado 4: Lado 5: Lado 6:

Lado 7: Lado 8: Longitud:

Perfiles Utilizados:

Nuevo Ingreso
Limpiar
Calcular

Añadir Perfil Cancelar Salir

Fig. 6.5 Cálculo de longitud requerida de soldaduras

Una vez seleccionados los perfiles, se hace clic en el botón salir, y automáticamente el valor de longitud total de soldadura se almacena para su próximo uso. Para calcular el P.M.D. el único dato faltante es el área transversal por lo que cuando se cierra el formulario anterior, se abre el formulario para el cálculo del área transversal, al ingresar aquí se necesita ingresar datos de configuración de la junta de soldadura elegida.

Fig. 6.6 Formulario para cálculo del área transversal de soldadura

Para realizar los cálculos seleccionamos calcular área y si es que los datos son los adecuados pulsamos salir o caso contrario cambiar datos para realizar un cálculo de área transversal nuevo. Al salir los datos de área corregida de la sección transversal de soldadura son copiados al valor correspondiente del formulario de soldadura ya sea SMAW o GMAW.

De la misma manera al hacer clic en el botón salir, el valor de área transversal se guarda para ser usado en el formulario de costos, en el cual se calcula automáticamente el peso de metal a depositar en esa soldadura.

Tesis ::: Costos de Soldadura SMAW

COSTOS PARA SOLDADURA SMAW

FACTORES DE CALCULO DE SOLDADURA	CALCULO DE COSTOS
<p>Peso Metal Depositado</p> <p>Peso de metal depositado (PMD) <input type="text"/> gr</p> <p>Área transversal = <input type="text"/> cm² Área Transversal</p> <p>Longitud = <input type="text"/> cm Calcular</p> <p>Densidad aporte = <input type="text" value="7.85"/> gr/cm³</p>	<p>Velocidad de Avance</p> <p>Velocidad de Avance (VA) <input type="text"/> cm/min</p>
<p>Peso de Electrodo Requerido</p> <p>Peso de Electrodo Requeridos <input type="text"/> gr</p> <p>Ef. de Depósito = <input type="text"/> % Eficiencia de Deposición</p>	<p>Costo Electrodo</p> <p>Valor de Electrodo = <input type="text"/> \$/m</p> <p>Costo de Electrodo (CE) <input type="text"/> \$/Kg Calcular</p>
<p>Velocidad de Deposición</p> <p>Velocidad de Deposición (VD) <input type="text"/> gr/min</p> <p>Electrodo <input type="text"/> Diámetro <input type="text"/> mm</p> <p>Voltaje = <input type="text"/> V</p> <p>Amperaje = <input type="text"/> A <input type="text"/></p> <p>Tiempo de arco <input type="text"/> min Calcular</p>	<p>Costo Mano de Obra y Gastos Generales</p> <p>Costo de Mano de Obra y Gastos G. <input type="text"/> \$/m</p> <p>Pago Soldador = <input type="text"/> \$/h</p> <p>Gastos Generales = <input type="text"/> \$/h Calcular</p>
<p>Factor de Operación</p> <p>Factor de Operación (FO) <input type="text"/> %</p> <p>Tiempo de Trabajo = <input type="text"/> min Calcular</p>	<p>Costo Energía Eléctrica</p> <p>Costo de Energía Eléctrica <input type="text"/> \$/m</p> <p>Tarifa Energía = <input type="text"/> \$/kwh</p> <p>Eficacia de la fuente = <input type="text"/> % Calcular</p>
<p>TOTAL: <input style="width: 100px;" type="text"/></p> <p style="text-align: center;"> <input type="button" value="CALCULAR"/> <input type="button" value="SALIR"/> </p>	

Fig. 6.7 Cálculo del tiempo necesario para deposición del material requerido

El cálculo del peso de electrodos requeridos se lo puede realizar ingresando directamente el valor de la eficiencia de deposición o bien se lo puede calcular y para ese fin se ha realizado un formulario que tiene el siguiente formato.

Calculo Eficiencia Deposición

EFICIENCIA DE DEPOSICIÓN

Longitud Inicial	<input type="text" value="150"/> cm	
Longitud Final	<input type="text" value="23.37"/> cm	<input type="button" value="Borrar"/>
Diámetro del Alambre de Electrodo	<input type="text" value="3.2"/> mm	<input type="button" value="Calcular"/>
Densidad del Electrodo	<input type="text" value="7.85"/> gr/cm ³	
Peso del Alambre Consumido	<input type="text" value="79.94393198"/> gr	
Peso de Electrodo	<input type="text" value="134"/> gr	
Peso del Material Depositado	<input type="text" value="78"/> gr	
Rendimiento Nominal	<input type="text" value="97.5683808238"/>	
Porcentaje de Pérdidas por Salpicado	<input type="text" value="2.43161917619"/>	<input type="button" value="Calcular"/>
Rendimiento Global de Deposición	<input type="text" value="58.2089552238"/>	<input type="button" value="Borrar"/>
<input type="button" value="Cancelar"/> <input type="button" value="Salir"/>		

Fig. 6.8 Cálculo de la eficiencia de deposición en soldadura SMAW

Para el cálculo de eficiencia de deposición se requiere conocer: longitud inicial, longitud final, diámetro, densidad y peso de los electrodos como también el peso de metal depositado en el ensayo que puede ser encontrando pesando la placa antes y después del depósito así su diferencia será el peso de metal depositado.

Al calcular el valor de peso de electrodos requerido se termina con el cálculo de parámetros para costos de soldadura y el paso siguiente es ingresar los valores correspondientes en cada costo como son: valor de electrodos, valor de mano de obra, valor de gastos generales y los valores necesarios para el cálculo de costo de energía eléctrica.

Tesis ::: Costos de Soldadura SMAW

COSTOS PARA SOLDADURA SMAW

FACTORES DE CALCULO DE SOLDADURA

Peso Metal Depositado

Peso de metal depositado (PMD) = gr

Area transversal = cm² Area Transversal

Longitud = cm Calcular

Densidad aporte = gr/cm³

Peso de Electrodo Requerido

Peso de Electrodo Requeridos = gr

Ef. de Depósito = % Eficiencia de Deposición

Velocidad de Deposición

Velocidad de Deposición (VD) = gr/min

Electrodo = Diámetro = mm

Voltaje = V

Amperaje = A

Tiempo de arco = min Calcular

Factor de Operación

Factor de Operación (FO) = %

Tiempo de Trabajo = min Calcular

CALCULO DE COSTOS

Velocidad de Avance

Velocidad de Avance (VA) = cm/min

Costo Electrodo

Valor de Electrodo = \$/m

Costo de Electrodo (CE) = \$/Kg Calcular

Costo Mano de Obra y Gastos Generales

Costo de Mano de Obra y Gastos G. = \$/m

Pago Soldador = \$/h

Gastos Generales = \$/h Calcular

Costo Energía Eléctrica

Costo de Energía Eléctrica = \$/m

Tarifa Energía = \$/kwh

Eficacia de la fuente = % Calcular

TOTAL:

Fig. 6.9 Cálculo total de costos de soldadura

Con este valor se tiene el costo total para un determinado tipo de junta, a continuación se debe calcular el costo para cada uno de los otros tipos de juntas de soldadura. Para esto al hacer clic en el botón salir el costo se almacena y se

regresa al formulario de datos de proyectos, pero este aparece con valores en los costos, los cuales son almacenados.

Para seguir con el proceso de cálculo del costo total de la edificación, se debe hacer clic nuevamente en el botón perfilería, a continuación se vuelve a desplegar la ventana en la cual se seleccionan los perfiles y los lados a soldar, y nuevamente se repite el proceso hasta cubrir todos los tipos de juntas que requieran realizar en una edificación.

Nombre Perfil: Tipo Perfil:

perfil	A	d	tw	bf	tf	T	k	k1
▶ W 40x15	15	40	0.6	3	0.6	5	3	4
W 36x300	88.3	36.74	0.945	16.655	1.68	31.125	2.8125	1.5
M 14x18	5.1	14	0.215	4	0.27	12.75	0.625	0.25
S 24x121	35.6	24.5	0.8	8.05	1.09	20.5	2	1.125
HP 8x36	10.6	8.02	0.445	8.155	0.445	6.125	0.9375	0.625
*								

Fig. 6.10 Perfiles disponibles en la base de datos

El formulario de perfilería además de tener registrado varios tipos de perfiles tiene la posibilidad de escoger varios de estos y realizar cálculos simultáneos incluso escogiendo el mismo tipo pero con distinta medida.

Una vez ingresado todos los datos de perfiles a soldarse estos se generan en el formulario de Datos de proyecto llenando las casillas correspondientes como se puede observar a continuación.

Nombre del Proyecto

Contacto

Empresa

Soldadura

PERFILERIA

Perfil	Número	Longitud Soldada
I	<input type="text" value="34"/>	<input type="text" value="55591.65"/>
C	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>
L	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>
T	<input type="text" value="2"/>	<input type="text" value="49.02"/>
O	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>

Peso del Metal Depositado

RESUMEN DE COSTOS

Costo del Electrodo	<input type="text" value="2847.8386"/>
Costo de Mano de Obra	<input type="text" value="20175.0395"/>
Costo de Energía Eléctrica	<input type="text" value="115.7355"/>
Costo Gas	<input type="text" value="0"/>
Costo de Soldadura	<input type="text" value="21714.6943"/>

Buttons: Ver Grafico, Imprimir Reporte, Actualizar

Buttons: Añadir, Borrar, Grabar, Cancelar, Limpiar

Buttons: k, <, >, >|, Salir

Fig. 6.11 Costo total de soldadura por obra

Como se trata de optimizar costos de acuerdo a la necesidad entonces se ha realizado un esquema comparativo de un mismo proyecto es decir dentro del formulario de un determinado proyecto se puede almacenar los dos tipos de soldadura, SMAW y GMAW lo que nos servirá para realizar el cuadro de comparación presentado en un informe.

Consultar

Item

Dropdown menu options: SMAW, GMAW, SMAW & GMAW

Buttons: Ver Informe, Salir

Fig. 6.12 Consulta comparativa de costos de soldadura

Es así como finaliza el cálculo del costo de un proyecto pero el software tiene la posibilidad de imprimir el reporte donde también se observa el diagrama de barras correspondiente al tipo de soldadura.

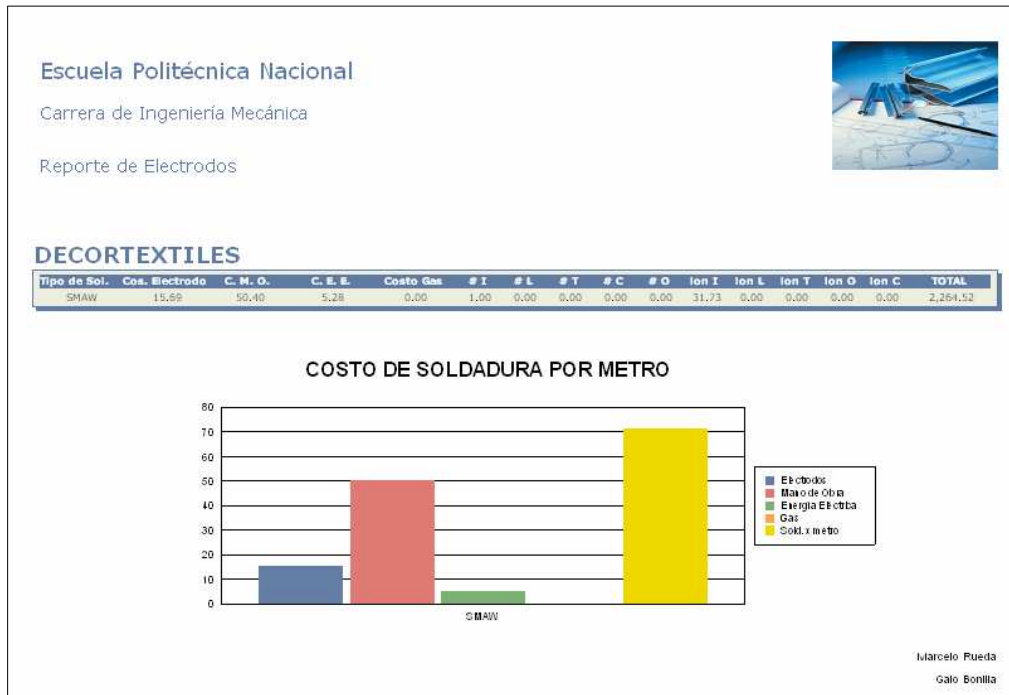


Fig. 6.13 Informe detallado de costos de soldadura por metro

6.11.2 INGRESAR DATOS

Como el programa fue diseñado con una base de datos tenemos la posibilidad de almacenar diferentes tipos de perfiles con sus dimensiones y la diversidad de electrodos con sus características, para ingresar debemos hacerlo desde la barra de menú del programa.



Fig. 6.14 Ingreso de datos para productos a usar durante el programa

6.11.2.1 Electrodo

Dentro de esta selección tenemos formularios de electrodos ya guardados los cuales se pueden modificar o si deseamos añadir uno nuevo pulsamos el botón correspondiente teniendo el siguiente esquema.

The screenshot shows a software window titled 'ELECTRODOS'. It contains several input fields: 'Denominación AWS' (empty), 'Observaciones' (empty text area), 'Res. Tracción (Mpa)' (0), 'Límite de Fluencia (Mpa)' (0), and 'Alargamiento en 50 mm' (0). Below these is a table with the following structure:

Diametro	Longitud	Amperaje mínimo	Amperaje máximo	Electrodo kg
*				

At the bottom of the window are navigation buttons: '<', '>', '<<', '>>', 'Añadir', 'Borrar', 'Grabar', 'Cancelar', and 'Salir'.

Fig. 6.15 Formulario para ingreso de electrodos

Como se puede observar tenemos varios campos que se deben ingresar ya que así se podrán registrar en nuestra base de datos, es importante recalcar que no puede quedar ningún dato vacío ya que si no se ingresan todos los datos la base de datos no aceptará el registro. A continuación se muestra el registro de información del electrodo E-6013.

The screenshot shows the same 'ELECTRODOS' form but with data entered. The 'Denominación AWS' field contains 'E-6013'. The 'Observaciones' field contains the text: 'Electrodo para el acero al carbono, toda posición, corriente continua, ambas polaridades, corriente alterna, revestimiento: gris, aprobado anualmente por el American Bureau of Shipping'. The other fields are: 'Res. Tracción (Mpa)' (495), 'Límite de Fluencia (Mpa)' (413), and 'Alargamiento en 50 mm' (25). The table is now populated with the following data:

Diametro	Longitud	Amperaje mínimo	Amperaje máximo	Electrodo kg
2.4	300	40	90	52
3.2	350	70	120	35
4	350	120	190	22
4.8	350	160	240	17
1	2	3	4	5
*				

The 'Cancelar' button is now highlighted in grey.

Fig. 6.16 Electrodo disponibles en el tipo E-6013

6.11.2.2 Perfiles

El esquema de perfiles es similar al formulario de electrodos, en el se puede tanto navegar por los diferentes perfiles como también ingresar un nuevo tipo de perfil. Los datos de estos registros son los que se utilizan para el cuadro combinado de selección de perfil en el formulario perfilería como se explicó en la sección 6.10.1.1. A continuación se muestra el registro de perfiles Shape.

The screenshot shows a software window titled 'PERFILES'. At the top, there is a blue header with the word 'PERFILES' in white. Below the header, there are two input fields: 'Nombre Perfil:' containing the text 'SHAPE' and 'Tipo Perfil:' which is empty. Below these fields is a table with the following data:

perfil	A	d	tw	bf	tf	T	k	k1
W 36x300	88.3	36.74	0.945	16.655	1.68	31.125	2.8125	1.5
M 14x18	5.1	14	0.215	4	0.27	12.75	0.625	0.25
S 24x121	35.6	24.5	0.8	8.05	1.09	20.5	2	1.125
HP 8x36	10.6	8.02	0.445	8.155	0.445	6.125	0.9375	0.625
*								

Below the table, there are navigation buttons: '<', '>', '<|', and '>|'. At the bottom right, there are five buttons: 'Añadir', 'Borrar', 'Grabar', 'Cancelar', and 'Salir'.

Fig. 6.17 Perfilería disponible en el tipo I

6.11.3 REPORTE


Como una utilidad del sistema se ha realizado informes de electrodos, perfiles y soldadura, esto se realizó porque en el diseño de un proyecto de soldadura de estructuras metálicas muchas veces se requiere tener información tanto de perfiles y electrodos ya sea por sus características y dimensiones. Dentro de los informes de soldadura se tiene el registro de todos los ingresos de proyectos es decir si realizamos un proyecto para una empresa determinada este lo podremos imprimir las veces y en el tiempo que sea necesario.

La utilidad primordial de un informe es que este se puede imprimir pero si se requiere una modificación debe irse al ingreso de datos para que se realice la corrección correspondiente. A continuación se muestra un reporte de electrodos.

Escuela Politécnica Nacional

Carrera de Ingeniería Mecánica

Reporte de Electroodos



E-6013

Observación: Electrodo para al acero al carbono, toda posición, corriente continua, ambas polaridades, corriente alterna, revestimiento: gris, aprobado anualmente por el American Bureau of Shipping

Resistencia: 495.00 MPa

Límite de fluencia: 413.00 MPa

Alargamiento en 50 mm: 25.00 %

Diámetro (mm)	Longitud (mm)	Amperaje mínimo	Amperaje máximo	Electrodos por kg.
1.00	2.00	3.00	4.00	5.00
1.00	2.00	3.00	4.00	5.00
2.40	300.00	40.00	90.00	52.00
2.40	300.00	40.00	90.00	52.00
3.20	350.00	70.00	120.00	35.00
3.20	350.00	70.00	120.00	35.00
4.00	350.00	120.00	190.00	22.00
4.00	350.00	120.00	190.00	22.00
4.80	350.00	160.00	240.00	17.00
4.80	350.00	160.00	240.00	17.00

Fig. 6.18 Informe técnico acerca del electrodo E-6013

CAPITULO 7

OPTIMIZACION DE PROCESOS

7.1 OBJETIVOS

Reducir los costos totales de montaje de estructuras metálicas de edificios.

Establecer las medidas necesarias para el mejoramiento de tiempos empleados en montaje de estructuras metálicas.

Relacionar los tiempos necesarios para cada operación con el costo que estos implican para la empresa constructora.

Minimizar el tiempo de construcción y el costo, en base a un estudio estadístico de tiempo requerido y costos de implementación de nuevas técnicas o equipos para lograr este objetivo.

7.2 INTRODUCCIÓN

El presente capítulo muestra de manera concisa la optimización: usos, ventajas, métodos, para lograr resultados que sean los que proporcionen el menor costo final de montaje para una estructura metálica de edificio.

En una primera parte se hace referencia a los diferentes métodos matemáticos de optimización de funciones con restricciones y problemas de valor en la frontera.

En la segunda parte se puede encontrar un estudio de tiempos requeridos para desarrollar cada uno de los procesos involucrados en el montaje de estructuras metálicas de edificios.

En una tercera parte se realiza un enlace de tiempos empleados y costos totales de producción. Así como también establecer los puntos críticos y el costo involucrado para minimizar los tiempos muertos en cualquiera de los procesos de fabricación.

Al final del capítulo se hace un resumen de todos los procesos involucrados, su importancia dentro del conjunto total, y la conveniencia o no de la compra de nuevos equipos o contratación de nuevo personal en cualquiera de los puntos críticos dentro de la producción de estructuras metálicas de edificios.

7.3 METODOS DE OPTIMIZACION

En el mundo de las matemáticas se tiene un sin número de métodos, para la determinación de máximos y mínimos de ecuaciones que pueden ser cuadráticas, cúbicas, etc. Estos métodos se basan simplemente en que cuando una determinada función se encuentra en un máximo o un mínimo, la pendiente de esta es cero. Lo cual se determina por derivación simple de dicha función.

En niveles más avanzados se tiene la posibilidad de tener un sin número de variables, la cuales pueden estar sujetas a un sin número de restricciones, para la determinación del un máximo o un mínimo, en este tipo de funciones se utilizan métodos diferentes, uno de los métodos más usados es el método simplex, y por esta razón en la actualidad se cuenta con software capaz de resolver en cuestión de segundos problemas de este tipo.

En términos prácticos se tiene que lo más difícil es el establecimiento de la función que se desea optimizar y las restricciones a las cuales esta sujeta. A continuación se muestra un problema de aplicación, en el cual se deben determinar la ecuación de la función objetivo y de las restricciones.

7.3.1 PROBLEMA DE LA DIETA

En una granja de pollos se da una dieta "para engordar" con una composición mínima de 15 unidades de una sustancia A y otras 15 de una sustancia B. En el mercado sólo se encuentran dos clases de compuestos: el tipo X con una composición de una unidad de A y cinco de B, y el tipo Y, con una composición de cinco unidades de A y una de B. El precio del tipo X es de 1000 pesetas y el del tipo Y es de 3000 pesetas. Se pregunta .
¿Qué cantidades se han de comprar de cada tipo para cubrir las necesidades con un coste mínimo? (*Islas Baleares. Junio 1990*)

Podemos organizar la información mediante una tabla:

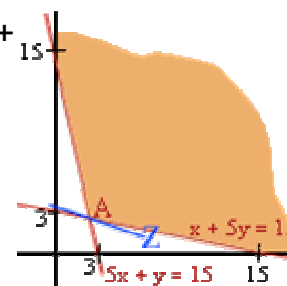
	Unidades	Sustancia A	Sustancia B	Coste
Compuesto X	x	x	$5x$	$1000x$
Compuesto Y	y	$5y$	y	$3000y$
Total		≥ 15	≥ 15	$1000x + 3000y$

La función objetivo del coste total, f , si se emplean x kg del compuesto X e y kg del compuesto Y, es:

$$Z = f(x,y) = 1000x + 3000y$$

El conjunto de restricciones es: $x \geq 0$, $y \geq 0$; $x + 5y \geq 15$; $5x + y \geq 15$.

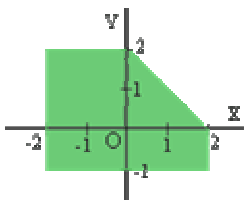
Con estos datos representamos la región factible y las rectas de nivel de la función objetivo.



De todas las rectas de nivel que tocan a la región factible, hace que el coste Z sea mínimo la que pasa por el vértice $A(2.5,2.5)$.

La solución óptima se obtiene comprando 2.5 unidades de X y 2.5 unidades de Y.

El coste total es: $Z = f(2.5, 2.5) = 1000 \cdot 2.5 + 3000 \cdot 2.5 = 10000$ pesetas.



6) Considera el recinto de la figura en el que están incluidos todos los lados y todos los vértices.

a) Escribe las inecuaciones que lo definen

b) Maximiza la función $Z = x + y$

- Hallamos la ecuación de la recta que pasa por (2,0) y (0,2):

$(0,2) \rightarrow 2 = m \cdot 0 + n \rightarrow n = 2$	
$y = mx + n$	$\rightarrow y = -x + 2 \rightarrow x + y = 2$
$(2,0) \rightarrow 0 = m \cdot 2 + 2 \rightarrow m = -1$	

Los puntos del recinto (por ejemplo, el (0,0)) verifican $x + y \leq 2$

- Ecuación de la recta paralela al eje X que pasa por (0,2) : $y = 2$.
Los puntos del recinto verifican $y \leq 2$
- Ecuación de la recta paralela al eje X que pasa por (0,-1): $y = -1$
Los puntos del recinto verifican $y \geq -1$
- Ecuación de la recta paralela al eje Y que pasa por (2,0) : $x = 2$
Los puntos del recinto verifican $x \leq 2$
- Ecuación de la recta paralela al eje Y que pasa por (-2,0): $x = -2$
Los puntos del recinto verifican $x \geq -2$

Las inecuaciones que cumplen los puntos del recinto son:

$$x + y \leq 2$$

$$-2 \leq x \leq 2$$

$$-1 \leq y \leq 2$$

b) Como la dirección de la función $Z = x + y$ a maximizar es la misma que la del borde $x + y = 2$, resulta que esta recta es tal que deja todo el recinto a un lado, precisamente del lado que hace $x + y \leq 2$. Por tanto, el máximo de $Z = x + y$ para (x,y) en el recinto se alcanza para cualquier punto de ese segmento del borde y tiene por valor 2.

7.4 ESTUDIO DE TIEMPO REQUERIDO PARA EL DEPÓSITO DE MATERIAL DE APORTE

En esta sección se realiza la determinación del tiempo necesario para la realización del depósito de una determinada cantidad de material en una junta, en función del tipo de electrodo y la intensidad de corriente utilizada.

Se tiene que para cada tipo de electrodo la velocidad de deposición depende de la intensidad de corriente aplicada. En los catálogos de electrodos se tiene gráficas experimentales de velocidad de depósito en función de la corriente. Estas gráficas se determinan realizando un cordón de soldadura sobre una placa previamente pesada y preparada, se toma el tiempo de arco para un electrodo, a continuación se pesa la placa y se determina la cantidad de material depositado en un intervalo de tiempo. Este mismo proceso se realiza para diferentes valores de intensidad, dentro del su rango de uso especificado en el catalogo del electrodo.

El mismo procedimiento se puede realizar usando diferentes diámetros de alambres para el caso de la soldadura GMAW. De esta manera se obtienen curvas para cada tipo de electrodo y cada diámetro de alambre.

En el anexo 3 se tienen los valores proporcionados por la empresa INDURA, para diferentes electrodos y diámetros de alambre. En base a las gráficas y con ayuda de software se pueden determinar las ecuaciones que gobiernan el comportamiento del electrodo en función de la intensidad de corriente.

Estas ecuaciones se usan en el software del capítulo 6, con lo cual se determina el tiempo requerido para depositar la cantidad de material de aporte necesario para la realización de una junta de soldadura.

7.5 ESTUDIO DE COSTOS

Como en cualquier proceso de manufactura en el cual el diseño y la versatilidad son muy importantes, los costos juegan el papel más importante, por esta razón se debe tener bien claro la rentabilidad de la actividad económica. En el caso de construcción de estructuras metálicas se tiene que los costos de personal administrativo no se pueden reducir, pero si los costos producidos por el personal operativo.

Los costos totales involucrados para realizar las operaciones de montaje de estructuras metálicas, son los siguientes:

- Costo de mano de obra
- Costo de energía consumida
- Depreciación de equipos
- Costo de materiales consumibles

Los valores de estos costos varían de acuerdo a la actividad que se desarrolle.

En la construcción metalmecánica se tienen los siguientes tipos de operarios:

- Soldadores
- Punteadores
- Operadores de grúa
- Ayudantes

7.5.1 COSTO DE MANO DE OBRA

El costo de mano de obra es el valor total que la empresa debe pagar por hora de trabajo del personal, dentro de esto se debe incluir los valores pagados por concepto de prestaciones sociales.

Los costos hora-hombre dependen de la actividad que el personal realice, para este caso de estudio se establecerán los siguientes valores:

Tabla 7.2 Pago por hora de Operarios (Estimado)

Tipo de Operario	Pago USD/h
Soldador	1.8
Punteador	1
Operador de grúa	2.5
Ayudantes	1

Costos estimados en base a lo que se pagó a los trabajadores en la construcción de un edificio por parte de la empresa Ospining.

7.5.2 COSTO DE ENERGÍA

El costo de energía consumida se determina como la sumatoria del consumo de cada equipo multiplicado por el tiempo aproximado de consumo diario, multiplicado por el número de días promedio de trabajo mensual, multiplicado por el costo de la energía utilizada, en cada una de las actividades realizadas.

En la siguiente tabla se muestran los valores aproximados de consumo de energía para algunos equipos y maquinaria usada en la construcción de estructuras metálicas.

Tabla 7.3 Consumo de energía de equipos

Equipo	Tipo de Energía	Consumo	Costo
Soldadora	Eléctrica	3.5 KW	0.1 USD/KW* h
Grúa	Eléctrica	10 KW	0.1 USD/KW* h
Amoladora	Eléctrica		0.1 USD/KW* h
Oxicorte	Acetileno		
Iluminación	Eléctrica	0.1 KW/foco aprox.	0.1 USD/KW* h
Compresor	Eléctrica	5 KW	0.1 USD/KW* h

7.5.3 DEPRECIACIÓN DE MAQUINARIA Y EQUIPOS

Los equipos y la maquinaria que se usa en cualquier proceso de manufactura tienen un tiempo de vida útil, durante el cual su valor instantáneo va disminuyendo constantemente hasta que el equipo tiene poco valor comercial. Por esta razón se ve la necesidad de tomar en cuenta dicho valor como un gasto más para la compañía. Cuando se habla de optimización del tiempo de trabajo en una determinada construcción se tiene que el tiempo de construcción disminuirá, por lo tanto la depreciación de los equipos será menor en cada edificación y se podrá construir una mayor cantidad de obras con el mismo equipo, antes de que este pierda valor comercial.

Para el análisis se tomará en cuenta como que la depreciación es realizada en línea recta, es decir que cada año el equipo disminuirá su costo en un valor constante, durante su tiempo de vida útil. Es decir la depreciación anual será su valor inicial dividido para el número de años de vida útil. A continuación se muestra el tiempo de vida útil para algunos equipos usados en la construcción metalmecánica.

En base a los costos de equipos, y considerando una determinada cantidad de los mismos, se puede establecer el valor que se pierde mensualmente por concepto de depreciación.

Tabla 7.4 Costos promedio de equipos y maquinaria para la construcción

Equipo	Costo USD	Cantidad Necesaria Aproximada	Vida útil (años)
Grúa pluma	10000	2	20
Máquina soldadora	2000	10	10
Compresor	1000	1	15
Amoladora	180	20	5
Equipo de oxicorte	1000	2	10

Por lo tanto para cada caso se tiene que la depreciación mensual de los equipos y maquinarias mas importantes es la siguiente:

Tabla 7.5 Depreciación mensual de equipos

Equipo	Depreciación unitaria USD	Depreciación total USD
Grúa pluma	42	84
Máquina soldadora	3.5	52
Compresor	5.6	5.6
Amoladora	3	60
Equipo de oxicorte	8.3	16.6

La suma de todas las depreciaciones totales para cada tipo de equipos, de los antes mencionados nos da una idea de los valores aproximados que se pierden a medida que pasa el tiempo y es fácil darse cuenta que si se realizan una mayor cantidad de obras en el mismo tiempo el ahorro se vuelve significativo y la rentabilidad se incrementa. Esto se logra incrementando la frecuencia de uso de los equipos, lo que significa reducir el tiempo de paro de los mismos y por lo tanto del personal encargado. Es decir que cuando se optimizan los procesos no solo se reducen los costos por concepto de pago a los trabajadores, sino que también se reducen los costos de depreciación de maquinaria y equipos. Por esta razón es un factor que debe ser tomado en cuenta cuando se habla de optimización.

7.6 PLANTEAMIENTO DE LA OPTIMIZACIÓN

En optimización de costos se debe tener en cuenta el tiempo necesario para cada actividad, la cantidad de personal y el costo hora-hombre para cada una de ellas. Con todo lo anteriormente planteado y con la premisa de que existen costos que no se pueden reducir como son los pagos de sueldos y salarios al personal administrativo, pero si reducir el tiempo de construcción de las edificaciones y por lo tanto se tiene implícito un incremento en los ingresos de la

compañía contratista y la posibilidad de mejores ofertas para los dueños y mejores utilidades para los constructores.

Para esto se tiene que las variables involucradas serían las siguientes:

- Número de personal de planta en cada actividad
- Costo hora-hombre para cada actividad
- Equipos, maquinaria y su depreciación por hora de uso
- Costo de energía utilizada
- Costo de materiales consumibles
- Tiempo necesario para cada actividad

El objetivo principal es reducir el costo global de construcción de la estructura metálica, pero esto es un proceso muy difícil, por lo tanto con ayuda del software desarrollado en el capítulo anterior se puede establecer el costo de soldadura de toda la obra, considerando un determinado factor de trabajo de los soldadores, el cual se debe optimizar en el presente capítulo. Para esto se tomara los valores del costo de soldadura para diferentes valores de factor de trabajo o eficiencia del soldador, con esto se obtendrá el ahorro o reducción del costo total de la soldadura requerida.

En cuanto a los costos de los otros procesos se tiene que estos son más fáciles de determinar, por lo tanto se tiene que para optimizar este es un proceso menos complejo, pero no por eso deja de ser importante, y no se puede resolver solamente con la experiencia en el campo de la construcción, sino que requiere un análisis mas específico.

Cuando se colocan los costos de soldadura en un plano que depende del factor de trabajo del personal, es claro que la única forma de reducir los costos es reduciendo los tiempos de inactividad entre las tareas de los trabajadores, no solo en soldadura, sino también en las demás actividades involucradas en la construcción, debido a que la construcción es un proceso encadenado.

En resumen el problema esta en reducir el tiempo libre que el personal tenga durante la realización de su trabajo. Pero como la reducción de dicho tiempo puede implicar la necesidad de compra de nuevos equipos para ciertas áreas o tareas, o la contratación de nuevo personal para otras, los costos de maquinarias y sueldos de trabajadores deben incluirse en el análisis, ya que el objetivo es reducir los costos totales de construcción.

7.6.1 NOMENCLATURA A USAR

Para la optimización se deben establecer las ecuaciones para cada uno de los costos involucrados, es por eso que se ve la necesidad de nombrar variables, las cuales se muestran a continuación:

Tabla 7.6 Variables a optimizar

Variable	Nomenclatura
Nº soldadores	NS
Nº punteadores	NP
Nº ayudantes	NA
Nº grúas	NG
Velocidad del soldador	VS
Velocidad de montaje	VM
Velocidad de limpieza	VL
Cantidad de material a depositar	PMD

Las velocidades de depósito se encuentran en el anexo 3, los costos hora hombre se pueden obtener de la tabla 7.2. Con todos estos valores se tiene que el costo total de la construcción estará en función del valor que tomen las variables mencionadas en la tabla 7.6. Los costos de materiales, y consumibles dependen de la cantidad de juntas y el tamaño de la construcción, mas no de la velocidad de los trabajadores, de la misma manera la depreciación de los equipos depende de la cantidad de años de servicio, por lo tanto estas variables no se incluyen en la ecuación de optimización. En resumen la optimización se reduce a la obtención del número óptimo de soldadores para la realización de un

determinado número juntas en un tiempo mínimo, establecido en la programación general de actividades.

Los tiempos de las demás actividades deben también coordinarse en función del tiempo que el personal de soldadura tarda en realizar todo el montaje.

7.6.2 ANALISIS DE LAS VARIABLES INVOLUCRADAS

En general, la variable que es fundamental en la construcción metalmecánica, es la relación que existe entre el tiempo real de trabajo y el tiempo total pagado, este cociente proporciona un valor que es conocido como: factor de trabajo.

Para el caso de soldadura manual se tiene que los factores de trabajo están ubicados entre un 5 – 30%¹, el objetivo es hacer que este valor sea lo más alto posible, esto significa que el tiempo de inactividad sea mínimo.

En el caso de la velocidad de depósito, se tiene que esta viene determinada por la intensidad de corriente y el tipo de electrodo, el objetivo sería capacitar al personal de soldadura para evitar que estos realicen las mismas con cordones sobre-dimensionados. Para esto, el personal de ingeniería de la empresa debería calcular los tamaños de soldadura necesarios y comunicar de esto al personal que lo realiza.

Dependiendo de la actividad que se realice se tiene un número mínimo de personas requeridas para cada actividad.

En el caso de elevación de vigas y columnas es necesario un mínimo de 3 personas, 1 operador de la grúa y 2 ayudantes que se encargan de la sujeción y colaboran en el direccionamiento del material que se transporta.

¹ Corresponden a lo establecido en el Manual de Soldadura de INDURA

Para el montaje inicial o punteo de las vigas y columnas se tiene es necesaria la presencia de (2 personas para el caso de vigas, y una para el caso de columnas), que realicen la sujeción primaria de los elementos.

Hasta el momento se tiene que por cada grúa es indispensable tener como mínimo 5 personas, este número de personas difícilmente se puede reducir, pero se puede mejorar el desempeño de los mismos con actividades complementarias, y es obvio que al mejorar el factor de trabajo del personal de soldadura, el resto de personal deberá mejorar su desempeño, para tener el mismo ritmo de trabajo.

Debido a la dificultad de la realización de varias actividades simultáneas, se tiene que durante el tiempo de colocación de cubierta metálica, fundición de la loza y secado de la misma, los soldadores no realizan ninguna actividad y ese tiempo es generalmente pagado por el empleador. Por esta razón parte del proceso de optimización consiste en reducir al mínimo ese tiempo de inactividad. De antemano se sabe que la fundición de la loza es inevitable y el tiempo mínimo para su secado también, por lo tanto se tiene que la única forma de evitar el tiempo de para del personal de soldadura es haciendo que estos realicen su trabajo por completo durante los 5 primeros días de la semana y el fin de semana sea dedicado a la fundición y secado de la loza. Para lograr esto hay que saber la cantidad necesaria de soldadores para la realización de todas las juntas durante el tiempo planteado y evitar pagos innecesarios.

Con lo planteado en la sección 7.4, se tiene que lo primordial es calcular la cantidad de material que se requiere depositar en una estructura, y en base a las curvas de depósito de material se obtiene el tiempo necesario para realizar todas las soldaduras. Para esto se deben establecer los tipos de juntas que se van a realizar en cada conexión. Y con esto calcular la cantidad de material y el tiempo de depósito necesarios.

El número de conexiones en una estructura de una planta se puede obtener del plano de construcción. En la figura 7.1 se muestra una configuración usada en una estructura metálica dibujada como ejemplo.

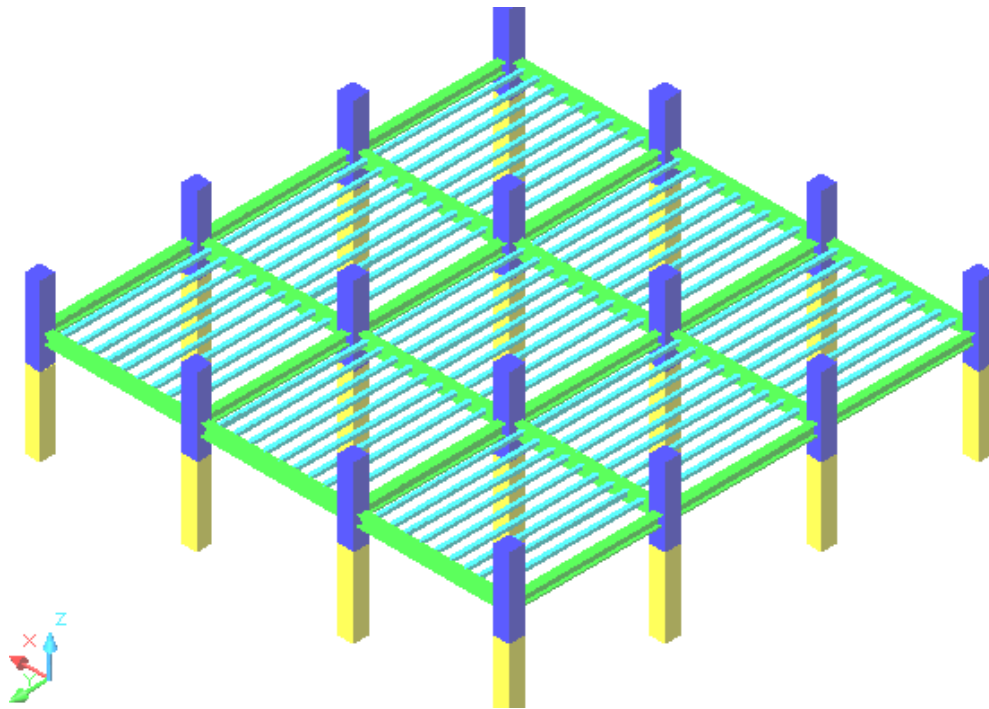


Fig. 7.1a Diseño de una estructura metálica

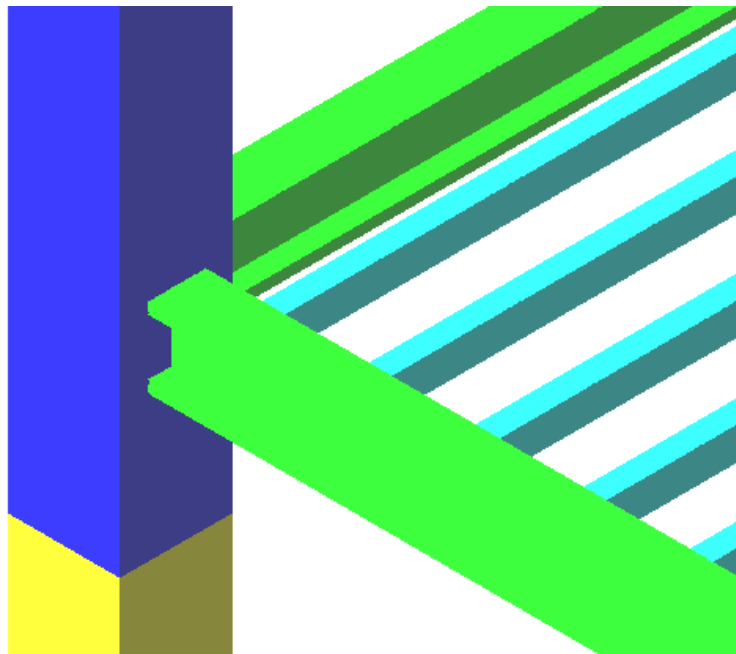


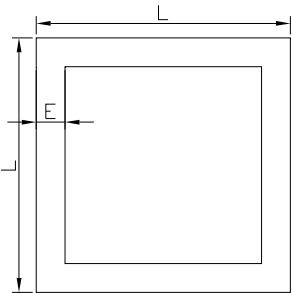
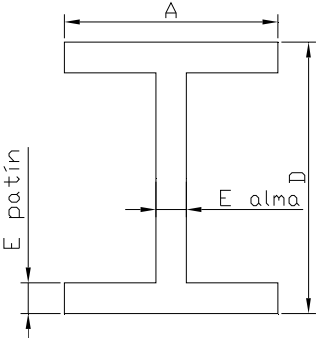
Fig. 7.1b Detalle de las juntas

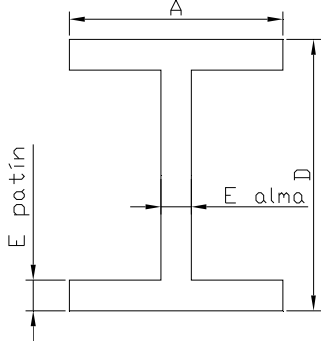
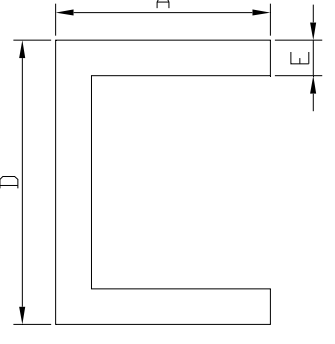
En base al detalle de la Fig. 7.1b se tiene que las columnas se conectan entre sí mediante una junta a tope, las vigas principales se unen a las columnas

con ayuda de platinas de acero que sirven para compensar la longitud y unir efectivamente los elementos. Entre las vigas principales pueden ir vigas secundarias, o directamente las vigas terciarias, que generalmente son canales o perfiles C, para las vigas principales y secundarias se usa por lo general perfiles tipo I, las columnas son generalmente cuadradas, pero pueden ser tipo I, o rectangulares dependiendo de las condiciones de esfuerzo y de diseño.

Para el ejemplo de cálculo que se va a realizar mas adelante se usará la estructura de la Fig. 7.1, cabe señalar que se considera que los elementos son adquiridos con la forma mencionada en la Tabla 7.7, es decir las dimensiones se usan solamente para el cálculo del costo total de montaje de una estructura metálica.

Tabla 7.7 Dimensiones de los elementos

Elemento	Forma	Dimensiones	Esquema
Columna	Cuadrada	$L = 400\text{mm}$ $E = 6\text{mm}$	 <p>Diagrama de una columna cuadrada. Se muestra un cuadrado con una línea interior que representa el espesor. Las dimensiones están etiquetadas como L (largo) y E (espesor).</p>
Viga Principal	Tipo I	$D = 400\text{mm}$ $A = 150\text{mm}$ $E \text{ alma} = 6\text{mm}$ $E \text{ patín} = 6\text{mm}$	 <p>Diagrama de una viga principal tipo I. Se muestra un perfil en forma de T. Las dimensiones están etiquetadas como A (ancho del alma), D (altura total), E alma (espesor del alma) y E patín (espesor del patín).</p>

Viga Secundaria	Tipo I	$D = 400\text{mm}$ $A = 100\text{mm}$ $E_{\text{alma}} = 4\text{mm}$ $E_{\text{patín}} = 4\text{mm}$	
Viga Terciaria	Tipo C	$D = 100\text{m}$ $A = 50\text{mm}$ $E = 3\text{mm}$	

7.6.3 DETERMINACIÓN DE LOS TIPOS DE JUNTAS DE SOLDADURA REQUERIDAS

7.6.3.1 Unión columna – columna

Las columnas se unen con el uso de juntas a tope, con un bisel de V simple, para asegurar penetración completa. Es decir la configuración es la siguiente:

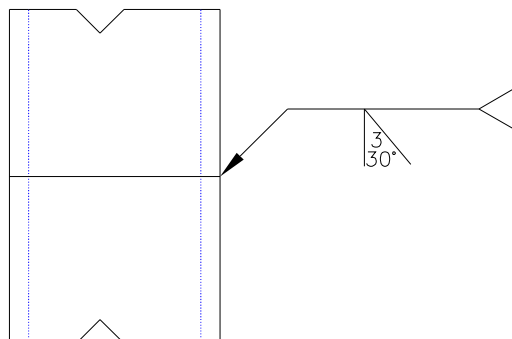


Fig. 7.2 Unión columna - columna

El área transversal de este cordón es de 0.35 cm^2 considerando un exceso de depósito de un 20%, y la longitud de soldadura sería de 160 cm, es decir el volumen necesario de material es de 40 cm^3 . En base a las curvas del anexo 3, se establece que el tiempo necesario, para diferentes electrodos e intensidades, es el siguiente:

Tabla 7.8 Tiempo requerido para depositar 439.6g en la junta

Electrodo \ Intensidad	E-6010	E-6011	E-7018
100 A	44 min.	29 min.	35 min.
110 A	37 min.	25 min.	32 min.
130 A	28 min.	21 min.	26 min.

Para el ejemplo de cálculo se tomará el electrodo E-7018 con una intensidad de 130 A, es decir el tiempo requerido para realizar la soldadura es de 26 min. Este valor fue calculado considerando una eficiencia de depósito de 65%.²

7.6.3.2 Unión columna – viga principal

Las vigas principales se unen con el uso de dos tipos de juntas, a tope y traslape, con un bisel de V simple en la junta a tope y con una platina de acero para la junta a traslape. Es decir la configuración es la siguiente:

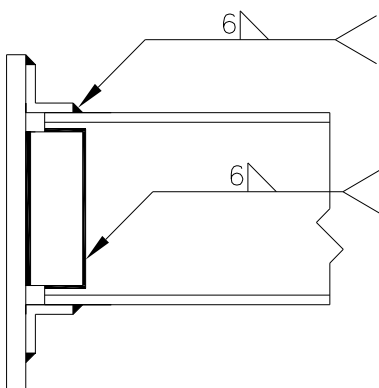


Fig. 7.3 Unión columna – viga principal

² Corresponden a lo establecido en la UNE 14038

El área transversal del primer cordón es de 0.22 cm^2 , para la soldadura a traslape se considera una pierna de 6 mm, es decir el área de soldadura es de 0.432 cm^2 , considerando un exceso de depósito de un 20% en ambos casos, la longitud de soldadura para cada caso es de 30 cm. y 80 cm. respectivamente.

La cantidad de material necesario se obtiene multiplicando el volumen necesario de material por la densidad del acero (7.85 g/cm^3). Para el caso del ejemplo se tiene que el peso total necesario es de 356.076 g.

Tabla 7.9 Tiempo requerido para depositar 356.1g de metal en la conexión.

Electrodo \ Intensidad	E-6010	E-6011	E-7018
100 A	36 min.	23 min.	29 min.
110 A	30 min.	21 min.	26 min.
130 A	23 min.	17 min.	21 min.

Para el ejemplo de cálculo se tomará el electrodo E-7018 con una intensidad de 130 A, es decir el tiempo requerido para realizar la soldadura es de 21 min. Este valor fue calculado considerando una eficiencia de depósito de 65%.

7.6.3.3 Unión viga principal – viga secundaria

Las vigas secundarias se unen con el uso de dos tipos de juntas, al igual que la conexión columna – viga principal, La diferencia se encuentra en el corte que se tiene que realizar en el perfil antes de su juntura. Es decir la configuración es la siguiente:

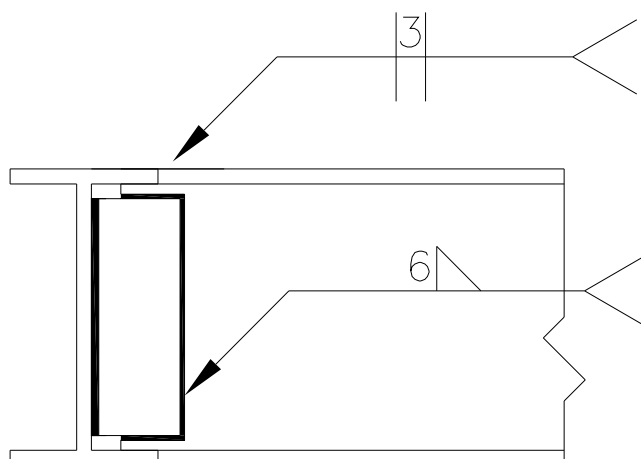


Fig. 7.4 Unión viga principal – viga secundaria

El área transversal del primer cordón es de 0.22 cm^2 , para la soldadura a traslape se considera una pierna de 6 mm, es decir el área de soldadura es de 0.432 cm^2 , considerando un exceso de depósito de un 20% en ambos casos, la longitud de soldadura para cada caso es de 30 cm. y 80 cm. respectivamente.

La cantidad de material necesario se obtiene multiplicando el volumen necesario de material por la densidad del acero (7.85 g/cm^3). Para el caso del ejemplo se tiene que el peso total necesario es de 356.076 g.

Tabla 7.10 Tiempo requerido para depositar 356.1g de metal en la conexión.

Electrodo \ Intensidad	E-6010	E-6011	E-7018
100 A	36 min.	23 min.	29 min.
110 A	30 min.	21 min.	26 min.
130 A	23 min.	17 min.	21 min.

Para el ejemplo de cálculo se tomará el electrodo E-7018 con una intensidad de 130 A, es decir el tiempo requerido para realizar la soldadura es de 21 min. Este valor fue calculado considerando una eficiencia de depósito de 65%.

7.6.3.4 Unión viga principal / secundaria – viga terciaria

Las vigas terciarias se unen mediante una junta a tope sin bisel, debido al espesor de la viga, solamente se realiza un cordón por todo el contorno interior del canal.

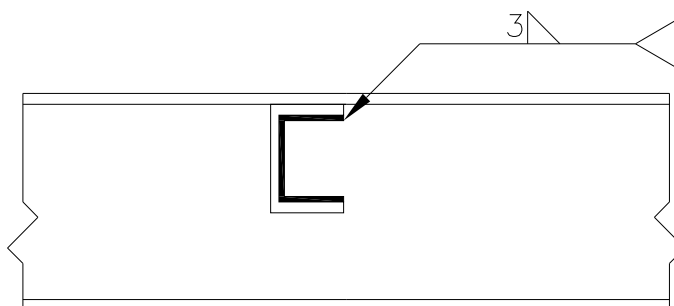


Fig. 7.5 Unión Viga Principal o secundaria – viga terciaria

El área transversal del cordón es de 0.27 cm^2 , para este tipo de junta, considerando un exceso de depósito de un 20%, la longitud de soldadura para este caso es de 20 cm.

La cantidad de material necesario se obtiene multiplicando el volumen necesario de material por la densidad del acero (7.85 g/cm^3). Para el caso del ejemplo se tiene que el peso total necesario es de 42.39g.

Tabla 7.11 Tiempo requerido para depositar 42.39g de metal en la junta.

Electrodo \ Intensidad	E-6010	E-6011	E-7018
100 A	4.24 min.	2.76 min.	3.41 min.
110 A	3.6 min.	2.45 min.	3.06 min.
130 A	2.7 min.	2 min.	2.53 min.

Para el ejemplo de cálculo se tomará el electrodo E-7018 con una intensidad de 130 A, es decir el tiempo requerido para realizar la soldadura es de

2.53 min. Este valor fue calculado considerando una eficiencia de depósito de 65%.

En resumen se tiene lo siguiente:

Tabla 7.12 Consumo de material y tiempo requerido para la realización de las juntas de soldadura

Tipo de conexión	Material requerido (Kg.)	Tiempo necesario (min.)
Columna – Columna	0.4396	26
Columna – Viga Principal	0.3561	21
Viga P o S – Viga Terciaria	0.04239	2.5

Los tiempos aquí mencionados son los necesarios para la realización de las soldaduras, pero este valor se ve modificado por el factor de trabajo, el cual se encuentra indicado en la tabla 6.2.

Para este caso se tiene que el objetivo es hacer que el factor de trabajo sea lo más cercano posible al valor máximo indicado en la tabla 6.2, o incluso tratar de superarlo ligeramente.

A continuación se muestra la influencia del factor de trabajo en el tiempo necesario para lograr ensamblar una estructura metálica.

Tabla 7.13 Tiempo requerido para el depósito de material

Tipo de conexión	Tiempo requerido (min)	Número de conexiones	Tiempo total requerido (min)
columna-columna	26	16	416
columna-viga principal	21	48	1008
viga principal-viga terciaria	2.5	192	480
Tiempo total de depósito			1904

Para un factor de operación de 10% el tiempo total necesario sería de 19040 minutos, pero si el factor es de 30%, este tiempo es solamente de 5600 minutos, es decir la tercera parte, esto significa que los costos por pago de soldadores sería solamente un tercio de lo antes pagado.

7.6.4 DETERMINACIÓN DE LA ECUACIÓN PARA OPTIMIZAR EL COSTO GLOBAL DE MONTAJE DE UNA ESTRUCTURA METÁLICA

La ecuación viene determinada por cada uno de los costos involucrados durante el montaje de estructuras metálicas. Estos costos son los siguientes:

- Costo de mano de obra
- Costo de energía consumida
- Depreciación de equipos
- Costo de materiales consumibles
- Costos administrativos y operativos

7.6.4.1 Costo de mano de obra (CMO)

Es el valor que paga la empresa por concepto de sueldos a todo el personal operativo, y este depende del tiempo de trabajo del mismo. El costo de mano de obra viene dado por:

CMO = Número de personas x costo hora-hombre x Número de horas trabajadas

(7.1)

Para cada tipo de trabajador dentro de la planta. El costo total es la sumatoria de los costos totales de cada clase de trabajador. Es decir:

$$\text{CMO} = (\text{NS} \cdot \text{CHH} + \text{NP} \cdot \text{CHH} + \text{NA} \cdot \text{CHH} + \text{NG} \cdot \text{CHH}) \cdot \text{T total} \quad (7.2)$$

7.6.4.2 Costo de energía consumida (CEC)

Este costo esta compuesto por la suma de los consumos de energía para cada clase de equipos, es decir se tiene que tomar en cuenta el tiempo de funcionamiento de los mismos, así como el consumo de energía durante el tiempo que estos se encuentran encendidos pero sin funcionar.

CEC = Consumo del equipo x tiempo promedio de uso x costo de la energía

En el caso de las máquinas soldadoras se tiene que el consumo depende de la intensidad de corriente y el voltaje durante el uso, pero cuando no se usan, estas consumen aproximadamente 440W de potencia, ya que tienen un ventilador que esta funcionado todo el tiempo.

Es decir el costo de energía para una máquina soldadora es el siguiente:

$$\text{Costo de energía} = I \cdot V \cdot \text{tarifa} \cdot \text{T arco} + 440 \cdot \text{tarifa} \cdot (\text{T total} - \text{T arco}) \quad (7.3)$$

El costo total esta dado por la suma de los costos para cada equipo.

7.6.4.3 Depreciación de equipos (DE)

El costo de depreciación de equipos debe ser considerado como importante, ya que la empresa debe ir creando un fondo de salvamento para su renovación. Este costo depende del valor inicial del equipo y su vida útil, es decir que a medida que pasa el tiempo su valor comercial disminuye. Entonces el costo por depreciación estaría dado por:

$$\text{DE} = \text{Número de equipos} \times \text{tiempo de uso} \times \text{depreciación unitaria (DU)} \quad (7.4)$$

El costo total por depreciación de equipos es la suma de los costos para cada tipo de equipos usado durante el montaje de estructuras metálicas. Es decir el costo por depreciación esta dado por:

$$DE = (NS*DU_1 + NG * DU_2 + Notros*DU_N)* T \text{ total} \quad (7.5)$$

7.6.4.4 Costo de materiales consumibles (CMC)

El costo de consumibles viene dado por la cantidad necesaria de material y la eficiencia de depósito del mismo, es decir esta dado por:

$$CMC = PMD*Costo \text{ Unitario}/Eficiencia \text{ de depósito} \quad (7.6)$$

Con un adecuado control del tamaño de las soldaduras, este costo no se puede reducir, ya que no depende del tiempo total (T total) de trabajo sino más bien del tamaño de la obra.

7.6.4.5 Costos Administrativos y Operativos (CAO)

Estos costos dependen del tiempo de trabajo del personal, y el costo hora-hombre, este valor estaría determinado por:

$$CAO = \text{Número de personal administrativo} * \text{Costo Hora-Hombre} * T \text{ total} \quad (7.7)$$

7.6.4.6 Ecuación General para la Optimización

El costo total de montaje (CTM) estaría determinado por la suma de los costos anteriores, es decir:

$$CTM = CMO+CEC+DE+CMC+CAO \quad (7.8)$$

Cada uno de los componentes de esta ecuación, denotan un comportamiento lineal en función del tiempo total (T total), el cual esta dado por:

$$T_{\text{total}} = T_{\text{arco}} / FO \quad (7.9)$$

Es decir la gráfica de la ecuación es una línea decreciente, en la cual a medida que se incrementa el factor de operación (FO), el costo total de montaje (CTM) disminuye. Como se muestra en la Fig. 7.5

La ecuación de la curva tiene la forma $Y = A + B/x$, donde Y es el costo total de montaje, A es el costo mínimo (FO = 100%) que puede tener el montaje de la estructura, y B viene determinado por los costos que dependen del factor de operación.

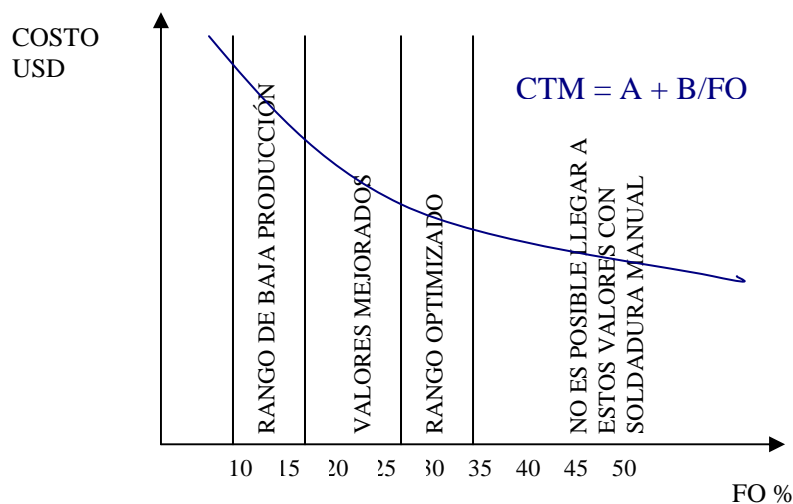


Fig. 7.6 Curva de costo total vs factor de operación

En conclusión, lo que se debe hacer es mejorar la organización, en base al cálculo del tiempo de arco (T arco) necesario para realizar el depósito de material requerido para una planta de una estructura metálica. Para con este valor, determinar el tiempo y el número de personal que se requiere en cada actividad.

7.6.5 CALCULO DEL AHORRO TOTAL EN UNA ESTRUCTURA REAL.

Las dimensiones de los elementos estructurales son las indicadas en la tabla 7.4. La configuración de las plantas es la mostrada en la Fig. 7.1, en la cual se tienen 16 columnas, 24 vigas principales, y 81 vigas terciarias. Las dimensiones de los elementos se encuentran determinadas en la Tabla 7.7.

Para la determinación del tiempo necesario de soldadura se hace referencia a la Tabla 7.9, en la cual se hace el cálculo del tiempo de arco para cada tipo de junta de soldadura, y el tiempo total requerido para las soldaduras de todas las juntas que se encuentran en la edificación.

El costo de mano de obra estaría determinado por la ecuación (7.1), entonces se tiene que es igual a:

$$\text{CMO} = (\text{NS} \cdot \text{CHH} + \text{NP} \cdot \text{CHH} + \text{NA} \cdot \text{CHH} + \text{NG} \cdot \text{CHH}) \cdot \text{T total}$$

$$\text{CMO} = (\text{NS} \cdot \text{CHH} + \text{NP} \cdot \text{CHH} + \text{NA} \cdot \text{CHH} + \text{NG} \cdot \text{CHH}) \cdot \text{T arco} / \text{FO}$$

Donde:

NS = es el valor a determinar

NP = se considera una sola grúa, por lo tanto son 2 punteadores

NA = Igualmente solo se necesitan 2 ayudantes

NG = 1 sola grúa, por lo tanto un solo operador

FO = es el factor que requiere un valor mejorado, se usaran los valores de 0.12 y 0.34

T arco = es el tiempo requerido para el depósito de material en las juntas.

CHH = Costo hora – hombre, determinados en la tabla 7.2.

Por lo tanto el costo de mano de obra es el siguiente:

$$\text{CMO} = (\text{NS} \cdot 1.8 + 2 \cdot 1 + 2 \cdot 1 + 1 \cdot 2.5) \cdot 1600 / (\text{FO} \cdot 60)$$

$$\text{CMO} = (\text{NS} \cdot 1.8 + 6.5) \cdot 1600 / (\text{FO} \cdot 60) \text{ [USD]} \quad (7.10)$$

El costo de energía consumida para todos los equipos esta determinado por la ecuación (7.2)

CEC = Consumo del equipo x tiempo promedio de uso x costo de la energía

Específicamente para máquinas soldadoras el costo de consumo viene dado por la ecuación (7.3). La cual es equivalente a:

$$CPMS = I*V*tarifa*T arco/Eficiencia + 440*tarifa*(T arco / (1 - FO)) \quad (7.11)$$

Donde CPMS es el costo por máquina soldadora

Entonces el costo total resulta de la multiplicación por el número de equipos de cada tipo.

$$CEC = CPMS*NS + N^{\circ} amoladoras*Potencia*(T limpieza) *tarifa + NG* Potencia *(T montaje)*tarifa + CPMS^1*NP \quad (7.12)$$

Donde:

T Montaje = 5 min/viga principal

CPMS¹ = Costo por máquina soldadora para punteado, donde T arco = 2 min/viga

N° amoladoras = NS, una para cada soldador

NG = 1

I = 130 A, es un valor promedio, en el cual generalmente se suelda.

V = 25 V, es un valor que se mantiene en la mayoría de casos.

Eficiencia = Factor de consumo real de la máquina = 0.87 para este tipo de máquinas.

Tarifa = 0.12 USD/KW*h

T limpieza = T arco, ya que se necesita realizar limpieza entre pases y toma más o menos el mismo tiempo.

Por lo tanto el costo de consumo de energía es el siguiente:

$$CPMS = 11.954 + 1.41/(1 - FO) \text{ [USD/soldador]}$$

$$\begin{aligned}
 CPMS^1 &= 0.312 + 0.053 \cdot (1600 / (60 \cdot FO)) \text{ [USD/punteador]} \\
 CEC &= CPMS \cdot NS + NS \cdot 1.6 \cdot 0.12 \cdot 1600 / 60 + 1 \cdot 10 \cdot 0.12 \cdot 5 \cdot 24 / 60 + CPMS^1 \cdot NP \\
 CEC &= CPMS \cdot NS + NS \cdot 5.12 + 2.4 + CPMS^1 \cdot 2 \qquad (7.13)
 \end{aligned}$$

Para el costo de depreciación de equipos se tiene lo establecido en la ecuación (7.4):

$$DE = (NS \cdot DU_1 + NG \cdot DU_3 + \text{Notros} \cdot DU_N) \cdot T \text{ total}$$

Donde:

DU_1 = Depreciación de una máquina soldadora en una hora = 0.2 USD/h

DU_2 = Depreciación de una amoladora = 0.05 USD/h

DU_3 = Depreciación de una grúa = 0.6 USD/h

Por lo tanto la depreciación para los equipos es la siguiente:

$$DE = ((NS + 2) \cdot (0.2 + 0.05) + 1 \cdot 0.6) \cdot 1600 / (60 \cdot FO) \qquad (7.14)$$

Para calcular el costo de material consumido (CMC), se tiene lo siguiente

$$CMC = PMD \cdot \text{Costo Unitario} / \text{Eficiencia de depósito}$$

Donde:

PMD = peso de metal depositado = 1300 Kg.

Costo unitario = 5 USD/Kg.

Eficiencia del depósito = 65 %

Por lo tanto se tiene que el costo de material es de:

$$CMC = 10000 \text{ [USD]} \qquad (7.15)$$

El costo de gastos administrativos se establece en base a la ecuación (7.7), en la cual se tiene que:

$$CAO = \text{Número de personal administrativo} \cdot \text{Costo Hora-Hombre} \cdot T \text{ total}$$

Donde:

Número de personal administrativo se asume en 15 personas

Costo hora – hombre se toma como un promedio de 2.5 [USD/h]

Entonces El costo administrativo es de

$$\text{CAO} = 15 \cdot 2.5 \cdot 1600 / (60 \cdot \text{FO}) \quad (7.16)$$

Por lo tanto el costo total esta determinado por la suma de las ecuaciones (7.10) – (7.16). A continuación se indica una tabla en la cual se calcula el número de soldadores para factores de operación de 0.12, 0.25, y 0.34, para usar estos valores en las ecuaciones de costos totales de montaje de una estructura metálica. Considerando que se terminaría la construcción en el mismo tiempo pero con un factor de operación más bajo.

Tabla 7.14 Número de soldadores necesarios para diferentes factores de operación.

Factor de Operación	0.12	0.25	0.34
Tiempo Necesario	13333.3	6400	4705.9
Tiempo Disponible	2400	2400	2400
Número de Soldadores	6	3	2

Para este caso se tiene que las ecuaciones (7.8) – (7.12) no se multiplican por el tiempo arco dividido entre el factor de operación, sino solamente se multiplica por el tiempo disponible durante una semana, que en este caso sería de 2400 min.

Por lo tanto los costos para cada factor de operación son los siguientes:

Tabla 7.11 Costos de elevación para una planta

Factor de Operación	0.12	0.25	0.34
Número de soldadores	6	3	2
Tiempo total disponible (min) 1 semana	2400	2400	2400
CMO (USD)	692	476	404
CPMS (USD/soldador)	13.6	13.8	14.1
CPMS1 (USD/soldador)	2.4	2.4	2.4
CEC (USD)	119.3	64.1	45.7
DE (USD)	104	74	64
CMC (USD)	1000	1000	1000
CAO (USD)	1500	1500	1500
Costo total por planta (USD)T	3415.3	3114.1	3013.7

En este caso se tiene que el ahorro no es muy grande por planta, pero si se considera por ejemplo un total de 12 plantas, el ahorro con un factor de operación óptimo sería de USD 4800 durante el montaje de dicha estructura.

Si se considera que la empresa piensa realizar la construcción con el mismo número de personal, pero sin una organización adecuada, es decir con factores de operación bajos, las ecuaciones (7.10) – (7.16) se mantienen igual, y los costos por planta son los siguientes:

Tabla 7.12 Costos por planta para un número constante de personal de soldadura

Factor de Operación	0.12	0.25	0.34
Número de soldadores	2	2	2
Tiempo total disponible (min) 1 semana	2400	2400	2400
Tiempo para completar la planta (min)	13333.3	6400	4705.9
Número de semanas	2.8	1.3	1.0
CMO (USD)	2244.4	1077.3	792.2
CPMS (USD/soldador)	13.6	13.8	14.1
CPMS1 (USD/soldador)	2.432	2.4	2.4
CEC (USD)	44.6	45.2	45.7
DE (USD)	355.6	170.7	125.5
CMC (USD)	1000	1000	1000
CAO (USD)	4166.7	2000	1470.6
Costo Total para una planta (USD)	7811.3	4293.2	3433.9

En este caso se tiene que el tiempo total de montaje se ve afectado y más de tres veces el tiempo que tomaría si se realiza una optimización del factor de operación. En el ejemplo se tiene un ahorro de mas de USD 4300 por planta, es decir que si se trata del caso anterior en el cual se tiene 12 plantas, el ahorro total de montaje sería de USD 51400.

7.6.6 CÁLCULO DEL AHORRO UTILIZANDO EL SOFTWARE PARA CÁLCULO DE COSTOS.

Para el cálculo en el programa se tratará de ajustar los tiempos totales para obtener los factores de operación con los que se trabajó anteriormente, de la misma manera se tratará de tener el mismo tiempo de deposición y por lo tanto la misma cantidad de material aportado.

En la Fig. 7.6 se tiene el cálculo de costo total para un factor de 0,1

Fig. 7.7 Costos totales para un factor de trabajo de 10% aproximadamente Cambiando el tiempo de trabajo se tiene que los costos se reducen hasta:

Tesis :: Costos de Soldadura SMAW

COSTOS PARA SOLDADURA SMAW

FACTORES DE CALCULO DE SOLDADURA	CALCULO DE COSTOS
<p>Peso Metal Depositado</p> <p>Peso de metal depositado (PMD) = 26297,5 gr</p> <p>Área transversal = 1 cm² Área Transversal</p> <p>Longitud = 3350 cm Calcular</p> <p>Densidad aporte = 7,85 gr/cm³</p>	<p>Velocidad de Avance</p> <p>Velocidad de Avance (VA) = 6,24279068588 cm/min</p>
<p>Peso de Electrodo Requerido</p> <p>Peso de Electrodo Requeridos = 40456,9231 gr</p> <p>Ef. de Depósito = 65 % Eficiencia de Deposición</p>	<p>Costo Electrodo</p> <p>Valor de Electrodo = 202,28 \$/m</p> <p>Costo de Electrodo (CE) = 5 \$/Kg Calcular</p>
<p>Velocidad de Deposición</p> <p>Velocidad de Deposición (VD) = 16,4167 gr/min</p> <p>Electrodo = E-6010 Diámetro = 4 mm</p> <p>Voltaje = 23 V</p> <p>Amperaje = 135 A 110 160</p> <p>Tiempo de arco = 1601,84771 min Calcular</p>	<p>Costo Mano de Obra y Gastos Generales</p> <p>Costo de Mano de Obra y Gastos G. = 2014,1697 \$/m</p> <p>Pago Soldador = 5 \$/h Calcular</p> <p>Gastos Generales = 20 \$/h</p>
<p>Factor de Operación</p> <p>Factor de Operación (FO) = 34,0276 %</p> <p>Tiempo de Trabajo = 4705 min Calcular</p>	<p>Costo Energía Eléctrica</p> <p>Costo de Energía Eléctrica = 17,6583 \$/m</p> <p>Tarifa Energía = 0,1 \$/kwh Calcular</p> <p>Eficacia de la fuente = 85 %</p>
<p>TOTAL: 2233,1</p> <p style="text-align: center;"> <input type="button" value="CALCULAR"/> <input type="button" value="SALIR"/> </p>	

Fig. 7.8 Costos totales para un factor de trabajo de 34% aproximadamente

En resumen se tiene un ahorro de más de USD 5500, el cual es verdaderamente significativo, ya que es más del 65% del costo sin la realización de un análisis correcto de velocidad de soldadura, disponibilidad de equipos y personal.

Hay que considerar que los costos vienen determinados para un tipo de electrodo específico, pero en general se tiene que esto tan solo genera una pequeña variación la cual puede no ser tan importante. En realidad afectaría al ahorro con un valor de USD 100 o menos, lo cual no es significativo en el nivel de costos manejados en estructuras metálicas.

CAPITULO 8

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1 CONCLUSIONES

- La construcción de edificaciones de estructura metálica es uno de los procesos desarrollados en base al avance alcanzado en el descubrimiento y tratamiento de los aceros, por esta razón se tienen que todos los procesos involucrados durante la elevación deben ser analizados y optimizados, para obtener el mayor provecho posible sobre las ventajas que este método de construcción ofrece.
- La posibilidad de construir grandes estructuras sin necesidad esperar que el cemento fragüe durante 15 a 28 días, en los elementos estructurales como son las columnas y vigas, así como el techo. Hace que el tiempo de construcción sea mucho menor, pero con un adecuado análisis de capacidad de equipos y personal este tiempo y por ende el costo podría reducirse a valores menores, aumentando la rentabilidad durante la elaboración del proyecto.
- En la actualidad el diseño estructural no es un problema, ya que se cuenta con software que hace el trabajo en poco tiempo, antes tardaba meses. Con ayuda de software se tiene la posibilidad de cambios instantáneos y los resultados son mucho más confiables, ya que se puede jugar con valores para verificar en que condiciones la edificación fallaría. Estos programas no solo proporcionan la información de resistencia sino que también el número de elementos de cada tipo, su longitud, y peso total de la estructura.
- Por otra parte no se cuenta con software ni capacitación suficiente en el campo de la soldadura, esto hace que algunas empresas no tengan los suficientes controles de calidad y confiabilidad en la soldadura, y por lo

tanto no se tiene un estudio de capacidad para la realización de un determinado número de juntas y conexiones en un tiempo planificado previamente.

- Una alternativa que puede reducir el costo de montaje de una estructura es usando mayor número de personal, para realizar el mismo en un tiempo menor. Por supuesto los costos por mano de obra se incrementan, pero se reducen los otros costos, como son: pagos al personal administrativo, costos de depreciación de equipos, entre otros.
- Con ayuda del software desarrollado en el capítulo 6 se puede saber el tiempo necesario para realizar un determinado número de conexiones en un tiempo planificado con factores de trabajo razonables. De esta manera se puede establecer el número suficiente de soldadores para el montaje de las estructuras metálicas, y por lo tanto tener una planificación de tiempo y actividades óptima.

8.2 RECOMENDACIONES

- Las empresas constructoras de estructuras metálicas debería tener convenios con empresas fabricantes de hormigón, para poder realizar la fundición de las cubiertas en el tiempo planificado. Y de esta manera no interferir en los otros procesos del montaje.
- Se recomienda que la empresa calcule el tiempo necesario para el depósito de material, y contrate el personal suficiente para realizar todas las soldaduras solamente en 5 días, pero considerando un factor de operación de los mismos razonable (FO = 27% - 34%)
- Se recomienda hacer un análisis de optimización de procesos en prefabricación de elementos estructurales, ya que si no se cuenta con el material a tiempo, el montaje sufrirá excesivas pérdidas de tiempo.

CAPITULO 9
ANEXOS

9.1 ANEXO 1

Tipo de esfuerzo o falla	Resistencia de diseño del DCCR	Esfuerzos admisibles del DEA
Tensión (sección 6.13):		
Fractura en la sección neta	$0.75 F_u A_e$	$0.5 F_u A_e$
Cedencia en la sección bruta	$0.9 F_y A_g$	$0.6 F_y A_g$
Cortante (sección 6.14.1):		
Cortante en el alma de la viga Para conectadores y soldaduras (secciones 6.14.2 y 6.14.3)	$0.54 F_y A_w$	$0.4 F_y A_w$
Compresión:		
Carga axial (sección 6.16.2)	$0.85 F_{cr} A_g$	$F_a A_g$
	Para $\lambda_c > 1.5$:	Para $KL/r \leq C_c$:
	$F_{cr} = 0.658^{\lambda_c^2} F_y$	$F_a = \frac{\left[1 - \frac{(KL/r)^2}{2C_c^2}\right] F_y}{\frac{5}{3} + \frac{3(KL/r)}{8C_c} - \frac{(KL/r)^3}{8C_c^3}}$
	$\lambda_c = \frac{KL}{r\pi} \sqrt{\frac{F_y}{E}}$	Para $KL/r > C_c$:
	Para $\lambda_c > 1.5$:	$F_a = \frac{12\pi^2 E}{23(KL/r)^2}$
	$F_{cr} = [0.877/\lambda^2] F_y$	
Flexión:		
Flexión con respecto al eje menor (sección 6.17)	$0.9 F_y Z_y$	$0.75 F_y S_y$
Flexión con respecto al eje mayor para perfil compacto (sección 6.17)	$0.9 M_n$	$F_b S_x$
	Para $L_b \leq L_p$:	Para $L_b < L_c$:
	$M_n = M_p$	$F_b = 0.66 F_y$
	Para $L_p < L_b < L_r$:	Para $L_b > L_c$:
	$M_n = C_b \left[M_p - (M_p - M_r) \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] \leq M_p$	$F_b = \frac{12 \times 10^3 C_b}{L d / A_f} \leq 0.60 F_y$
	Para $L_b > L_r$:	Para $\frac{\sqrt{102 \times 10^3 C_b}}{F_y} \leq \frac{L}{r_T}$
	$M_n = M_{cr} \leq C_b M_r$	$\leq \sqrt{\frac{510 \times 10^3 C_b}{F_y}}$
	$M_{cr} = C_b \frac{\pi^2 E I_y}{L_b^2}$	$F_b = \left[\frac{2}{3} - \frac{F_y (L/r_T)^2}{1530 \times 10^3 C_b} \right] F_y$
	$\times \sqrt{EI_y GJ + \left(\frac{\pi E}{L_b} \right)^2 I_y C_w}$	$\leq 0.60 F_y$
		Para $\frac{L}{r_T} \geq \sqrt{\frac{510 \times 10^3 C_b}{F_y}}$:
		$F_b = \frac{170 \times 10^3 C_b}{(L/r_T)^2} \leq 0.60 F_y$
Apoyo (sección 6.18)		

Tabla 9.1 Esfuerzos admisibles en estructuras metálicas

9.2 ANEXO 2

PROPIEDADES DE ACEROS PARA LA CONSTRUCCIÓN

9.2.1 CARACTERÍSTICAS DE BARRAS CORRUGADAS A NIVEL INTERNACIONAL

Tabla 9.2 Características de barras corrugadas

ZONA DE VIGENCIA	COMPOSICION QUIMICA (%)				CARBONO EQUIVALENTE
	C	Si	Mn	V	
R.F.A.	0.20	0.60 0.60 0.60 0.60	0.40 - 1.50		0.35
	0.10 - 0.20	0.50			0.52
E.E.U.U.					
JAPON	0.23	0.55	1.50		
	0.32	0.60	1.50		
PERU	0.36 - 0.42	0.15 - 0.25	1.15 - 1.30	0.04 - 0.06	0.68 - 0.81
	0.43 - 0.48	0.15 - 0.25	1.20 - 1.40		0.76 - 0.89
	0.34 - 0.40	0.15 - 0.20	1.10 - 1.25		0.56 - 0.67

9.2.2 DATOS TÉCNICOS DE LAS BARRAS DE CONSTRUCCIÓN ASTM A706

Tabla 9.3 Datos Técnicos para barras de construcción

Material	Composición Química *	Carbono Equivalente	Resistencia a la Tracción	Límite de Fluencia	φ de barra	E%	TP **
ASTM	%C = 0.33 % Mn = 1.56 % Si = 0.55	0.44 - 0.46	56.2 kg/mm ²	42.2 kg/mm ² mínimo	3/8" - 3/4"	14% mín	NO
A 706	% P = 0.043 % S = 0.053			55.0 kg/mm ² máximo			

9.2.3 PROPIEDADES DE ALGUNOS ACEROS ESTRUCTURALES DE ACUERDO A LA SOCIEDAD AMERICANA DE ENSAYO DE MATERIALES (ASTM)

- Aceros generales (A-36)
- Aceros estructurales de carbono (A-529)
- -b.1 Bajo contenido de carbono (<0.15 %)
- -b.2 Dulce al carbono (0.15 – 0.29 %)
- -b.3 Medio al carbono (0.30 – 0.59 %)

- -b.4 Alto contenido de carbono (0.6 – 1.7 %)
- Aceros estructurales de alta resistencia y baja aleación (Mo, V y Cr), (A-441 y A-572) aleación al 5 %.
- Aceros estructurales de alta resistencia y baja aleación, resistentes a la corrosión atmosférica (A-242, A-588).
- Acero templado y revenido (A-514).

Designación ASTM	Acero	Formas	Usos	Fy min Ksi	Fumin tensión ksi
A-36 NOM B-254	Al carbono	Perfiles, barras y placas	Puentes, edificios estructurales en gal. Atornillados, remachados y soldados	36 e < 8" 32 e > 8"	58 – 80
A-529 NOM B-99	Al carbono	Perfiles y placas e < ½"	Igual al A-36	42	60-85
A-441 NOM B-284	Al magnesio, vanadio de alta resistencia y baja aleación	Perfiles, placas y barras e < 8"	Igual al A-36 Tanques	40-50	60-70
A-572 NOM B	Alta resistencia y baja aleación	Perfiles, placas y barras e < 6"	Construcciones atornilladas, remaches. No en puentes soldados cuando Fy > 55 ksi	42-65	60-80
A-242 NOM B-282	Alta resistencia, baja aleación y resistente a la corrosión atmosférica	Perfiles, placas y barras e < 4"	Construcciones soldadas, atornillada, técnica especial de soldadura	42-50	63-70
A-514	Templados y revenidos	Placas e < 4"	Construcciones soldada especialmente. No se usa si se requiere gran ductilidad	90-100	100-150

Tabla 9.4 Propiedades de aceros para la Construcción

A-53 NOM B-177	Tubo de acero con o sin costura negros y galvanizados por inmersión en caliente.
A-500 NOM B-199	Tubo de acero para usos estructurales formados en frío con o sin costura de sección circular y otras formas.
A-501 NOM B-200	Tubo de acero al carbono con o sin costura formado en caliente para uso estructural.
A-606 NOM B-277	Lámina de acero de baja aleación y alta resistencia. Laminada en caliente o en frío, resistente a la corrosión.
A-570 NOM B-347	Lámina de acero al carbono laminada en caliente para uso estructural.
A-27 NOM B-353	Piezas coladas de acero de alta resistencia.
A-668	Forjados de acero al carbono y de aleación para uso industrial general.

Tabla 9.5 Propiedades de aceros para la construcción

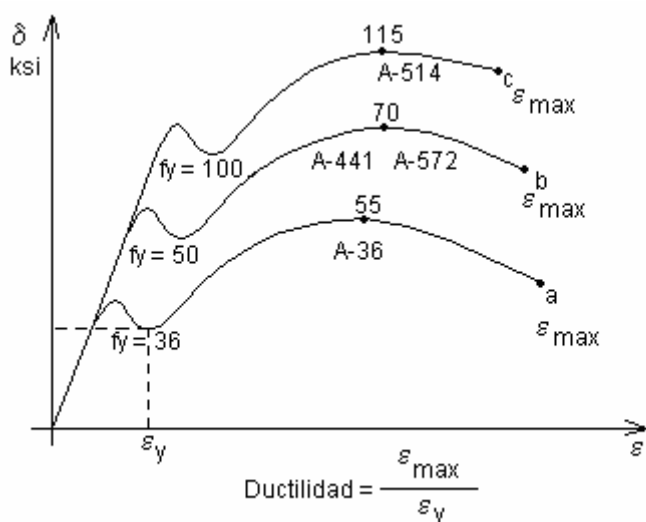


Fig. 9.1 Diagrama esfuerzo-deformación, comparando la resistencia de algunos tipos de aceros.

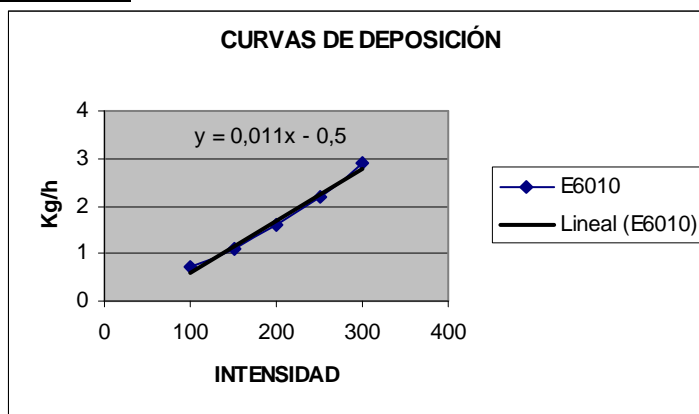
9.3 ANEXO 3

DETERMINACION DE ECUACIONES PARA LAS CURVAS DE DEPOSICIÓN DE MATERIAL PARA DIFERENTES TIPOS DE ELECTRODOS EN FUNCIÓN DE LA INTENSIDAD DE CORRIENTE

9.3.1 PROCESO SMAW

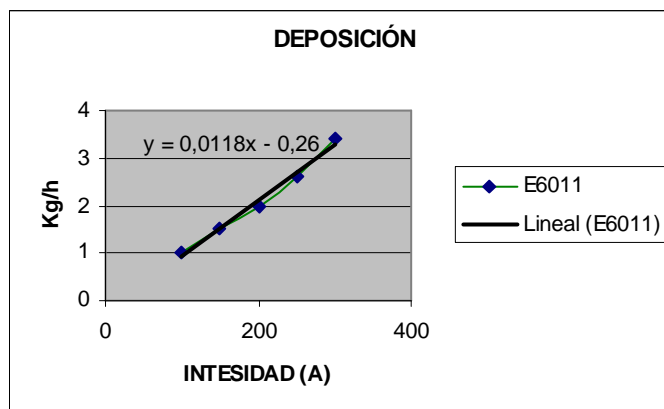
E 6010

INTENSIDAD	DEPOSICIÓN
100	0,7
150	1,1
200	1,6
250	2,2
300	2,9



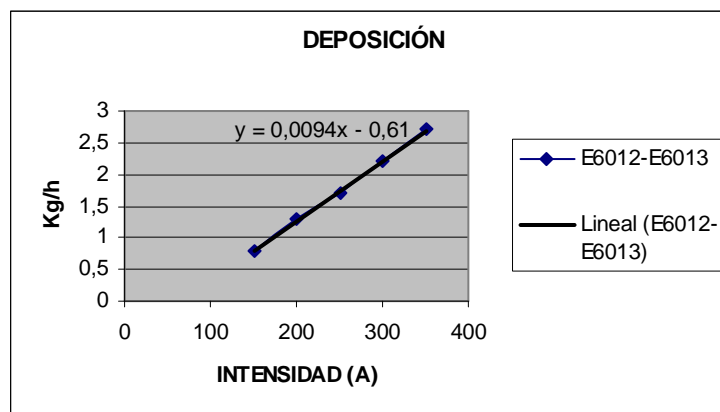
E6011

INTENSIDAD	DEPOSICIÓN
100	1
150	1,5
200	2
250	2,6
300	3,4

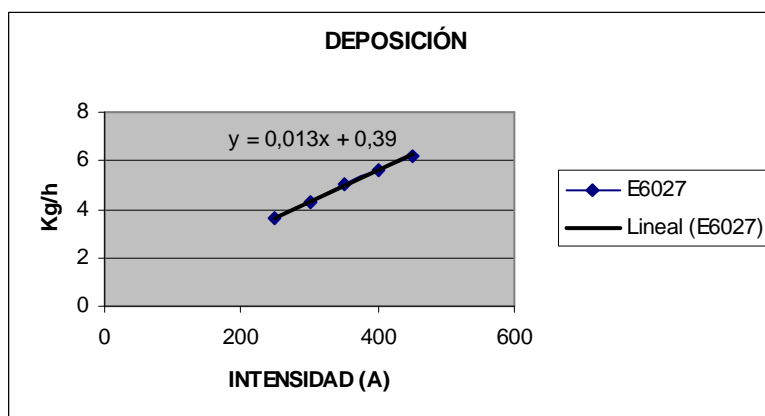


E6012-E6013

INTENSIDAD	DEPOSICIÓN
150	0,8
200	1,3
250	1,7
300	2,2
350	2,7

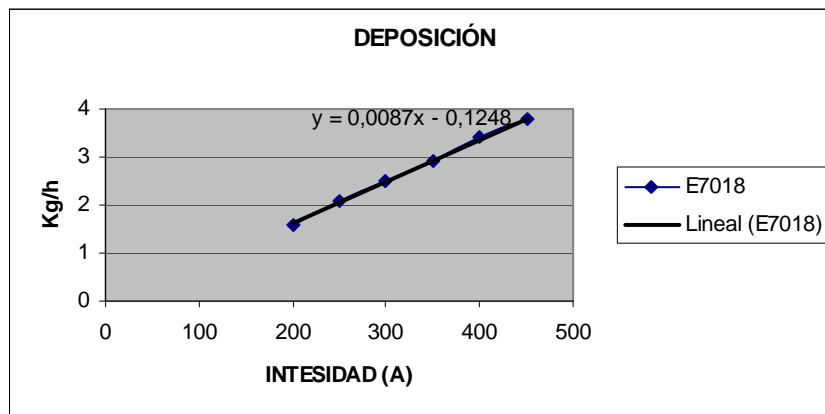
**E6027**

INTENSIDAD	DEPOSICIÓN
250	3,6
300	4,3
350	5
400	5,6
450	6,2

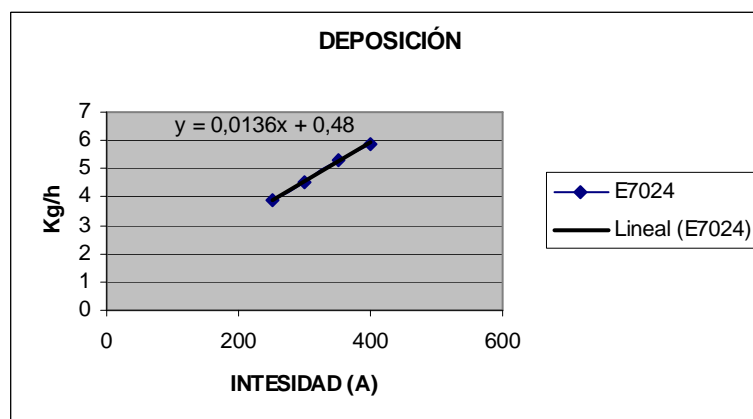


E7018

INTENSIDAD	DEPOSICIÓN
200	1,6
250	2,1
300	2,5
350	2,9
400	3,4
450	3,8

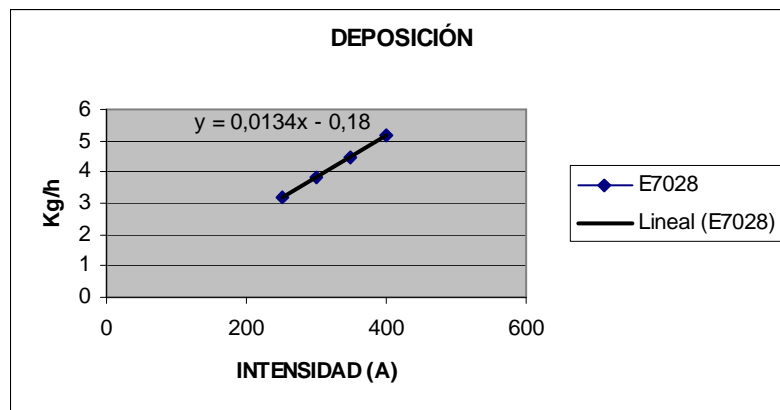
**E7024**

INTENSIDAD	DEPOSICIÓN
250	3,9
300	4,5
350	5,3
400	5,9



E7028

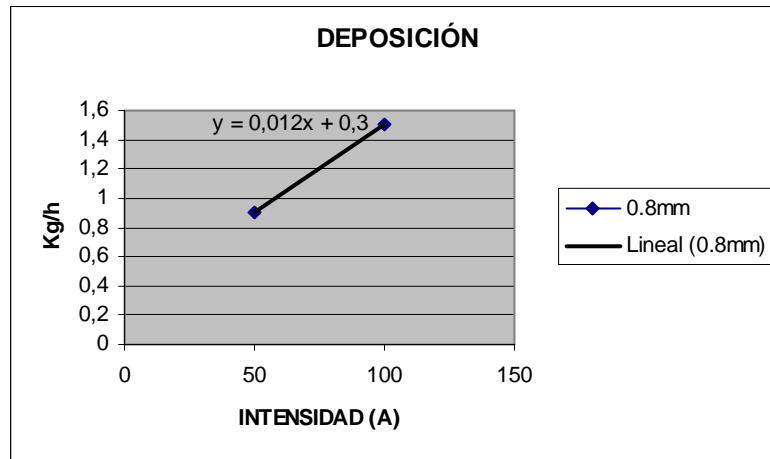
INTENSIDAD	DEPOSICIÓN
250	3,2
300	3,8
350	4,5
400	5,2



9.3.2 PROCESO GMAW

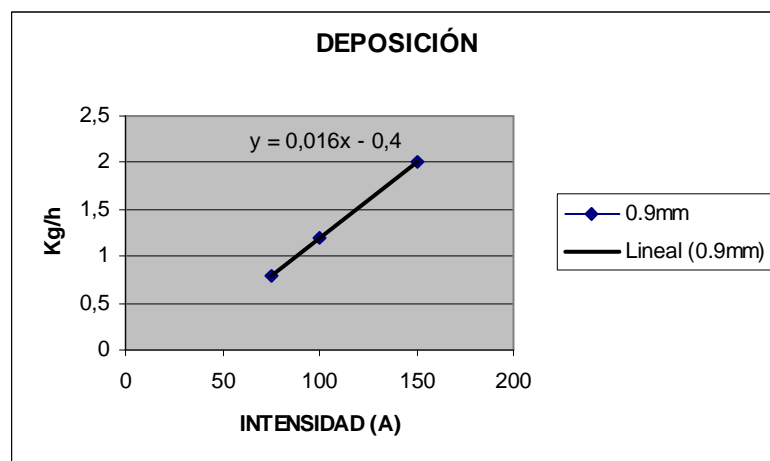
D = 0.8mm

INTENSIDAD	DEPOSICIÓN
50	0,9
100	1,5



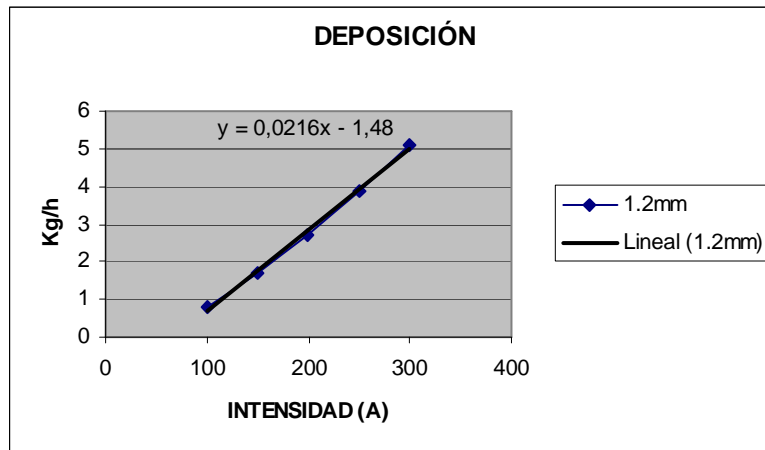
D = 0.9mm

INTENSIDAD	DEPOSICIÓN
75	0,8
100	1,2
150	2



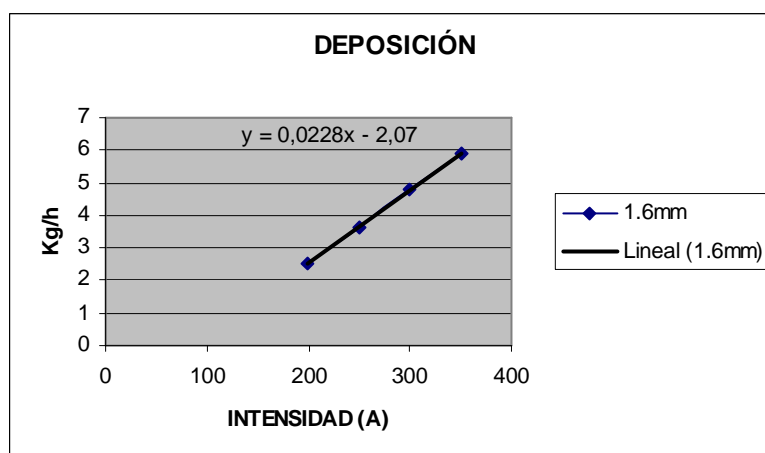
D = 1.2mm

INTENSIDAD	DEPOSICIÓN
100	0,8
150	1,7
200	2,7
250	3,9
300	5,1



D = 1.6mm

INTENSIDAD	DEPOSICIÓN
200	2,5
250	3,6
300	4,8
350	5,9



9.4 ANEXO 4

PRINCIPALES VARIABLES QUE SE DEBEN CONSIDERAR CUANDO SE USA EL PROCESO GMAW PARA LAS SOLDADURAS

Tabla 9.6 Composición Química típica de los alambres marca INDURA

	INDURA	Especif. AWS
Carbón	0,09%	0,06/0,15
Manganeso	1,45%	1,40/1,85
Silicio	0,95%	0,80/1,15
Fósforo	< 0,02%	0,025 máx.
Azufre	< 0,02%	0,035 máx.

Tabla 9.7 Propiedades mecánicas con diferentes gases

	Medida	Alambre INDURA gas aplicado 100% CO ₂	Alambre INDURA gas aplicado 75% Ar - 25% CO ₂	Alambre INDURA gas aplicado 80% Ar - 20%CO ₂	Especif. AWS gas aplicado 100% CO ₂
Resist.tracción	MPa	520	535	530	480
Resist. fluencia	MPa	440	450	450	400
Alargamiento	% en 50 mm	28%	31%	32,8%	22% min.
Charpy-V -20°C	Joules	50,2	54,0	56,4	27 min.

Tabla 9.8 Tabla de Valores recomendados para el proceso GMAW

Diámetro (mm)	Entrega de material (mm)	Corriente (Amps)	Voltaje (Volts)	Velocidad alambre (m/min)	Flujo gas (l/min)
0,8	0,6	30 - 50	16 - 17	1,3 -1,8	8 - 10
	0,8	35 - 60	16 - 17,5	1,3 - 2,0	8 - 11
	0,9	40 - 70	17 - 18	1,5 - 3,0	9 - 11
0,9	1,3	70 - 90	18 - 19	3,0 - 3,6	10 - 12
	1,6	80 - 110	19 - 20	3,3 - 3,8	11 - 13
	2,0	120 - 130	20 - 21	3,6 - 4,1	11 - 14
1,2	3,2	120 - 180	20 - 22	4,6 - 6,1	11 - 16
	4,7	160 - 180	21 - 22	5,1 - 6,1	14 - 17
	6,4	190 - 200	22 - 23	6,4 - 7,1	14 - 17
	7,9	200 - 210	23 - 24	7,0 - 7,4	14 - 17
	9,4	220 - 250	24 - 25	7,5 - 8,9	14 - 17
	12,7	240 - 260	28 - 29	8,4 - 9,5	14 - 17
1,6	19,0	280 - 300	30 - 32	4,6 - 5,1	17 - 19

9.5 ANEXO 5

COSTOS ACTUALES DE DIFERENTES EQUIPOS USADOS EN LA CONSTRUCCIÓN DE ESTRUCTURAS METÁLICAS

9.6 ANEXO 6

CALCULO DE UNA ESTRUCTURA METÁLICA DE EDIFICIO

Resistencia de una estructura metálica usando los elementos estructurales mostrados en la Tabla 7.7. Para el ejemplo de cálculo se usa la siguiente configuración armada:

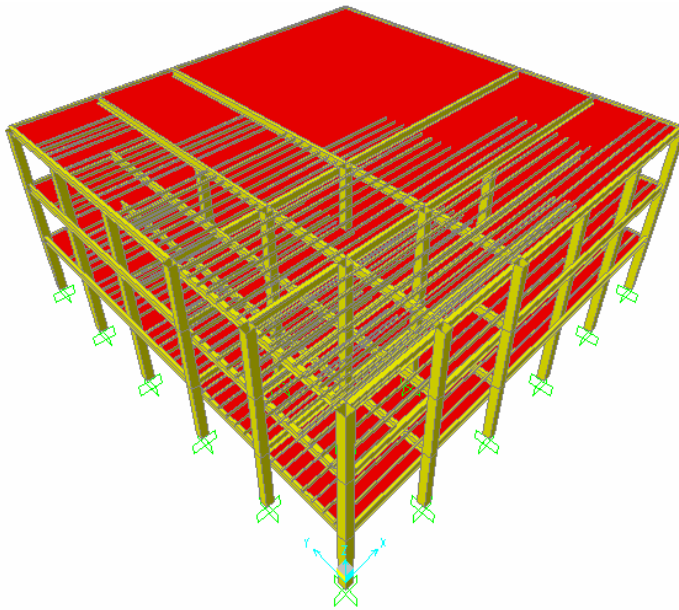


Fig. 9.2 Vista general de la estructura

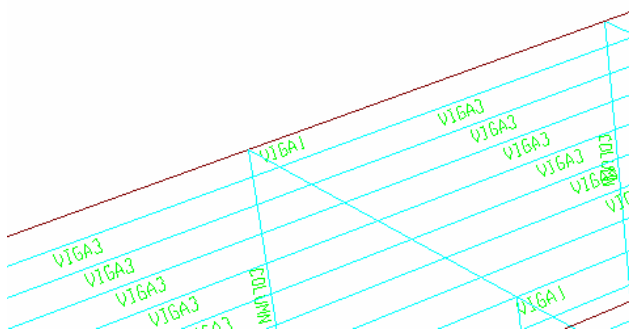


Fig. 9.3 Configuración usada en la estructura

La estructura mostrada cubre un área de 400 m², tiene tres plantas idénticas, con una loza de 10 cm. de espesor. Donde: viga 1 es una viga principal, viga 3 es una viga terciaria, y column es una columna.

En la siguiente figura se muestra la magnitud de los esfuerzos a los que la estructura se encuentra sometida.

En la cual se indica el inverso de factor de seguridad, en el cual se tiene que mientras los elementos sean de color cian o verde, el diseño es completamente confiable. Pero si se acerca demasiado al color rojo o anaranjado, significa falla inminente o posibilidad de falla.

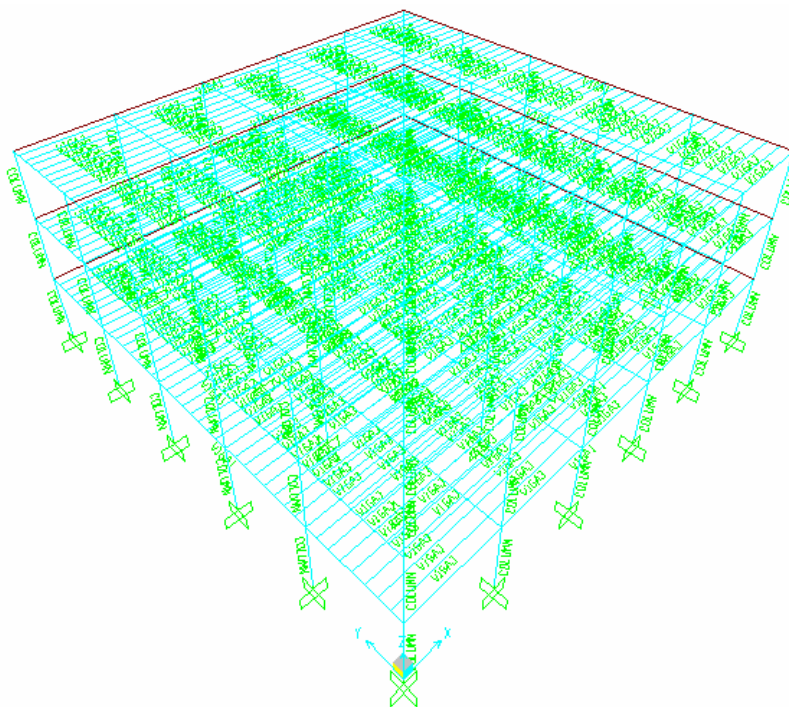


Fig. 9.4 Factor de diseño de la estructura y verificación de diseño

A continuación se muestra la tabla de elementos necesarios para la construcción de dicha estructura

	Section Text	ObjectType Text	NumPieces Unitless	TotalLength m	TotalWeight Kgf
▶	COLUMN	Frame	108	324	34586.04
	VIGA1	Frame	36	720	23328.63
	VIGA3	Frame	525	2100	9593.11
	loza	Area			288332.36

Fig. 9.5 Lista de materiales por sección transversal

En base a esta tabla y conociendo los costos de cada uno de estos elementos se puede establecer el costo total de la estructura en materia prima.

9.6.1 ANALISIS DE FUERZAS Y MOMENTOS EN UN ELEMENTO ESTRUCTURAL

A continuación se presenta el diagrama de esfuerzos para una viga principal, con los valores de momentos en las reacciones, se puede determinar el tamaño de las soldaduras que se requiere para soportar la carga señalada.

En la siguiente figura se muestra en la parte derecha los máximos valores y su ubicación a lo largo de la viga, en base a estos valores se puede diseñar una soldadura. En el capítulo 4 se hace el cálculo de las soldaduras con ayuda de los valores mostrados en la Fig. 9.6.

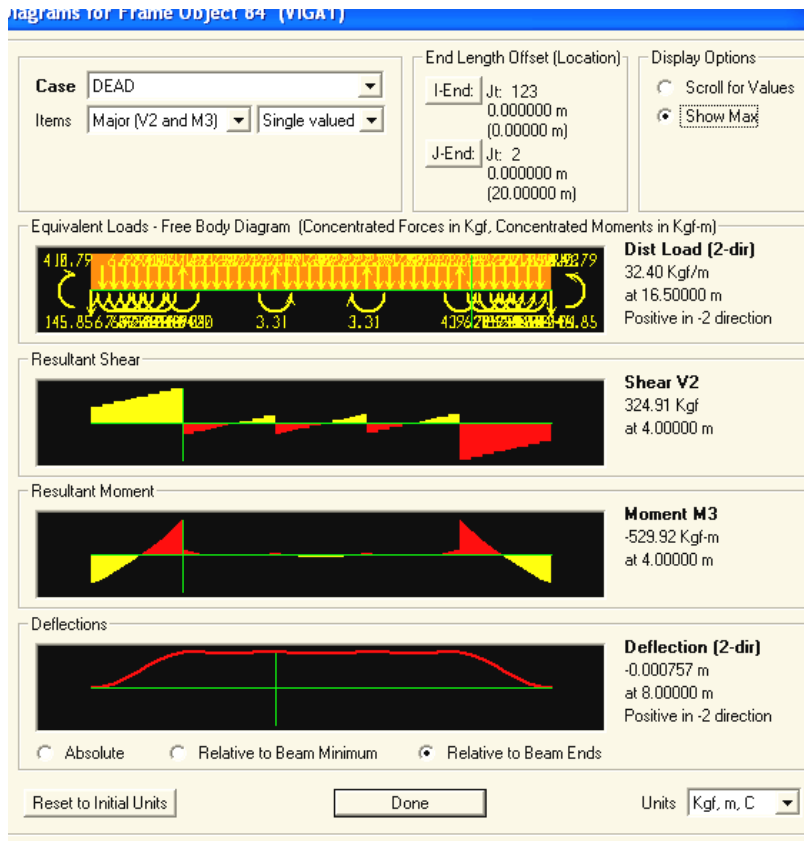


Fig. 9.5 Diagrama de momentos para una viga principal.

Otra utilidad de este programa es la posibilidad del uso de diferentes normas para el diseño de las estructuras, en función del material, tipo, uso, o se puede variar con el uso de una misma norma, pero de diferente versión. Para el caso antes analizado se usa la norma LRFD 99, pero se pueden usar por ejemplo la LRFD 93 o 97, entre otras.

BIBLIOGRAFIA

- Brockenbrough Roger; Merrit frederick; Diseño de estructuras de acero; Mc Graw Hill; Colombia; 1997; segunda edición
- Galambos Theodore; Lin F J, Johnston Bruce; Diseño de estructuras de acero con LRFD; Prentice hall; Mexico; 1999
- Mc Cormac; Diseño de estructuras de acero metodo LRFD; Alfaomega; mexico; 1989; cuarta edición
- Mc Cormac; Diseño de estructuras de acero metodo ASD; Alfaomega; mexico; 1989; cuarta edición
- Bresler Boris; Lin T Y; Scalzi John; Diseño de estructuras de acero; Limusa; México; 1990; Novena edición
- Manual del AISC, Illinois, Octava edición, 1980
- R L O`Brien, AWS. Manual de Soldadura, Tomos I, II, III
- AWS D1.1 Edición 2002
- Horwitz, Henry; Soldadura Aplicaciones y Práctica; Alfaomega; México
- Davis, Hammer; Ensaye e Inspección de Materiales