

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

ESCUELA DE INGENIERÍA

**ESTUDIO DE LA OPTIMIZACIÓN DE PROCESOS DE
FABRICACIÓN DE VIGAS Y COLUMNAS METÁLICAS SOLDADAS
PARA ESTRUCTURAS DE EDIFICIOS**

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

**DIEGO EDUARDO VALAREZO PIEDRA
OSCAR OSWALDO VILLAGRÁN GUTIÉRREZ**

DIRECTOR: ING. MIGUEL VILLACRÉS

Quito, Noviembre 2006

CAPÍTULO 1

FUNDAMENTOS DE DISEÑO DE ESTRUCTURAS METÁLICAS

1.1 INTRODUCCIÓN

Los elementos que componen una estructura metálica están sometidos a la acción de diferentes tipos de esfuerzos.

Es función del diseñador asegurar que el fabricante reciba todas las especificaciones técnicas tales como: Tipo de material, espesores, tolerancias, dimensiones de soldadura, deformaciones permisibles y demás requerimientos necesarios.

Sin embargo es de fundamental importancia entender la función y el comportamiento de los diferentes miembros estructurales, para la correcta interpretación y aplicación de normas, códigos o especificaciones de fabricación.

1.2 DIAGRAMA ESFUERZO DEFORMACIÓN¹

El mayor esfuerzo que puede soportar el material sin deformarse permanentemente es llamado *límite elástico*.

Al esfuerzo que corresponde un decisivo incremento en el alargamiento sin el correspondiente incremento en esfuerzo se conoce como *límite de fluencia* (σ_y), en aceros este valor corresponde al 0,2 % de la deformación plástica del material cuando no se puede identificar el punto de fluencia, es el punto más importante del acero ya que los procedimientos para diseñar elásticamente están basados en este valor.

¹ [McCORMAC, Jack C.; Diseño de Estructuras Metálicas]

La deformación que ocurre antes del punto de fluencia se conoce como deformación elástica (recupera su longitud original cuando se retira la carga), la deformación que ocurre luego de este punto se conoce como deformación plástica (queda deformada permanentemente).

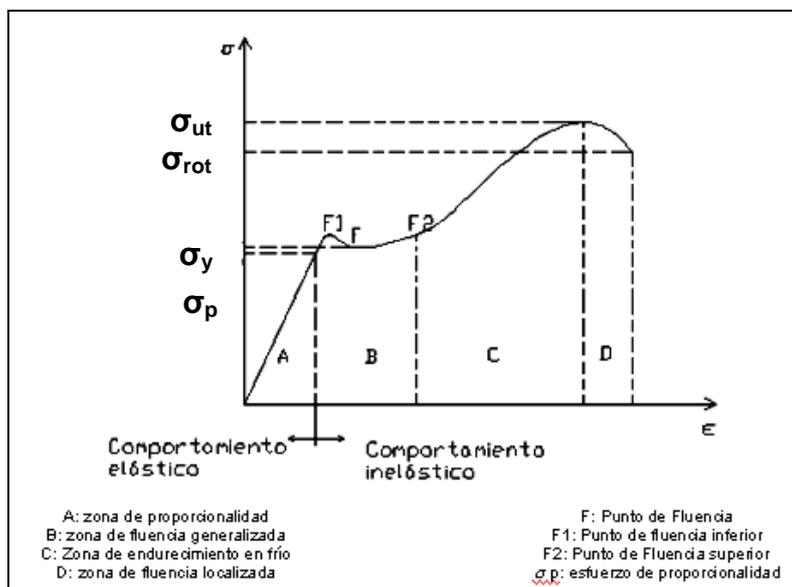


Figura 1.1. Diagrama Esfuerzo – Deformación para Acero Dúctil, Curva Ingenieril

Donde:

σ_p = Esfuerzo de proporcionalidad (elástico)

σ_y = Esfuerzo de fluencia (0,2 % de la deformación del material)

σ_{ut} = Esfuerzo último a la tracción (máximo)

σ_{rot} = Esfuerzo de rotura

La curva de esfuerzo deformación mostrada en la Figura 1.1 corresponde a una curva típica de un acero usual dúctil y se supone que es la misma para miembros en tensión y compresión.

El *Límite de proporcionalidad* (σ_p) es el mayor esfuerzo para el cual tiene aplicación la Ley de Hooke (punto más alto sobre la porción de línea recta del diagrama esfuerzo-deformación).

Luego de la deformación plástica; existe una zona donde es necesario un esfuerzo adicional para producir deformación adicional, que es llamada de endurecimiento por deformación (acritud).

La curva continuará hasta el esfuerzo correspondiente a la resistencia final o resistencia a la tracción (σ_{ut}) y luego descenderá, antes de la ruptura (σ_{rot})

Un diagrama típico de esfuerzo-deformación para un acero frágil se indica en la Figura 1.2, esta muestra muy poca deformación permanente al fracturarse, desgraciadamente la baja ductilidad o fragilidad es una propiedad asociada comúnmente con las altas resistencias de los aceros.

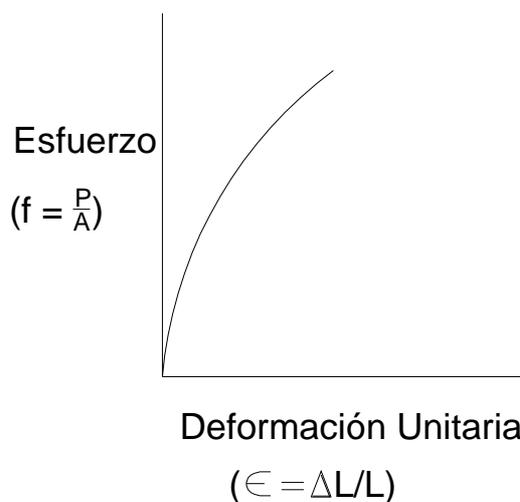


Figura 1.2. Diagrama Esfuerzo-Deformación para Acero Frágil

1.3 PRINCIPALES TIPOS DE ESFUERZOS

Los principales tipos de esfuerzos a los que están sometidos los miembros estructurales son: Tensión, Compresión, Torsión, Flexión, Esfuerzos Combinados.

1.3.1 ESFUERZOS A TENSIÓN¹

Un elemento está sometido a un esfuerzo de tensión cuando sobre él actúa una fuerza externa perpendicular a su sección transversal que tiende a estirarlo, disminuyendo su sección transversal.

¹ McCORMAC, Jack C.; Diseño de Estructuras Metálicas

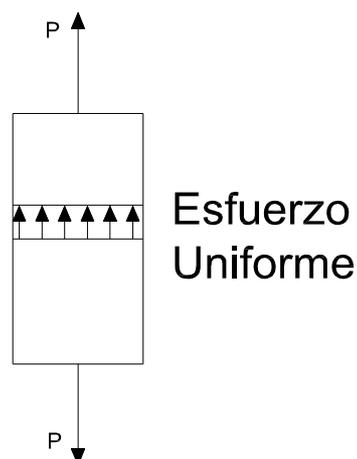


Figura 1.3. Elemento Sometido a Tensión

Para el cálculo de los esfuerzos de tensión la relación es:

$$\sigma_t = \frac{P}{A}$$

Donde:

σ_t = Esfuerzo de tensión Kg / cm² (Psi)

P= Fuerza de tensión aplicada, Kg.

A= Área de la sección transversal, cm².

Los miembros sujetos a tensión usualmente se forman de ángulos sencillos, pares de ángulos, canales, perfiles de patín ancho, o secciones compuestas con placas y perfiles laminados. Estos miembros son más rígidos y fáciles de conectar. Otro tipo de perfiles utilizados a menudo son las placas y las soleras soldadas sujetas a tensión, cuyo uso es muy satisfactorio en torres de transmisión, puentes para peatones y estructuras similares.

Los ángulos sencillos y los pares de ángulos (espalda a espalda o en estrella) son probablemente los tipos más frecuentes de miembros sujetos a tensión, las Te estructurales se usan en forma satisfactoria para armaduras, sobre todo son soldadas por la gran facilidad de conectar en ellas las piezas del alma.

Aunque los perfiles estructurales laminados son más económicos que los perfiles armados, estos son utilizados cuando el diseñador no obtiene el área o la rigidez suficiente con los perfiles simples.

En la Figura 1.4 se ilustran algunos tipos de diferentes miembros de uso común sujetos a tensión, las líneas entre cortadas representan las placas de unión o soleras utilizadas para unir los perfiles.

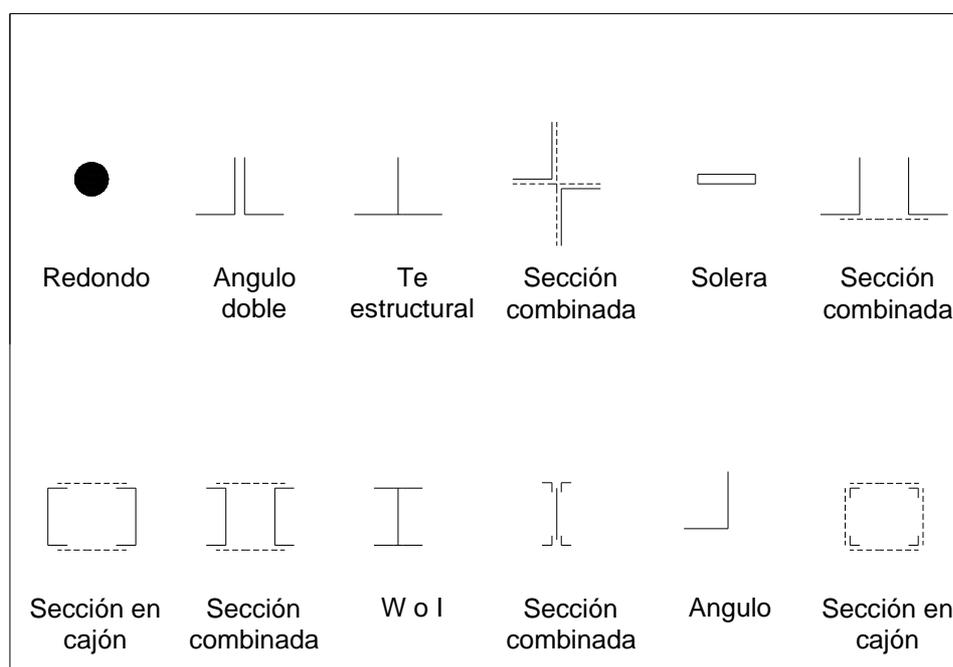


Figura 1.4. Tipos de Miembros Sujetos a Tensión

Para construcción de edificios las Normas AISC (sección 1.5.1.1) señala que el valor del esfuerzo admisible en tensión sea del 60% del límite de fluencia pero sin que exceda del 50% de la resistencia a la ruptura en tensión. Estos esfuerzos admisibles se usaran en la sección neta de los miembros, con excepción de la sección transversal que contenga agujeros para pasadores, en donde el esfuerzo permisible se reduce al 45% del límite de fluencia y siempre en la sección neta.

Tabla 1.1. Esfuerzos Permisibles en Tensión según Normas AISC¹

Límite de Fluencia Mínimo σ_y		Esfuerzo de Tensión Admisible en la Sección Neta			
		Excepto en la sección con agujero para pasador 60% del σ_y		En sección con agujeros para pasadores instalados o miembros armados 45% del σ_y	
Ksi	Kg/cm ²	Ksi	Kg/cm ²	Ksi	Kg/cm ²
36	2530	22	1550	16.2	1140
42	2950	25.2	1770	19	1340
45	3160	27	1900	20.3	1430
50	3520	30	2110	22.5	1580
55	3870	33	2320	24.8	1740
60	4220	36	2530	27	1900
65	4570	39	2740	29.3	2060
90	6330	52.5*	3690	40.5	2850
100	7030	57.5*	4040	45	3160

* Controlado por el 50% de σ_{ut} (esfuerzo último a la tensión)

Nota: Revisar el Código de la AISC

1.3.1.1 Tipos de Empalmes para Miembros Sujetos a Tensión

El empalme en un miembro sujeto a tensión tiene por objeto la continuación del miembro en el punto donde se corta.

El AISC señala que el diseño debe hacerse para el valor mayor que resulte de calcular el esfuerzo máximo o el 50 % de la resistencia del miembro.

La excentricidad de las cargas es un problema en el empalme de ángulo sencillo, en este tipo de empalme puede ser posible mantener los centros de gravedad (cdg) alineados en una dirección como se ve en la parte a) de la Figura 1.5, pero no en la otra dirección, parte b)

¹ [McCORMAC, Jack C.; Diseño de Estructuras Metálicas, Pág. 37]

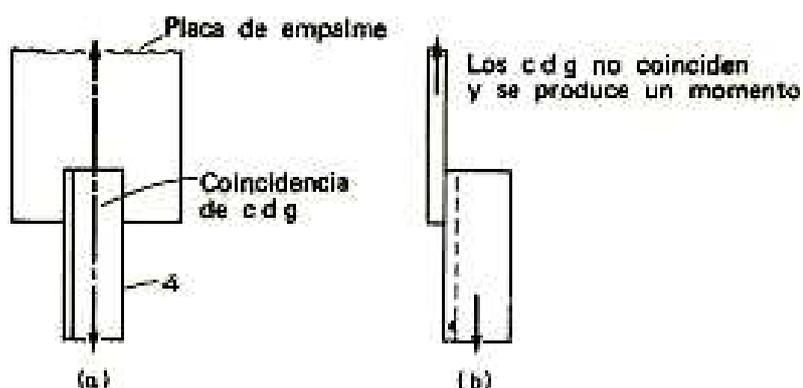


Figura 1.5. Junta de Empalme Sencillo

Este tipo de unión es uno de los peores y debe evitarse. En la Figura 1.6 se indican algunos tipos de empalmes de miembros sujetos a tensión:

- a) Un ángulo con una placa, es el método menos eficiente.
- b) El empalme se hace con otro ángulo, debe tener un espesor mayor que el ángulo por empalmar con el fin de tener la misma área, es una de las mejores uniones.
- c) Con un ángulo de oreja, este ángulo reducirá los esfuerzos por flexión ocasionados por la excentricidad en el miembro y rigidizará ligeramente la conexión.
- d) y e) Los empalmes pueden ser a tope o escalonados

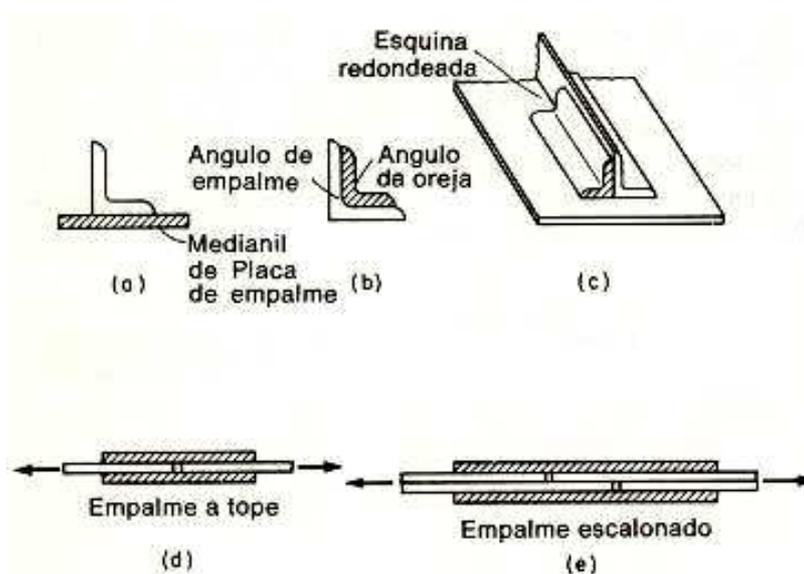


Figura 1.6. Tipos de Empalmes

1.3.2 ESFUERZOS A COMPRESIÓN

Un elemento está sometido al esfuerzo de compresión cuando actúan sobre él dos fuerzas que poseen: la misma dirección (sobre una misma línea), sentido contrario y son convergentes. Es decir, están dirigidas hacia un mismo punto. ²

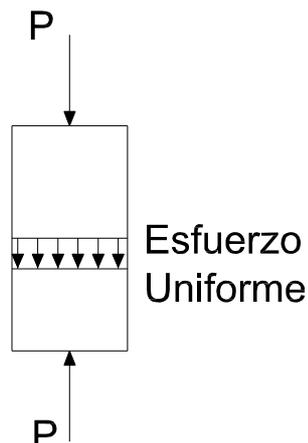


Figura 1.7. Elemento Sometido a Compresión

Para el cálculo de los esfuerzos de compresión la relación es:

$$\sigma_c = \frac{P}{A}$$

Donde:

σ_c = Esfuerzo de Compresión, Kg / cm², (Psi).

P = Fuerza de compresión aplicada, Kg

A = Área de la sección transversal, cm².

Hay dos diferencias significativas entre miembros sujetos a tensión y los sujetos a compresión¹:

1. Las cargas de compresión tienden a pandearla a la pieza fuera del plano de las cargas.

² BLODGETT, Omer W., Design of Welded Structures

¹ McCORMAC, Jack C.; Diseño de Estructuras Metálicas

2. La presencia de agujeros para remaches o pernos en los miembros sujetos a tensión, reduce el área disponible para resistir a las cargas, pero en los miembros sujetos a compresión se considera que los remaches o pernos llenan los agujeros y el área total queda disponible para resistir la carga.

Las secciones utilizadas como miembros sujetos a compresión son con frecuencia semejantes a aquellas utilizadas como miembros sujetos a tensión, con algunas excepciones. Los redondos, barras, placas, son usualmente demasiado flexibles para funcionar satisfactoriamente como miembros sujetos a compresión, a menos que sean muy cortos y estén poco cargados.

El número de perfiles que se puede seleccionar para cargas a compresión son muchos, sin embargo las soluciones posibles queda limitado estrictamente por consideraciones como: secciones disponibles, problemas de conexión, y tipos de estructuras en los que se utilizara la sección.

En la Figura 1.8 se puede ver los tipos de secciones a compresión más utilizados.

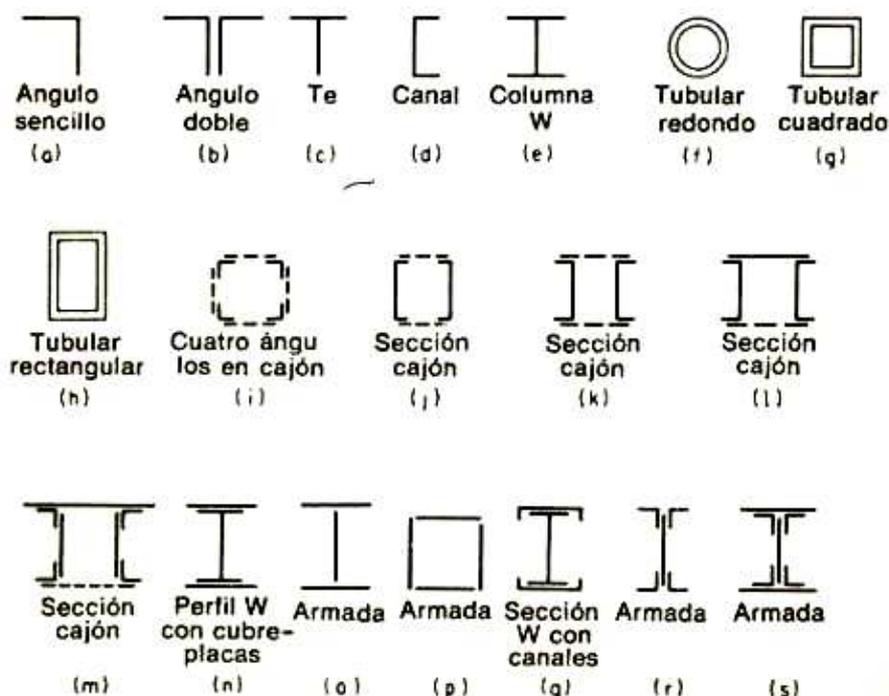


Figura 1.8. Tipos de Miembros a Compresión

Mientras más larga es una columna para la misma sección transversal, mayor es su tendencia a pandear y menor su capacidad de carga, la tendencia de un miembro al pandeo se mide por su *relación de esbeltez*.

1.3.3 ESFUERZOS DE TORSIÓN ²

La carga de torsión es la aplicación de una fuerza que tiende a causar que el miembro gire alrededor del eje axial.

La torsión generalmente se la conoce como momento torsor o Torque (T), el cual es producto de una fuerza externa aplicada y un brazo. El brazo es la distancia de la línea de centros de rotación desde la línea de fuerza y perpendicular a esta.

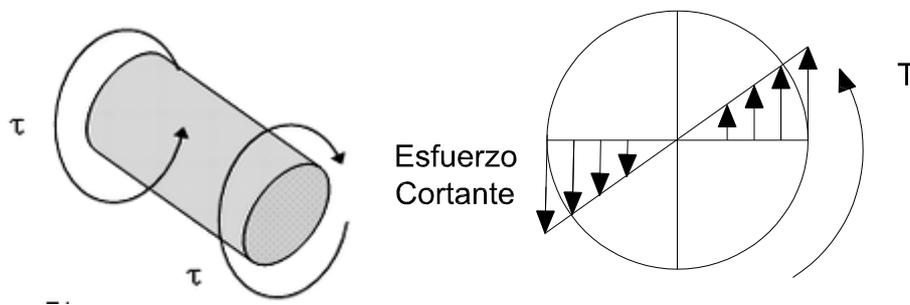


Figura 1.9. Elemento sometido a Torsión

La deflexión causada por la torsión es medida por el ángulo de giro o por el movimiento vertical de una esquina de la sección.

Para secciones circulares uniformes sujetas a un giro o momento torsor (torque) el resultado del esfuerzo cortante es:

$$\tau = \frac{T c}{J}$$

τ = esfuerzo cortante, Kg / cm², (Psi).

c = distancia del centro de la sección a la fibra exterior, cm (pulg).

T = Torque, Kg-cm, (lbs-pulg).

$T = F * d$

² BLODGETT, Omer W., Design of Welded Structures

F= Fuerza Externa Aplicada Kg (lbs)

d= Brazo, cm (pulg).

J = momento polar de inercia, cm^4 (pulg^4).

$$= I_x + I_y = 2I$$

I= momento de inercia

El ángulo de giro de la sección es:

$$\theta = \frac{T L}{E_s J}$$

θ = Angulo de giro en radianes

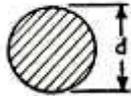
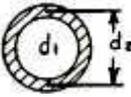
L= Longitud de la sección, cm (pulg).

E_s = Módulo de Elasticidad en corte, (Para el acero $E_s = 843600 \text{ Kg/cm}^2$, o $E_s = 12,000,000 \text{ Psi}$)

El esfuerzo último al corte se asume que está en el orden del 75% de la resistencia última a la tensión del material.

La Tabla 1.2 muestra las formulas del esfuerzo cortante y la resistencia a la torsión para diferentes secciones.

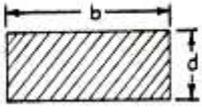
Tabla 1.2 Propiedades de Torsión para diferentes Secciones ²

Sección	Esfuerzo Cortante	Resistencia a la Torsión (R)
	$\tau = \frac{16 T}{\pi d^3}$	$R = 0.0982 d^4$
	$\tau = \frac{16 T d_2}{\pi (d_2^4 - d_1^4)}$	$R = 0.0982 (d_2^4 - d_1^4)$
	$\tau = \frac{3 T}{\pi d t^2}$	$R = 1.0472 t^3 d$
	$\tau = \frac{4.8 T}{d^3}$	$R = 0.1406 d^4$

² BLODGETT, Omer W., Design of Welded Structures, Pág. 2.10-2

Para secciones rectangulares se debe tomar en cuenta la relación ancho – alto de la sección transversal, la cual nos proporciona los valores de α y β , los mismos que se utilizan para hallar el esfuerzo cortante y la resistencia a la torsión como se indica en la Tabla 1.3

Tabla 1.3 Propiedades de Torsión para varias Secciones ²

Sección	Esfuerzo Cortante						Resistencia a la Torsión (R)					
	$\tau = \frac{T}{\alpha b d^2}$						$R = \beta b d^3$					
	$\frac{b}{d} =$	1.00	1.50	1.75	2.00	2.50	3.00	4.00	6	8	10	∞
	α	.208	2.31	.239	.246	.258	.267	.282	.299	.307	.313	.333
	β	.141	.196	.214	.229	.249	.263	.281	.299	.307	.313	.333

1.3.4 ESFUERZOS A FLEXIÓN ¹

Se obtiene cuando se aplican sobre un cuerpo una fuerza perpendicular a su eje longitudinal, que tiende a doblarlo.

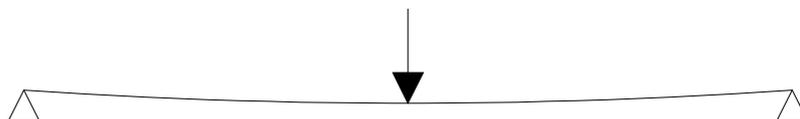


Figura 1. 10. Elemento sometido a Flexión

Para calcular el momento flector máximo:

$$\sigma = \frac{M c}{I}$$

Donde

σ = Esfuerzo de Flexión , Kg/cm ², (Psi)

M = Momento máximo de la sección, Kg-cm, (Lb-pulg).

c = Distancia desde el eje neutro hasta la fibra exterior, cm, (pulg.)

I = momento de inercia de la sección transversal, cm ⁴, (pulg⁴)

¹ McCORMAC, Jack C.; Diseño de Estructuras Metálicas

El valor de I/c es constante para una sección en particular y es conocido como módulo de sección por lo tanto:

$$\frac{M}{\sigma} = \frac{I}{c} = S = \text{módulo de sección}$$

El AISC da diferentes valores de esfuerzo permisible a la flexión para diferentes condiciones, para la mayoría de los casos es:

$$\sigma_b = 0.66 \sigma_y$$

σ_b = Esfuerzo Permisible a la flexión

Esta expresión se usa para perfiles compactos laminados en caliente o para secciones compuestas.

Entendiéndose por sección compacta a aquella que es capaz de desarrollar la totalidad de su momento plástico antes de que ocurra cualquier falla por pandeo local.

Para perfiles no compactos las normas AISC permiten un esfuerzo admisible de flexión de:

$$\sigma_b = 0.60 \sigma_y$$

Para que la sección sea compacta, las especificaciones AISC establecen que, la relación semi-ancho del patín a espesor del mismo no debe exceder de $52.2 \sigma_y$.

Si la relación resulta mayor de $95 \sqrt{\sigma_y}$, el valor del esfuerzo permisible se puede evaluar por medio de una relación lineal entre los valores de $0,66 \sigma_y$ y $0,60 \sigma_y$ por medio de la fórmula:

$$\sigma_b = \sigma_y \left[0.733 - 0.0014 \left(\frac{b_f}{2t_f} \right) \sqrt{\sigma_y} \right]$$

El propósito de esta fórmula es evitar el cambio brusco de valores del esfuerzo permisible.

En el Anexo 1. Se indican las distintas distribuciones de cargas con distintos apoyos en los extremos, ecuaciones de momentos, deflexión, cortante máximo.

1.3.5 ESFUERZOS CORTANTES¹

Es el esfuerzo al que está sometida una pieza cuando las fuerzas aplicadas tienden a cortarla o desgarrarla, no es constante a lo largo de la sección transversal, es nulo en la fibra más alejada y es máxima en el Eje neutro.

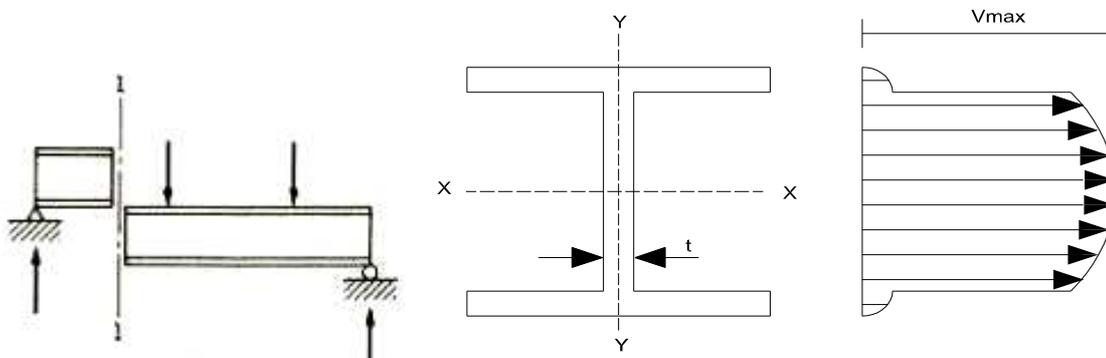


Figura 1.11 Elemento sometido a Corte

La fórmula que permite conocer el esfuerzo cortante unitario en cualquier punto.

$$v = \frac{VQ}{bI}$$

Donde:

V= fuerza cortante en la sección considerada, Kg (lbs)

Q= momento estático de la porción de la sección que queda arriba de la recta paralela al eje neutro que contienen el punto para el cual se desea v , tomado con respecto al eje neutro.

I= momento de inercia de la sección total con respecto al eje neutro, cm^4 (pulg⁴)

b= ancho de la sección donde se calcula el esfuerzo cortante unitario, cm (pulg)

Los esfuerzos cortantes pueden resultar excesivos, en las siguientes situaciones:

1. Cuando se aplican cargas concentradas intensas en los apoyos de las vigas que ocasionan fuerzas cortantes sin los correspondientes incrementos en los momentos flexionantes.

¹ McCORMAC, Jack C.; Diseño de Estructuras Metálicas

2. El caso más común de esfuerzo cortante intenso ocurre cuando dos o más miembros (como vigas y columnas) se conectan rígidamente de tal manera que sus almas queden en el mismo plano.
3. Ocurren concentraciones de esfuerzos en vigas despatinadas.
4. Teóricamente ocurren altos esfuerzos cortantes en vigas cortas y fuertemente cargadas.
5. El esfuerzo cortante puede ser problema cuando se trata de perfiles de alma muy delgada o cuando son perfiles laminados en frío hechos de calibre delgado

Siempre que los esfuerzos cortantes calculados excedan de los admisibles deben reforzarse las zonas sobrecargadas con rigidizadores o placas que aumenten el espesor de las almas de los perfiles.

Según la AISC el esfuerzo cortante permisible es de $0,40 \sigma_y$

1.3.6 ESFUERZOS COMBINADOS

Ciertos elementos estructurales están sujetos a la acción de dos o más tipos de esfuerzos, es decir, un elemento puede trabajar simultáneamente con esfuerzos axiales (compresión, tracción) y a la vez puede estar sometido a flexión y corte. Cuando esto sucede se dice que el elemento se encuentra trabajando con esfuerzos combinados; en este caso se debe analizar cual es la sección crítica y que tipo de esfuerzo influye en mayor magnitud sobre ésta. El diseño de un elemento sometido a esfuerzos combinados se hace en base a la sección crítica y al esfuerzo que predomine sobre la misma.

CAPÍTULO 2

ESTRUCTURAS DE ACERO PARA EDIFICIOS

2.1 INTRODUCCIÓN

La diversidad de diseños estructurales que pueden existir para un determinado tipo de requerimientos conlleva a distintas formas y dimensiones de los elementos estructurales.

En el presente capítulo se realiza un análisis de los diferentes tipos de vigas y columnas existentes, así como los tipos de perfiles o secciones disponibles en el mercado.

Además se detallan las principales ventajas y desventajas en el uso de vigas armadas con respecto a las laminadas.

2.2 VENTAJAS DEL ACERO ESTRUCTURAL¹

El acero es uno de los materiales estructurales de mayor versatilidad debido a que presenta las siguientes características:

- **Alta Resistencia:** El acero posee gran resistencia por unidad de peso, lo cual permite estructuras relativamente livianas, esto es de gran importancia en la construcción de puentes, edificios y estructuras cimentadas en suelos blandos.
- **Homogeneidad:** Las propiedades del acero no varían en gran magnitud con el transcurso del tiempo ni tampoco cambian con la localización en los elementos estructurales.
- **Elasticidad:** El acero sigue la ley de Hooke inclusive para esfuerzos relativamente altos. Debido a esta propiedad los momentos de inercia de una estructura de acero pueden ser calculados con mucha precisión.
- **Ductilidad:** La naturaleza dúctil de los aceros estructurales, les permiten fluir localmente en los lugares en que están sometidos a concentraciones

¹ McCORMAC, Jack C.; Diseño de Estructuras Metálicas

de esfuerzos elevados, de ésta forma se pueden prevenir fallas catastróficas.

- **Tenacidad:** El acero tiene la capacidad de absorber grandes cantidades de energía en deformación (elástica e inelástica).
- **Precisión dimensional:** Los perfiles laminados están fabricados bajo estándares que permiten establecer de manera muy precisa las propiedades geométricas de la sección.
- **Durabilidad:** Las estructuras de acero, con un mantenimiento adecuado pueden durar indefinidamente.
- **Facilidad de unión con otros miembros:** El acero en perfiles se puede conectar fácilmente a través de pernos o soldadura con otros perfiles.
- **Rapidez de montaje:** La velocidad de construcción en acero es muy superior al del resto de los materiales.
- **Ampliación de estructuras existentes:** Las estructuras de acero se prestan para fines de ampliación. Nuevos tramos y en ocasiones secciones totalmente nuevas pueden añadirse a las estructuras de acero de edificaciones ya existentes.
- **Costo de recuperación:** Las estructuras de acero de desecho, tienen un costo de recuperación en el peor de los casos como chatarra de acero. El acero es un material 100% reciclable.
- **Se pueden prefabricar estructuras:** El acero permite realizar la mayor parte posible de una estructura en taller y la mínima en obra consiguiendo mayor exactitud y rapidez en el montaje.

2.3 DESVENTAJAS DEL ACERO ESTRUCTURAL ¹

- **Corrosión:** El acero expuesto a intemperie sufre corrosión por lo que debe ser protegido con pinturas anticorrosivas exceptuando a los aceros especiales como el inoxidable.
- **Calor:** La resistencia del acero estructural se reduce notablemente a las temperaturas que se alcanzan durante los incendios. A pesar de que el acero es incombustible. En el caso de incendios, el calor se propaga

¹ McCORMAC, Jack C.; Diseño de Estructuras Metálica

rápidamente por las estructuras haciendo disminuir su resistencia hasta alcanzar temperaturas donde el acero se comporta plásticamente, debiendo protegerse con recubrimientos aislantes del calor y del fuego (retardantes) como mortero, concreto, yeso, etc. Se conoce como “CREEP” a la deformación lenta que experimenta un material que ocurre en un periodo de tiempo cuando un metal se encuentra sometido a un esfuerzo constante a elevada temperatura, la deformación se produce incluso cuando el esfuerzo aplicado es menor que el de fluencia.

2.4 ACEROS ESTRUCTURALES ³

Los aceros estructurales se pueden clasificar en tres grandes grupos: los aceros al carbón; los aceros de baja aleación y alta resistencia y los aceros aleados tratados térmicamente para construcción.

Existen otros grupos que no se incluyen porque actualmente no han quedado cubiertos por la normas ASTM ni incluidos por las especificaciones AISC.

Estos grupos son: los aceros al carbón de alta resistencia tratados térmicamente (con límite de fluencia que varía de 4 900 a 5 600 kg/cm² o 70 000 a 80 000 psi) y los aceros de súper - alta resistencia (con límite de fluencia que varía de 11 200 a 21 000 kg/ cm² o 160 000 a 300 000 psi); muchos de estos aceros no son adecuados para propósitos de construcción, ya sea por el alto costo del material y de la fabricación, porque no tienen la suficiente ductilidad, o porque carecen de tenacidad adecuada. Este tipo de aceros se usan para cascos de submarinos, proyectiles y equipo espacial, o aplicaciones en ferrocarriles. Un grupo de estos aceros, denominados “aceros maraging”, deriva sus elevadas resistencias de fluencia y tensión de un alto contenido de aleación de níquel, el cual es tratado después térmicamente para envejecer la martensita hierro-níquel.

2.4.1 ACEROS ESTRUCTURALES AL CARBONO¹:

Estos aceros tienen perfectamente controlados el carbón y el manganeso, elementos de los cuales depende principalmente su resistencia. El acero más común de este grupo es el A36, cuyo límite de fluencia es 2520 kg/cm², (36 000

³ BRESLER, Lin y Scalzi, Diseño de Estructuras de Acero

¹ McCORMAC, Jack C.; Diseño de Estructuras Metálicas

psi) y es perfectamente adecuado para fabricar estructuras para edificios y puentes por procesos de soldadura o empernado

Entre los principales aceros estructurales al carbón se tienen:

Tabla 2.1. Propiedades mecánicas de los aceros estructurales al carbono ⁴

Tipo ASTM	Espesor cm. (pulg)	Esfuerzo de fluencia		Resistencia a la tensión		Elongación %	
						En 5 cm (2 pulg).	En 20 cm (8 pulg).
		Kg/cm ²	kpsi	Kg/cm ²	kpsi		
A36	Hasta 20 (8)	2530	36	4077-5624	58 – 80	23 – 21	20
	Mayor a 20 (8)	2245	32	4077-5624	58 – 80	23	20
A573							
Grado 58	Hasta 3,9 (1½)	2245	32	4077-4991	58 – 71	24	21
Grado 65	Hasta 3,9 (1½)	2461	35	4570-5413	65 – 77	23	20
Grado 70	Hasta 3,9 (1½)	2953	42	4921-6327	70 – 90	21	18

2.4.2 ACEROS DE BAJA ALEACIÓN Y ALTA RESISTENCIA ¹

Además de contener manganeso y carbono, la resistencia de estos aceros se debe a que usan como elementos de aleación columbio, vanadio, cromo, silicio, cobre, níquel y otros. Este tipo de aceros incluye varios niveles de resistencias.

Tabla 2.2. Propiedades mecánicas de los aceros de baja aleación y alta resistencia ⁴

Tipo ASTM	Espesor cm (pulg)	Esfuerzo de fluencia		Resistencia a la tensión		Elongación %	
						En 5 cm (2 pulg).	En 20 cm (8 pulg).
		Kg/cm ²	kpsi	Kg/cm ²	kpsi		
A242	Hasta 1,9 (¾)	3515	50	4921	70	21	18
	Más de 1,9 a 3,8 (¾ a 1½)	3234	46	4710	67	21	18
	Más de 3,8 a 10 (1½ a 4)	2953	42	4423	63	21	18
A588	Hasta 10 (4)	3515	50	4921	70	21	18
	Más de 10 a 13 (4 a 5)	3234	46	4710	67	21	18
	Más de 13 a 20 (5 a 8)	2953	42	4423	63	21	–
A572							
Grado 42	Hasta 15 (6)	2953	42	4218	60	24	20
Grado 50	Hasta 10 (4)	3515	50	4570	65	21	18
Grado 60	Hasta 3 (1¼)	4218	60	5273	75	18	16
Grado 65	Hasta 3 (1¼)	4570	65	5624	80	17	15

⁴ BROCKENBROUGH, Roger, Manual de Diseño de Estructuras de Acero, 1997, pag. 1.3.

2.4.3 ACEROS ALEADOS TRATADOS TÉRMICAMENTE PARA LA CONSTRUCCIÓN ¹

Contienen elementos de aleación en mayor cantidad que los de baja aleación y alta resistencia y además se tratan térmicamente (por revenido y templado), para obtener aceros tenaces y resistentes. Se enlistan en las normas ASTM con la designación A514 y tienen límites de fluencia de 6300 a 7030 kg/cm² (90000 a 100 000 psi) dependiendo del espesor.

Tabla 2.3. Propiedades mecánicas de los aceros aleados tratados térmicamente ⁴

Tipo ASTM	Espesor cm. (pulg)	Esfuerzo de fluencia		Resistencia a la tensión		Elongación %	
		Kg/cm ²	[kpsi]	Kg/cm ²	[kpsi]	En 5 cm	En 20
						(2 pulg).	(8 pulg).
A514	Hasta 6,4 (2½)	7030	100	7733-9139	110 – 130	18	–
	Más de 6,4 a 15 (2½ a 6)	6327	90	7030-9139	100 – 130	16	–

Este tipo de aceros son soldables y tienen una resistencia a la corrosión atmosférica equivalente a la del doble del acero estructural al carbono.

En el Anexo 2 se puede apreciar los diferentes tipos de aceros más comúnmente utilizados en construcción y sus utilidades.

En realidad existen miles de aceros que se producen diariamente para servir a un sin número de necesidades; muchos de estos aceros no son adecuados para propósitos de construcción debido al alto costo del material y de la fabricación.

2.5 CLASIFICACIÓN DE LAS ESTRUCTURAS ³

Las estructuras metálicas se clasifican en dos grupos:

- Estructuras de cascarón
- Estructuras reticulares

¹ McCORMAC, Jack C.; Diseño de Estructuras Metálicas

⁴ BROCKENBROUGH, Roger, Manual de Diseño de Estructuras de Acero, 1997, pag. 1.3.

2.5.1 ESTRUCTURAS DE CASCARÓN³

Están constituidas de placas o láminas, como por ejemplo: tanques de almacenamiento, silos, cascos de buques, carros de ferrocarril, aeroplanos y cubiertas de cascarón para edificios grandes.

La característica fundamental de las estructuras de cascarón es que la lámina o placa desempeña dos funciones, por un lado hace de cubierta funcional mientras que por otro se constituye en elemento principal de carga.

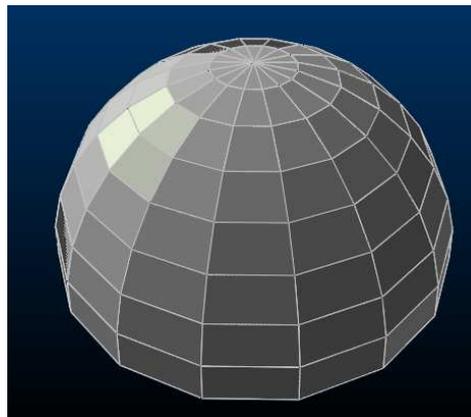


Figura.2.1 Estructura de Cascarón

En realidad las estructuras de cascarón no son ampliamente utilizadas en estructuras metálicas.

2.5.2 ESTRUCTURAS RETICULARES³

Son aquellas que se encuentran constituidas de conjuntos de miembros alargados, como por ejemplo: armaduras, marcos rígidos, vigas principales, etc.

Los miembros principales de este tipo de estructuras se usan únicamente para la transmisión de las cargas.

Una estructura reticular está compuesta de miembros estructurales convenientemente unidos. Un miembro estructural puede ser un perfil laminado estándar o bien formado por varios perfiles unidos entre si por soldadura, o pernos.

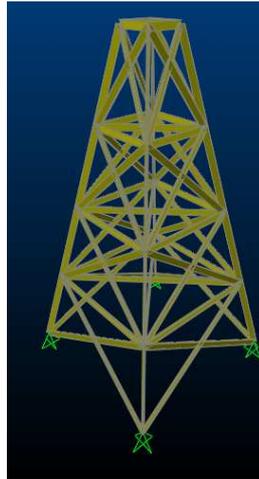


Figura 2.2 Estructura Reticular

2.6 TIPO DE MIEMBROS ESTRUCTURALES ³

Los miembros estructurales se clasifican de acuerdo a la carga que pueden transmitir; así se tienen cuatro tipos principales de elementos estructurales:

- Tensores, transmiten cargas de tensión.
- Columnas, transmiten cargas de compresión.
- Trabes o vigas, transmiten cargas de flexión.
- Ejes, transmiten cargas de torsión.

Sin embargo, es raro encontrar elementos estructurales sometidos únicamente a la acción de una de estas cargas. Casi todos los elementos estructurales se hallan sometidos a la acción de esfuerzos combinados, en este caso se tiene que una de las cargas es la que afecta en mayor magnitud al elemento estructural y será la que gobierne el diseño.

Los elementos que componen las estructuras metálicas se fabrican en diferentes formas; a la sección transversal perpendicular al eje longitudinal se le denomina perfil. Los perfiles de acero se identifican por la forma de su sección transversal. Las formas de perfil más comunes son las que se muestran en la Figura 2.3.

³ BRESLER, Lin y Scalzi, Diseño de Estructuras de Acero

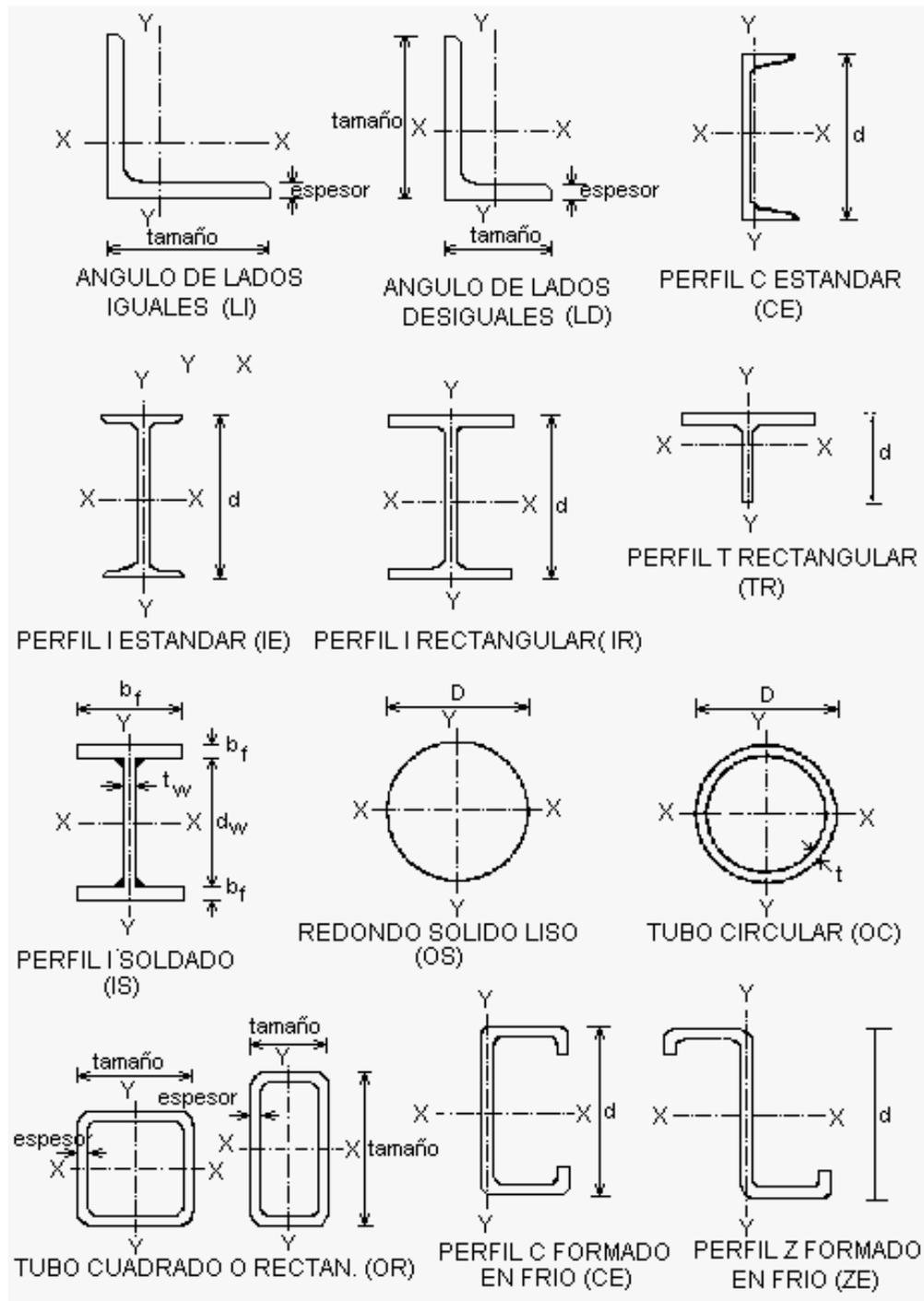


Figura 2.3. Principales secciones de elementos estructurales

Pero no son las únicas, pues se tienen en el mercado una amplia variedad de perfiles, ángulos, pletinas y chapas metálicas.

2.6.1 TIPOS DE PERFILES ⁵

Según la nomenclatura de la AISC:

Tabla 2.4 Nomenclatura de la AISC

Nomenclatura	Significado
W	Indica que el patín tiene las caras externa e interna paralelas
HP	Indica que el patín tiene las caras externa e interna paralelas pero el espesor del alma es el mismo que el del patín
S y C	Tienen una pendiente en el lado interno del patín de aproximadamente $16 \frac{2}{3} \%$
M	Designa perfiles que no pueden ser clasificados como W, HP, o S
MC	Designa canales que no pueden clasificarse como C
L	Perfiles angulares que pueden tener lados iguales o desiguales.
Nota: M y MC son fabricados por un determinado número de productores y no se encuentran frecuentemente disponibles.	

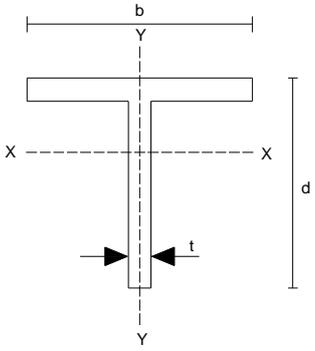
El espesor del patín dado en las Tablas de la AISC para los perfiles S, M, C y MC es el promedio del espesor real de cada patín.

A continuación se detallan los tipos de perfiles más comúnmente utilizados en aplicaciones estructurales.

- **Perfil T:** Es muy usual en la construcción, se coloca con las alas hacia abajo, de manera que puedan apoyarse sobre él elementos constructivos.

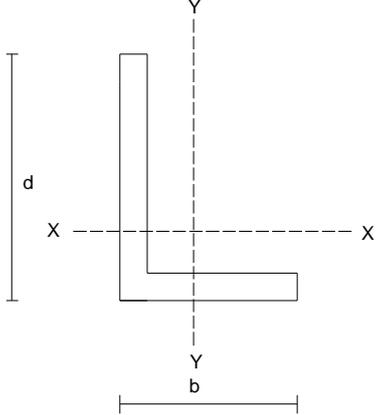
⁵ AISC, Manual of Steel Construction, New Cork, 1969

Tabla 2.5 Perfil T

Perfil T	Especificación
	<p>d = altura</p> <p>b = ancho</p> <p>t = espesor</p> <p>Designación:</p> <p>WT $A * P$, donde:</p> <p>A = Altura nominal en cm(Pulg).</p> <p>P = Peso en Kg (Lb) por pío lineal</p>

- **Perfil L o angular:** Es un perfil cuya sección es un ángulo recto. Se utiliza mucho en la construcción de estructuras metálicas, en la parte de cubiertas.

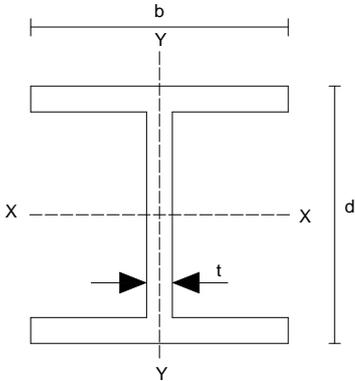
Tabla 2.6 Perfil L

Perfil L	Especificación
	<p>d = altura</p> <p>b = ancho</p> <p>Designación:</p> <p>L $d * b * t$, donde:</p> <p>d = lado en cm(Pulg).</p> <p>b = lado en cm (Pulg).</p> <p>t = espesor en cm (pulg).</p>

- **Perfil W:** Es necesario, establecer una clara distinción entre los perfiles estándares laminados, y los perfiles de patín ancho, ya que ambos tienen sección en I. El lado interno de los patines de un perfil W, puede ser

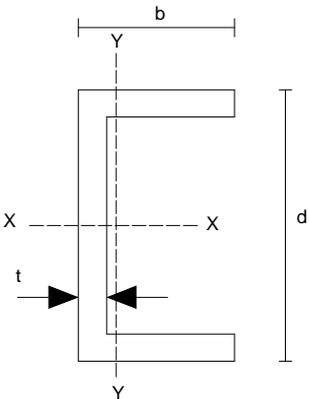
paralelo al lado externo, o casi paralelo, con una pendiente máxima de 5% en la superficie interior. Los perfiles laminados W tienen una pendiente en el lado interno del patín de $16 \frac{2}{3}\%$

Tabla 2.7 Perfil W

Perfil W	Especificación
	<p>D = altura</p> <p>b = ancho</p> <p>t = espesor</p> <p>Designación:</p> <p>W d * P , donde:</p> <p>D = Altura nominal en cm (Pulg).</p> <p>P = Peso en Kg (Lb) por pie lineal</p>

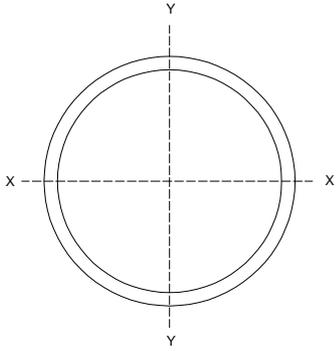
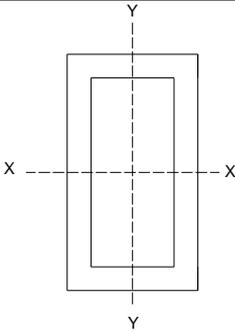
- **Canales o Rieles (Perfil Tipo C):** La sección de estos componentes consiste en una C con flancos abiertos.

Tabla 2.8 Perfil C

Perfil C	Especificación
	<p>d = altura</p> <p>b = ancho</p> <p>t = espesor</p> <p>Designación:</p> <p>C d * P , donde:</p> <p>d = Altura nominal en cm (Pulg).</p> <p>P = Peso en Kg (Lb) por pie lineal</p>

- **Tubos:** Elementos estructurales redondos, cuadrados o rectangulares.

Tabla 2.9 Tubo Estructural

Tubo Estructural	Especificación
 <p>Diagrama de un tubo estructural redondo. Se muestran dos círculos concéntricos que representan el tubo. Una línea horizontal punteada a través del centro está etiquetada como 'X' en ambos extremos. Una línea vertical punteada a través del centro está etiquetada como 'Y' en ambos extremos.</p>	<p>Se especifica únicamente mediante el diámetro nominal</p>
 <p>Diagrama de un tubo estructural rectangular. Se muestran dos rectángulos concéntricos que representan el tubo. Una línea horizontal punteada a través del centro está etiquetada como 'X' en ambos extremos. Una línea vertical punteada a través del centro está etiquetada como 'Y' en ambos extremos.</p>	<p>Se especifica mediante las dimensiones externas</p>

- **Perfiles Armados:** Se denominan perfiles armados a aquellas vigas y/o columnas que se construyen uniendo placas metálicas.

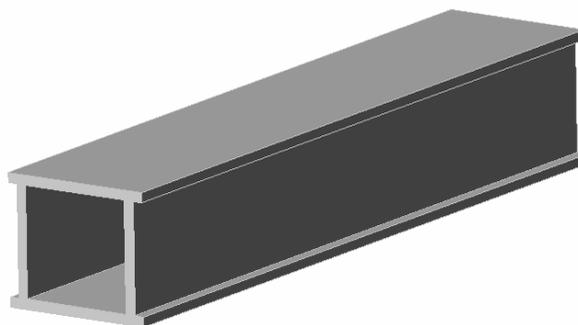


Figura 2.4. Perfil armado

2.7 TIPO DE VIGAS Y COLUMNAS¹

2.7.1 TIPO DE VIGAS

Las Vigas son miembros que soportan cargas perpendiculares a su eje. Las vigas se clasifican en:

2.7.1.1 Vigas en celosía

Consisten total o parcialmente de un entramado diagonal de elementos finos. La celosía se usa para aligerar las vigas de tramos mayores y reducir su costo en material. Para luces y cargas moderadas se utilizan vigas constituidas por perfiles laminados sencillos o múltiples. Para mayores luces o cargas, normalmente se utilizan vigas de celosía.

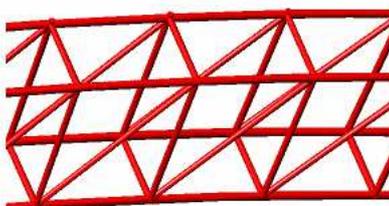


Figura 2.5 Viga de Celosía

Por economía del material se utilizan las vigas de celosía en lugar de las armadas aunque su ejecución requiera mayor mano de obra.

2.7.1.2 Vigas de alma llena

Tienen su alma sólida; las vigas de alma llena pueden ser:

- a. Vigas armadas; mediante chapas soldadas entre sí.
- b. Perfiles laminados sencillos o compuestos;

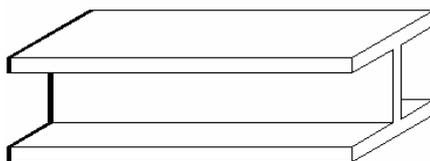


Figura2.6 Viga de Alma Llena

¹ McCORMAC, Jack C.; Diseño de Estructuras Metálicas

Por motivos económicos; se suele preferir el empleo en primer lugar de los perfiles laminados y luego de las vigas armadas.

2.7.2 VIGAS ARMADAS PARA EDIFICIOS²

Se considera a las *vigas armadas* como perfiles realizados a medida con láminas o placas de acero de distintos espesores formadas mediante uniones soldadas y destinadas a salvar grandes luces. Generalmente se acude al uso de vigas armadas cuando no se encuentra el perfil apropiado entre los diversos tipos que existen normalizados en el mercado.

La forma usual de fabricar vigas armadas es por medio de la unión de dos patines soldados a un alma mediante soldadura de filete. Cuando sea necesario, rigidizadores al alma son unidos a uno o ambos lados del alma. Se asume que el patín resistirá todo el momento flector y el alma resistirá todo el esfuerzo cortante.

Las vigas armadas cuadradas son realizadas con soldadura de filete mediante la unión de dos patines con dos almas.

2.7.2.1 Vigas con Agujeros²

Los agujeros son realizados en el alma de las vigas para ductos de trabajo, alivianamiento de peso, optimización del material a utilizar, etc. Si los agujeros son demasiado grandes deben ser reforzados mediante rigidizadores los cuales son utilizados para prevenir que el alma pandee en regiones de grandes esfuerzos cortantes. Los patines soportan la mayoría de fuerzas de flexión, una pérdida en el área del alma no presenta gran problema, sin embargo, la mayor parte de esfuerzo cortante es soportado por el alma, cualquier reducción del área del alma debe ser considerada.

² BLODGETT, Omer W., Design of Welded Structures

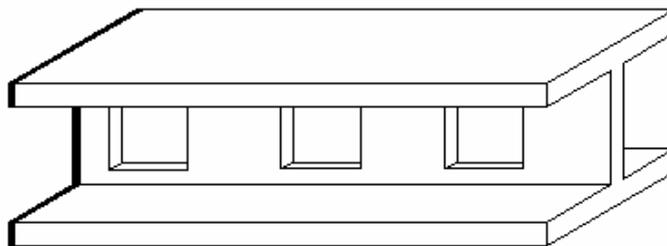


Figura 2.7. Viga con Agujeros

2.7.2.2 Vigas Trapezoidales²

El uso de vigas trapezoidales es empleado especialmente en grandes cubiertas donde es deseable disminuir el número de columnas interiores o eliminarlas del todo. Ello permite ubicar vigas de máxima altura donde sea necesario, mientras se reduce la altura considerablemente en puntos donde no lo es. Las vigas son fabricadas:

1. Por soldadura de dos patines a un alma, o
2. Cortando un perfil W laminado a lo largo del alma a un determinado ángulo, girando una mitad y uniendo extremo con extremo, ver Figura 2.8

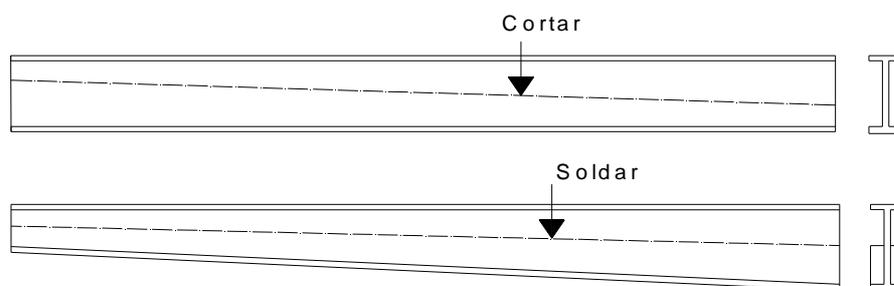


Figura 2.8. Vigas Trapezoidales

2.7.3 PERFILES LAMINADOS⁷

Se define la laminación como el proceso de conformado mediante el cual se transforma el acero en forma de barras de sección cuadrada de varios metros de

² BLODGETT, Omer W., Design of Welded Structures

⁷ ASKELAND, Donald, R., La Ciencia e Ingeniería de los Materiales, Grupo Editorial Iberomérica, México, 1987

largo llamadas palanquillas en barras corrugadas, lisas o perfiles. La laminación es solamente un proceso de transformación del acero de una forma y longitud inicial a una forma final más pequeña y longitud mayor.

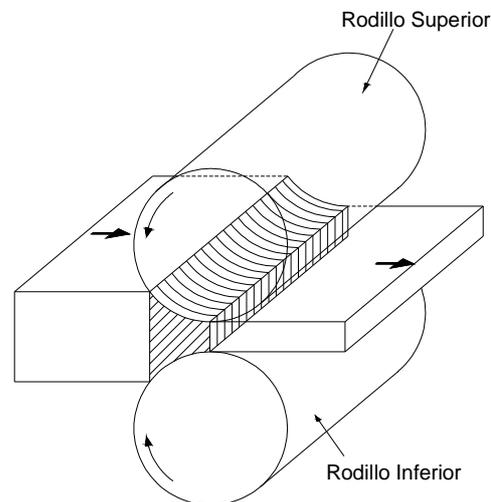


Figura 2.9 Proceso de laminación

La laminación se puede realizar en caliente o en frío.

2.7.3.1 Perfiles Laminados en Caliente

Las palanquillas se colocan en hornos de gas llamados fosas de recalentamiento, en donde permanecen hasta alcanzar una temperatura de trabajo uniforme de alrededor de 1200 °C en todos ellos.

Las palanquillas entonces se llevan al tren de laminación en donde debido a la gran variedad de formas terminadas por hacer, son primero laminadas en formas intermedias.

La mayor deformación toma lugar en el espesor aunque hay algún incremento en el ancho. La uniformidad de la temperatura es importante en todas las operaciones de laminado, puesto que controla el flujo del metal y la plasticidad.



Figura 2.10. Laminación en caliente.

Finalmente los perfiles son llevados a una mesa de enfriamiento ubicada al final de la línea de fabricación para después ser cortadas a la longitud requerida. El uso del agua en las líneas de enfriado (temple) proporciona buenas propiedades mecánicas a los perfiles, así como mejor ductilidad y soldabilidad y una mayor fuerza de rendimiento, comparable a perfiles armados, significando costos más bajos de material.

2.7.1.1.1 Efectos del Laminado en Caliente sobre las Propiedades Mecánicas

El proceso de laminado en caliente se define como la deformación plástica del metal a una temperatura superior a la de recristalización. En el laminado en caliente sólo cambia la forma del metal; la resistencia permanece relativamente sin cambio debido a que no ocurre endurecimiento por deformación. Durante el trabajo en caliente, el metal recristaliza continuamente.

Las características del proceso de laminado en caliente son:

1. No ocurre endurecimiento durante la deformación por trabajo en caliente; en consecuencia, la cantidad de deformación plástica es casi ilimitada.
2. Algunos defectos originales de fundición en el metal pueden ser eliminados o minimizar sus efectos. Los poros de gas pueden cerrarse y soldarse durante el trabajo en caliente.
3. Las propiedades finales en las piezas trabajadas en caliente pueden ser menos uniforme que las de las piezas trabajadas en frío.

4. El acabado superficial es más deficiente que el obtenido por trabajo en frío. El oxígeno puede reaccionar con el metal en la superficie, formando óxidos que son introducidos en la superficie durante el conformado.
5. Es más difícil obtener precisión dimensional en el trabajo en caliente debido a que el metal se contrae durante el enfriamiento.

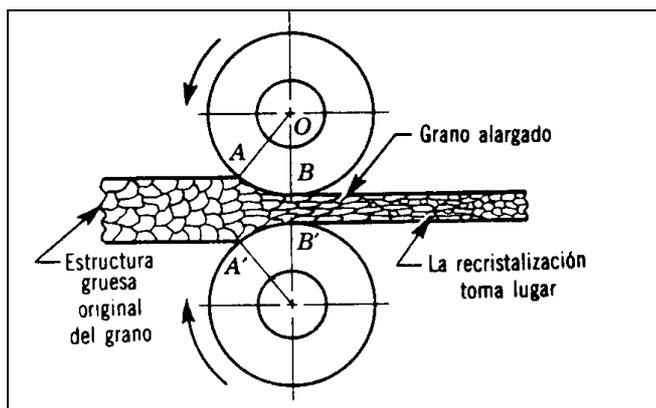


Figura 2.11 Efecto del laminado en caliente sobre la estructura del grano

2.7.3.2 Perfiles Laminados en Frío

Los perfiles laminados en frío son de sección delgada, el proceso de formación en frío se presta para la manufactura de formas especiales para objetos específicos estructurales y para obtener la rigidez máxima de la sección.

Las armazones de puertas, ventanas, particiones, divisiones de pared, uniones de pisos, algunas molduras y formas laminadas se hacen con el proceso de formación en frío.

No existen series normalizadas de secciones estructurales trabajadas en frío de la misma forma que existen para laminación en caliente.

El comportamiento estructural de los perfiles laminados en frío satisfacen los principios clásicos de la mecánica estructural. Pero la distorsión de la sección proveniente de la deformación por pandeo y otros efectos similares debe tenerse en cuenta.

2.7.1.1.2 *Efectos del Laminado en Frío sobre las Propiedades Mecánicas*

En el proceso de laminado en frío la deformación se vuelve cada vez más difícil hasta que cesa, esto se debe a que conforme se aplica un esfuerzo en la región de deformación plástica se producen dislocaciones, las cuales se agrupan en los bordes de grano formando un nudo de dislocaciones.

Propiedades como resistencia a la tracción, límite de elasticidad y dureza aumentan, mientras que la ductilidad disminuye. En el proceso de laminado en frío se produce la deformación de un metal a una temperatura inferior a la de recristalización.

Las características del proceso de laminado en frío son:

1. Se puede simultáneamente endurecer el metal mientras se da la forma final deseada.
2. Se obtienen excelentes tolerancias dimensionales y acabados superficiales.
3. La ductilidad, la conductividad eléctrica y la resistencia a la corrosión se deterioran por el trabajo en frío.
4. Se generan esfuerzos residuales.

2.7.4 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE VIGAS LAMINADAS CON SOLDADAS

VENTAJAS DE VIGAS SOLDADAS

- Resisten elevadas cargas sobre grandes luces.
- Optimización en el uso del material.
- Grandes posibilidades de encontrar soluciones adecuadas cuando se cambia o renueva estructuras existentes.
- Libertad en el diseño y dimensionamiento.
- Se emplean cuando se requiere un área o rigidez que no poseen los perfiles laminados.
- Pueden hacerse suficientemente rígidos, siendo deseables en estructuras donde puedan presentarse inversiones de esfuerzo.

DESVENTAJAS DE VIGAS SOLDADAS

- Se necesita mantenimiento para prevenir la corrosión.
- El acabado superficial es inferior al de las vigas laminadas, siendo esto solamente tomado en cuenta en construcciones arquitectónicas.

VENTAJAS DE VIGAS LAMINADAS

- Acabado Superficial
- Propiedades proporcionadas por los Fabricantes, disponibles en catálogos para el correcto dimensionamiento.
- Vigas de pequeñas dimensiones se pueden conseguir de manera inmediata

DESVENTAJAS DE VIGAS LAMINADAS

- No se encuentran en el mercado perfiles laminados capaces de resistir grandes cargas aplicadas sobre grandes luces
- No se pueden obtener grandes momentos de inercia, con una sola viga.
- Restricciones en diseño y dimensionamiento

2.7.5 TIPO DE COLUMNAS¹

Las columnas son miembros que soportan cargas de compresión, son miembros verticales y rectos, cuyas longitudes son considerablemente mayores que las dimensiones de su sección transversal.

En teoría, se puede seleccionar un sin número de perfiles para resistir con seguridad una carga de compresión en una columna dada. Si embargo, en la práctica, el número de soluciones posibles queda limitado estrictamente por consideraciones tales como: perfiles disponibles, problemas de conexión y tipos de estructura en los que se utilizará la sección.

¹ McCORMAC, Jack C.; Diseño de Estructuras Metálicas

La figura 2.12 muestra los tipos de perfiles más comúnmente utilizados como columnas estructurales.

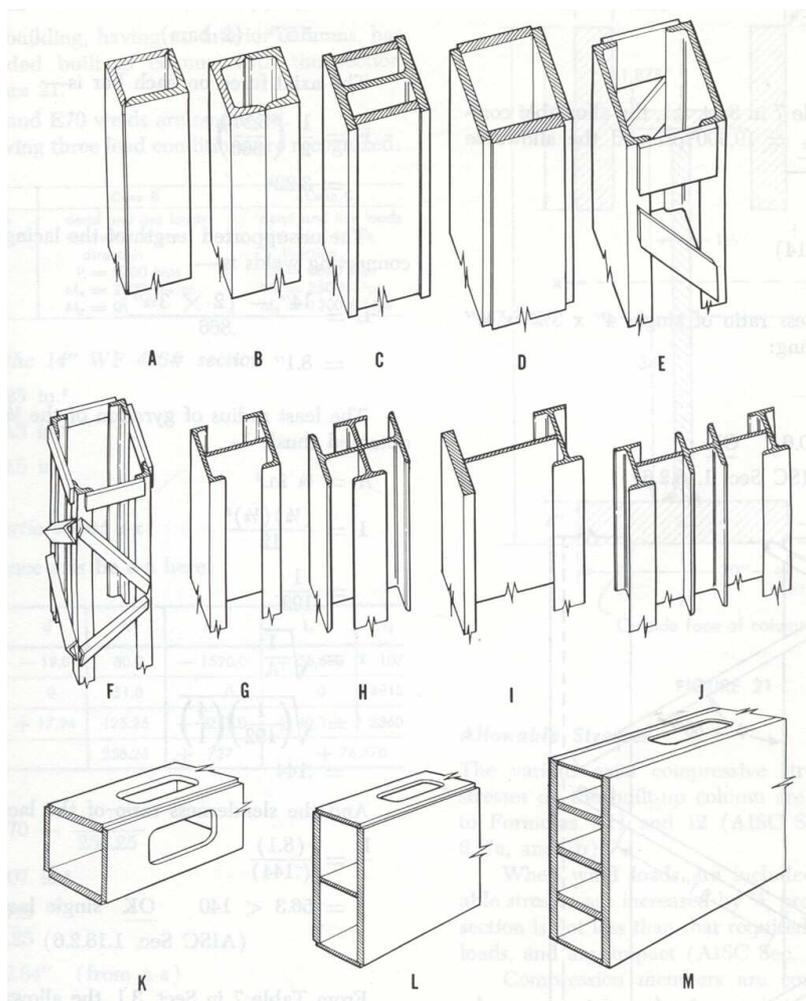


Figura 2.12. Tipo de perfiles más comunes utilizados en columnas estructurales.

Los *perfiles W* son las formas más usadas para columnas de edificios. Esto se debe a que los valores del radio de giro con respecto a los dos ejes, aunque están lejos de ser iguales, están muy cerca del equilibrio.

Los *perfiles tubulares cuadrados y rectangulares* son muy eficientes si son utilizados como columnas; esto se debe a que tienen su radio de giro casi constante con respecto a cualquier eje que pase por su centroide; además sus superficies lisas permiten pintarlos más fácilmente. La principal desventaja de los elementos tubulares es la dificultad que presentan para realizar las conexiones con pernos. Otra desventaja de este tipo de elementos es que sus extremos deben sellarse para proteger de la corrosión sus superficies interiores.

Las secciones compuestas o en cajón se requieren cuando los miembros son largos y soportan cargas muy pesadas y/o cuando hay ventajas en las conexiones. Cuando se utiliza secciones compuestas, deben conectarse en sus lados abiertos, con algún tipo de elemento de unión, para mantener los elementos unidos en la posición correcta y de esta forma permitir que todos los elementos actúen como una unidad. Los extremos de estos miembros se conectan con placas de refuerzo, comúnmente denominadas placas de rigidez.

Se usa cuatro ángulos como se muestra en la figura 2.12 F para obtener grandes valores de radio de giro. Este tipo de columna es muy común en torres y en plumas de grúa.

Un par de canales, figura 2.12 E, se usa como columna de edificio o como miembro de alma en una gran armadura de alma abierta.

Cuando los perfiles laminados no tienen la suficiente resistencia para soportar las cargas de las columnas en un edificio, las áreas se pueden aumentar añadiendo placas por los patines como se muestra en la Figura 2.12 C.

Se usan *columnas armadas* de cuatro placas cuando se trabaja con cargas muy grandes, Figura 2.12 D.

2.8 TIPOS DE CONEXIONES EN ESTRUCTURAS DE EDIFICIOS¹

Las especificaciones AISC para el acero estructural permiten el uso los siguientes tipos de conexiones:

- Por Soldadura o Soldadas
- Con Pernos ordinarios y
- Con Pernos de alta resistencia.

La selección del tipo de junta está sujeta a una serie de factores entre los que pueden citarse: los ordenamientos de los códigos locales de construcción, economía, preferencia del diseñador, disponibilidad de buenos soldadores, condiciones de carga, preferencia del fabricante y equipo disponible.

¹ McCORMAC, Jack C.; Diseño de Estructuras Metálicas

Entre los principales conceptos que se tienen que tomar en cuenta para decidir que tipo de junta es el más conveniente, se tienen los siguientes:

1. Los pernos ordinarios son a menudo económicos para estructuras ligeras sujetas a cargas estáticas pequeñas y para miembros secundarios, para estructuras más grandes.
2. El montaje a base de pernos es muy rápido e incluye mano de obra menos diestra que para soldar o remachar, sin embargo el precio comercial de los pernos de alta resistencia es más alto.
3. Si una estructura va a desarmarse más tarde la soldadura será descartada, utilizándose pernos.
4. Para cargas de fatiga, las juntas con pernos de alta resistencia tipo fricción es excelente, mientras que las juntas soldadas y las de pernos de alta resistencia tipo apoyo son también buenos.
5. La soldadura requiere menores cantidades de acero, proporciona juntas que lucen más atractivas y tienen una zona de aplicación más amplia a diferentes tipos de conexiones.
6. Cuando se desean juntas resistentes a momentos, continuas y rígidas, la soldadura probablemente será seleccionada.
7. La soldadura es casi universalmente aceptada como satisfactoria para el trabajo del taller.

2.8.1 TIPOS DE CONEXIONES EN VIGAS¹

De acuerdo a su tendencia a girar bajo carga, las conexiones pueden ser clasificadas como:

Tabla 2.10. Tipos de Conexiones Según Especificaciones AISC²

		Restricción
Conexión Simple	AISC tipo 2	0 – 20 %
Conexión Semirígida	AISC tipo 3	20 – 90 %
Conexión Rígida	AISC tipo 1	Por encima del 90%

¹ McCORMAC, Jack C.; Diseño de Estructuras Metálicas

² BLODGETT, Omer W., Design of Welded Structures, Pág. 5.1-1

2.8.1.1 Conexiones Simples:

Son muy flexibles y se supone que permiten a los extremos de la viga girar hacia abajo cuando están cargados, como sucede con las vigas simplemente apoyadas y se consideran capaces de resistir solamente fuerza cortante. En la Figura 2.15 se muestran algunos tipos de conexiones simples.

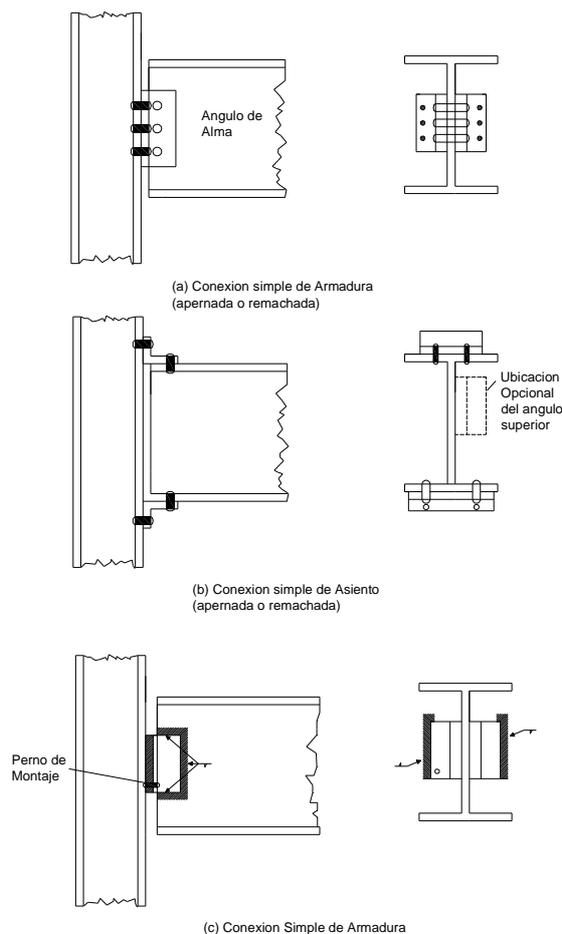


Figura 2.13. Tipos de Conexiones Simples

2.8.1.2 Conexiones Semirígidas

Son aquellas que tienen una apreciable resistencia a la rotación del extremo, desarrollando así momentos en el extremo de consideración.

Las especificaciones AISC sólo permiten la consideración de conexiones semirígidas, cuando se presente evidencia de que son capaces de resistir un cierto porcentaje de momento resistente que proporciona una conexión

completamente rígida. En la Figura 2.14 se pueden ver diversos tipos de conexiones semirígidas.

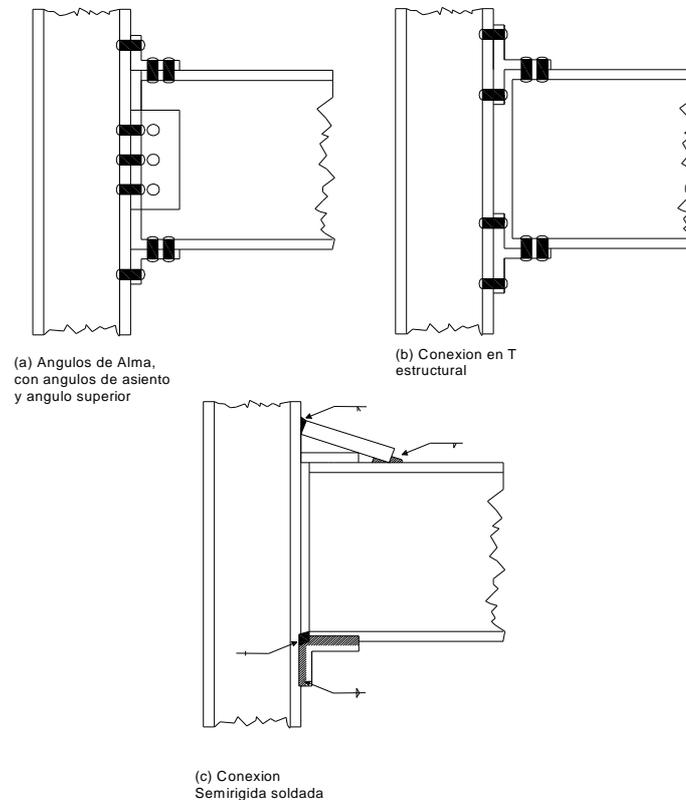


Figura 2.14 Tipos de Conexiones Semirígidas

2.8.1.3 Conexiones Rígidas

Son aquellas que teóricamente no permiten rotación en los extremos de la viga y transfieren el 100 % del momento al empotramiento. Las conexiones de este tipo pueden usarse para edificios altos en los que la resistencia al viento se desarrolla proporcionando continuidad entre los miembros de la estructura del edificio.

En la parte (c) de la Figura 2.15 se muestra una conexión soldada del extremo de una viga que puede ser unida directamente en la columna, aunque esto es posible las dimensiones prácticas no son usualmente lo bastante precisas para permitir el ajuste del otro extremo.

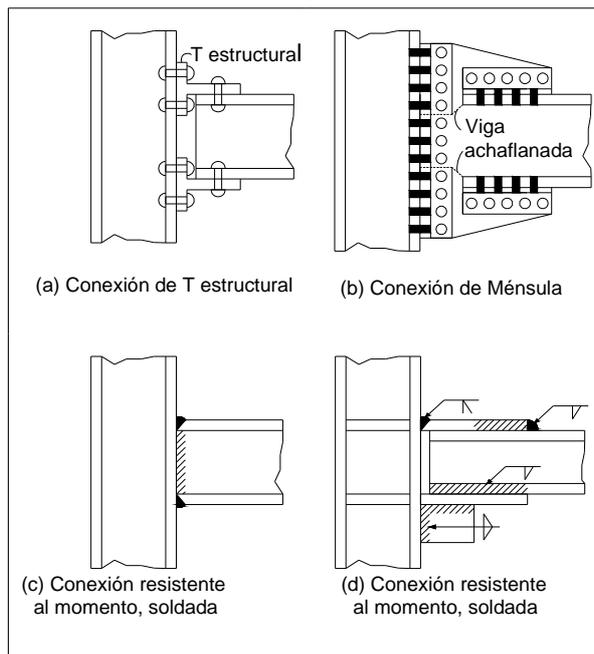


Figura 2.15 Tipos de Conexiones Rígidas

2.8.2 CONEXIONES EMPERNADAS

Estas conexiones son generalmente diseñadas para resistir sólo al corte. Los diferentes tipos de conexiones atornilladas se muestran en la figura 2.16.

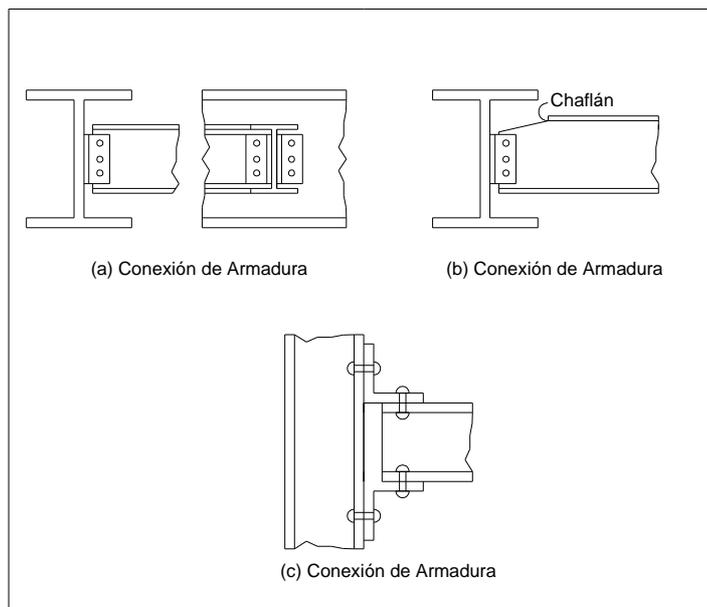


Figura 2.16 Conexiones Empernadas

Para que estas conexiones tengan un momento resistente tan pequeño como sea posible, los ángulos utilizados en la fabricación de las conexiones son usualmente livianos y flexibles, los extremos de las vigas deben estar en libertad de girar hacia abajo, Figura 2.17.

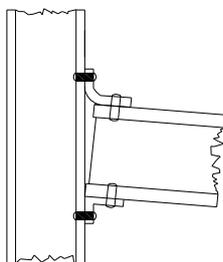
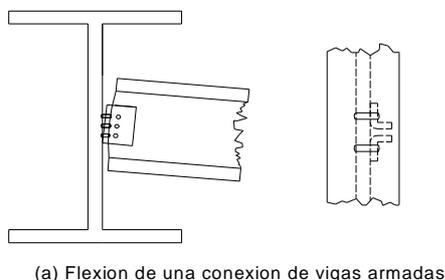


Figura 2.17 Deformación de Ángulos de Unión

2.8.3 TIPOS DE CONEXIONES SOLDADAS, PARA VIGAS

Para diseñar correctamente conexiones soldadas de vigas es importante recalcar:

- La mayoría de los esfuerzos de flexión en vigas se tienen en los patines.
- La mayor parte de las fuerzas de corte en una viga ocurren en el alma.

2.8.3.1 Ángulos Soldados al Alma

Las vigas que trabajan simplemente apoyadas, se conectan a menudo con ángulos en el alma, esta conexión se diseña normalmente para transmitir esfuerzo cortante y un momento tan pequeño como sea posible, reduciendo al mínimo la resistencia a la rotación, en la actualidad es práctica común soldar en el taller los ángulos a las vigas y conectarlos en la obra a las columnas.

El espaciamiento entre columna y alma es aproximadamente $\frac{1}{2}$ " como se muestra en Figura 2.18.

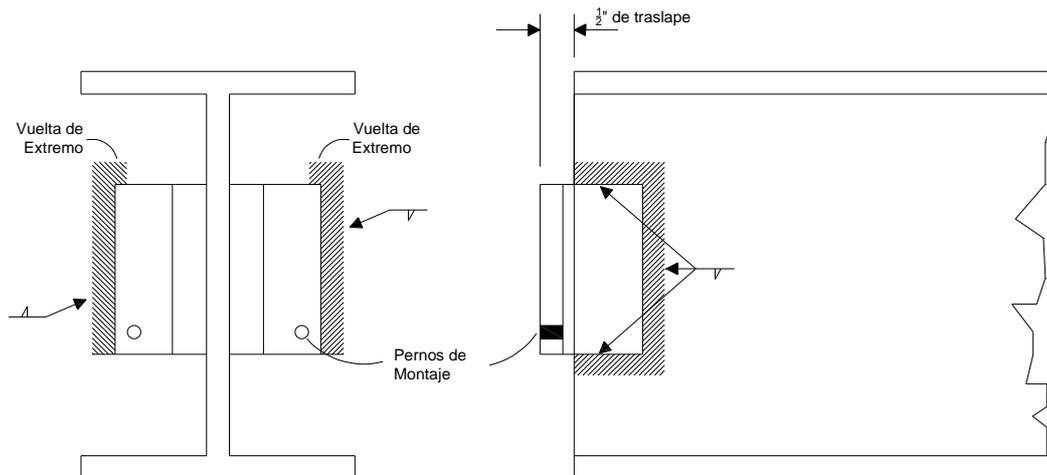


Figura 2.18 Ángulo Soldado al Alma

2.8.3.2 Diseño de Conexiones Soldadas con Ángulo de Asiento

Ofrece una gran ventaja a los operarios que realizan el montaje, el asiento probablemente se suelda en el taller y más tarde a las vigas en la obra. Los ángulos de conexión o ángulos de asiento, pueden punzarse para pernos temporales de montaje, estos agujeros pueden ser ovalados para permitir fácil alineamiento de los miembros, Figura 2.19

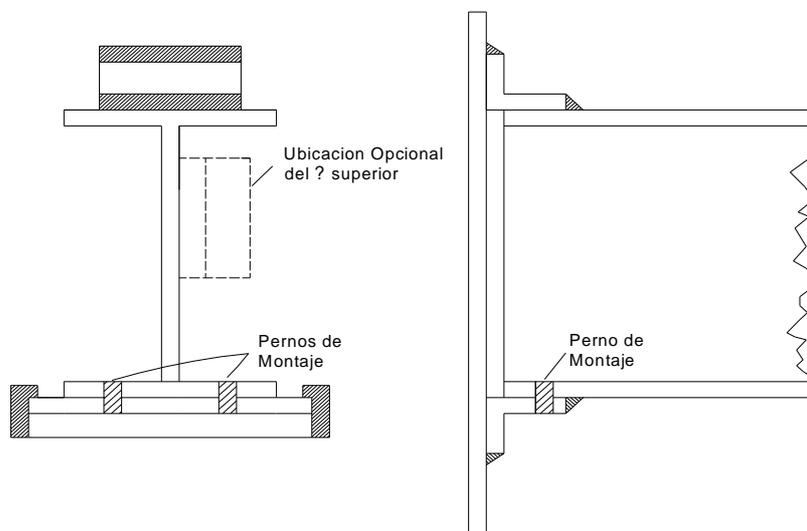


Figura 2.19 Ángulos de Asiento

Además del ángulo de asiento se utiliza un ángulo superior que proporciona soporte lateral, como se supone que no resiste carga sus dimensiones probablemente se fijaran por criterio, una medida común de ángulo es de 4 x 4 x 1/4".

2.8.3.3 Conexiones Soldadas de Asiento Atiesado

Cuando las reacciones de las vigas llegan a ser superiores de 40-60 Kpsi, el espesor necesario para los ángulos de asiento resulta excesivo y es necesario refuerzos.

Los asientos reforzados para vigas consisten de una T estructural o de un par de placas soldadas en forma de T, (Figura 2.20).

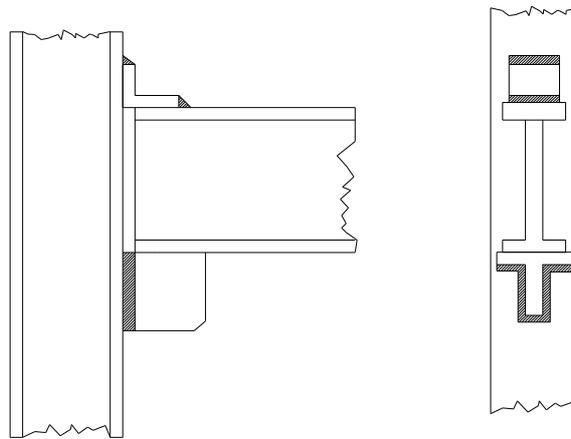


Figura 2.20 Conexiones Soldadas de Asiento Atiesado

Las almas de los asientos tienen poco peligro de pandeo, la práctica usual es hacer que el espesor del alma del asiento sea cuando menos igual al espesor del alma de la viga.

2.8.3.4 Conexiones Soldadas Resistentes a Momentos

La soldadura es más eficiente en estructuras totalmente continuas, existen dos razones principales para esta eficiencia:

1. Los momentos negativos producidos en los extremos de las vigas continuas ocasionan reducciones apreciables de los momentos positivos, permitiendo el uso de miembros más pequeños.
2. Cuando se tiene sobrecargas, se distribuye más fácilmente en las estructuras totalmente continuas.

Para estructuras completamente continuas, las conexiones se diseñan para resistir la totalidad de los momentos dados por el análisis de cargas, (Figura 2.21). En la figura 2.21a una porción de la viga se encuentra dentro de la columna, una placa es soldada a manera de asiento a la columna y en la parte superior un par de placas son soldadas a la columna y a la viga una a lado de otra, para transferir la carga de la viga, el cordón de soldadura sobre el patín de la viga puede ser de gran longitud para transmitir la carga solicitada.

En la figura 2.21b, patín y alma son soldados dentro de la columna, usualmente el espesor de estas placas es el mismo que el correspondiente al de la viga que va ser conectada. Una placa adicional es sujeta en la parte inferior del patín para que sirva como asiento. Los patines de la viga son biselados para una soldadura de ranura plana. El alma de la placa se traslapa con el alma de la viga y es unida por soldadura de filete.

En la Figura 2.21c, La viga se une al patín de la columna, el asiento de montaje, el rigidizador, y el alma son soldados al patín de la columna en el taller. Si es necesario también se suelda el rigidizador del patín de la columna.

Una placa de unión es soldada a tope con el patín de la columna y a filete al patín superior de la viga. Usualmente una placa de respaldo es colocada entre la placa de unión y el patín de la viga para asegurar una completa penetración de la soldadura a tope a la columna. Para facilitar la soldadura la placa superior se corta como se indica en la Figura 2.21c

La fuerza de tensión en la parte superior de la viga es transferida por soldaduras de filete a la placa superior y por soldaduras a tope, de la placa a la columna.

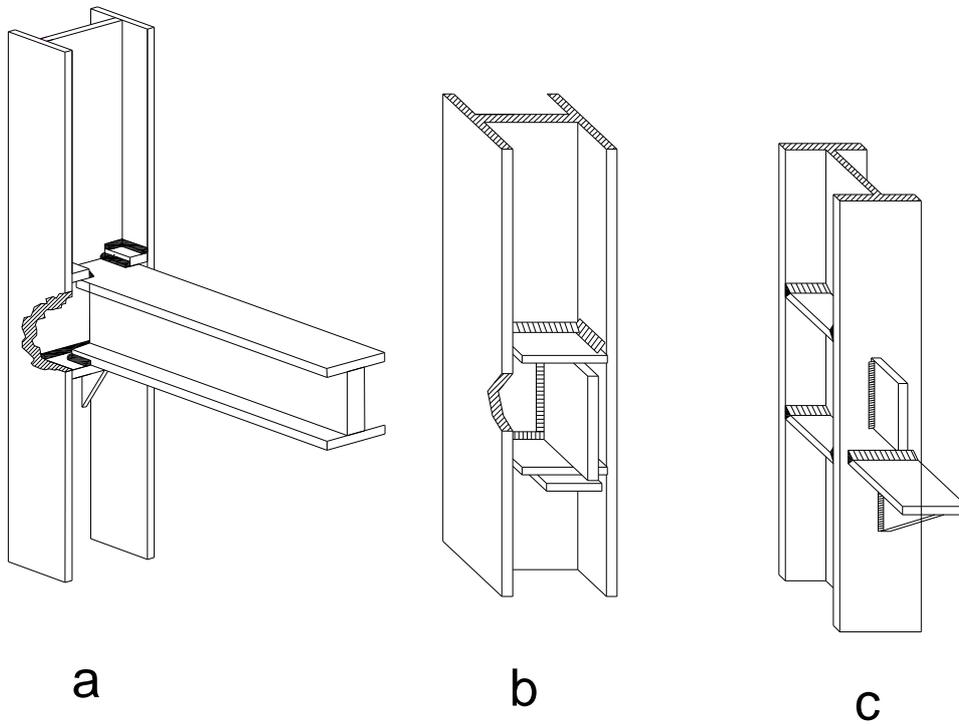


Figura 2.21 Tipos de Conexiones Soldadas entre Viga-Columna

La sección 2-5 de las Especificaciones AISC establece cuando deben usarse refuerzos y dan los lineamientos para dimensionarlos.

CAPÍTULO 3

MODELOS DE PRODUCCIÓN

3.1 INTRODUCCIÓN

En el pasado los procesos de producción eran sencillos, con flujos cortos; además la eficiencia de la producción no era objeto de preocupación debido a la baja competencia que existía; sin embargo, en la actualidad la mayor complejidad de los procesos de producción y la mayor competitividad hacen necesario analizar e implementar nuevos modelos de producción que permitan a la Industria ser más competitiva.

En el presente capítulo se describe los Modelos Tradicionales y los Nuevos Modelos de Producción, con el objeto de que la Industria descubra sus principales deficiencias de producción y analice e implemente nuevas alternativas que le permitan competir en forma más eficiente.

3.2 MODELOS TRADICIONALES DE PRODUCCIÓN ⁸

Los modelos tradicionales conciben las actividades de producción como un conjunto de operaciones o funciones, las cuales son controladas operación por operación para obtener los menores costos y mejorar la productividad periódicamente mediante la implementación de nuevas tecnologías.

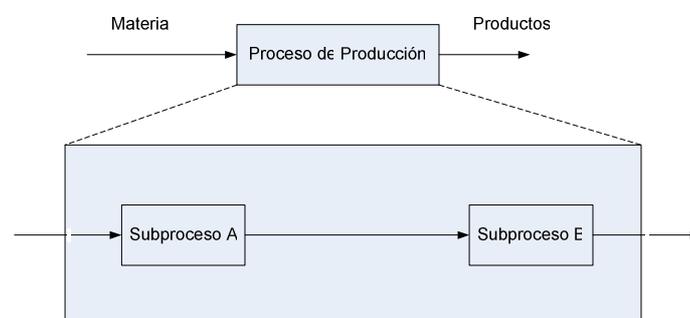


Figura 3.1 Proceso Convencional de Producción

⁸ KOSKELA, Lauri, Application of the New Production Philosophy to Construction, Stanford University, 1992

En el modelo tradicional:

- Producción es un proceso de conversión de una entrada a una salida.
- El proceso de conversión puede ser dividido en sub-procesos, los cuales también son procesos de conversión
- El costo del proceso total puede ser minimizado, minimizando el costo de cada operación
- El valor del producto terminado de un proceso esta asociado con el costo o valor de ingreso (materia prima) a ese proceso.

El modelo de producción convencional se basa en:

- El costo de producción es la suma del costo de cada operación
- El costo total de cada operación (excluyendo la materia prima) es proporcional al costo directo de mano de obra para esa operación.

Este procedimiento estándar de costos es invertido cuando se hace el análisis de rentabilidad de inversión de equipos. Si se puede reducir el costo de mano de obra en cada operación el costo total será reducido tanto para los costos de mano de obra directos e indirectos.

Algunos modelos de producción como: Producción justo a Tiempo y Control total de calidad consideran que este Modelo Tradicional de Producción es erróneo

Crítica del Modelo Convencional según el Modelo Justo a tiempo.

El modelo tradicional no considera los flujos (o movimientos) entre conversiones. Los flujos consisten en actividades de transportes, esperas e inspecciones, los cuales no agregan valor agregado al producto final, sin embargo el modelo convencional considera que:

- Estas actividades no son consideradas o,
- Todas las actividades son actividades de conversión y por lo tanto consideradas que dan valor agregado.

Estas interpretaciones erróneas están presentes en los métodos convencionales de control de producción y en los esfuerzos para mejorar del rendimiento.

El principio de minimización de costos conlleva a tener la máxima eficiencia en cada sub-proceso, sin tomar en cuenta la eficiencia de un proceso con respecto a otro. La mejora del rendimiento esta enfocada en mejorar la eficiencia de cada sub-proceso, tradicionalmente con nueva tecnología.

En procesos de producción complejos, la mayor parte de los costos son causados por actividades de flujo antes que por actividades de conversión.

Además el poco control de la fabricación hace que las mejoras de procesos de conversión sean más difíciles, lo cual implica que grandes inversiones en nuevos equipos no es la solución para una fábrica poco productiva o sin control.

Crítica del Modelo Convencional según el Modelo de Control total de Calidad

Desde el punto de vista de la calidad se basa en las siguientes razones:

- La producción de cada sub-proceso es usualmente variable, dando como resultado que parte de la producción no cumpla con las especificaciones teniendo que ser desechada o reparada
- La especificación de cada sub-proceso de conversión es imperfecta, solamente refleja parcialmente los requerimientos del siguiente sub-proceso de conversión y del usuario final.

La ausencia de la primera razón es que “Alrededor de un tercio de lo que hacemos consiste en reparar el trabajo previamente hecho”⁹

⁹ Juran, Juran on Planning for Quality. The Free Press, New York. 341 p, 1988

La ausencia de la segunda razón implica la pérdida de oportunidades por no cumplir con los requerimientos del consumidor. En la práctica los esfuerzos de mejorar son dirigidos directamente a hacer conversiones más eficientes antes que hacer de estas más efectivas, lo cual conlleva producir productos con gran eficiencia pero que no cumplen con los requerimientos y expectativas del consumidor.

La falta de calidad causa pérdidas e interrupción del flujo. De manera similar, requerimientos mal definidos entre fabricante-cliente incrementa los tiempos y costos de conversión, retrasando el flujo de conversión.

El modelo tradicional de producción fue adoptado en el pasado debido a que los procesos de producción eran sencillos, con flujos de producción cortos y requerimientos del cliente menos exigentes; además la eficiencia de producción no era un problema debido a la poca competencia que existía. En la actualidad, los procesos de producción son más complejos, con flujos de producción más largos y requerimientos del cliente/códigos más exigentes; lo cual requiere que se analice e implemente nuevos modelos de producción con el propósito de mejorar la competitividad en los diferentes segmentos de la industria.

3.3 NUEVOS MODELOS DE PRODUCCIÓN

El nuevo modelo de producción es una síntesis y generalización de diferentes modelos tales como el Modelo de Producción Justo a Tiempo y Control Total de la Calidad.

Los nuevos modelos conciben las actividades de producción como un proceso de flujo de material e información desde la materia prima hasta el producto terminado, los cuales son controlados para la mínima variabilidad y menor ciclo de tiempo. Mejorando continuamente con respecto a pérdidas y valor agregado, y periódicamente con respecto a la eficiencia mediante la implementación de nueva tecnología.

En este flujo, el material es procesado, inspeccionado, demorado o transportado. Estas actividades son completamente diferentes. El procesamiento representa la conversión de materia prima, mientras que la inspección, movimientos y demoras representan el flujo de la producción.

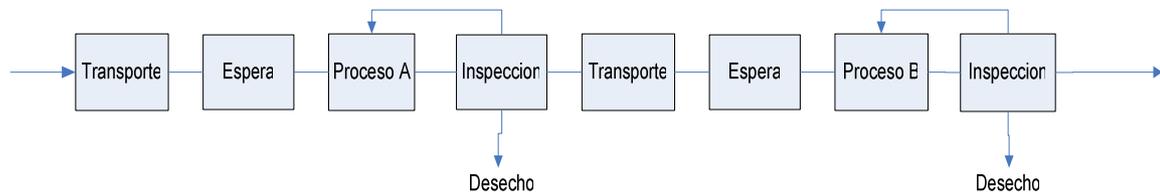


Figura 3.2 Nuevo Modelo de Producción

La eficiencia global de producción en el nuevo modelo se logra mejorando tanto, la eficiencia de las actividades de conversión como la eficiencia y número de las actividades de flujo.

Todas las actividades consumen dinero y tiempo, pero las únicas que dan valor agregado son las actividades de conversión. Por lo tanto, las actividades de conversión deben ser mejoradas y las actividades de flujo deben ser reducidas o eliminadas. Este nuevo modelo de producción está ilustrado en la Figura 3.3

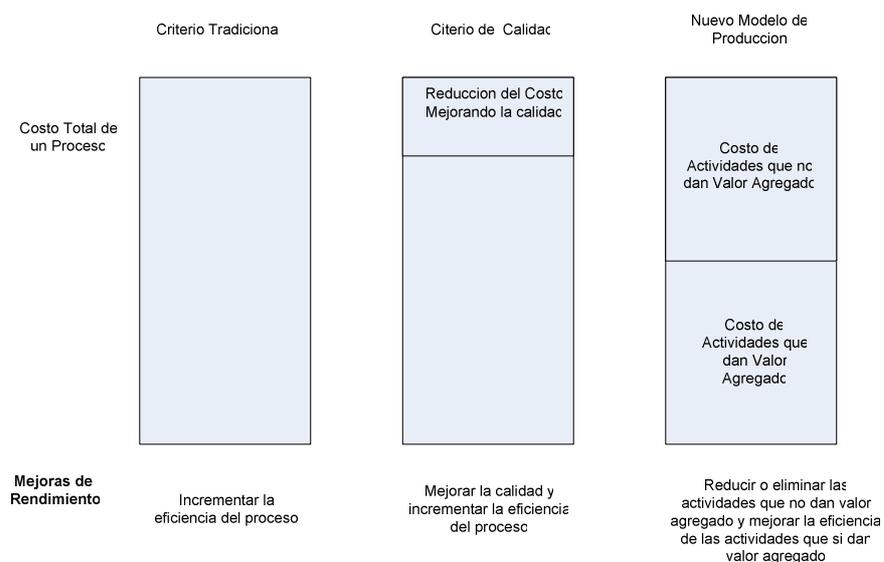


Figura 3.3 Criterios de mejoramiento del rendimiento desde el punto de vista del sistema convencional, Calidad y Nuevos Modelos de Producción

En la práctica este nuevo modelo de producción debe ser diseñado, controlado y mejorado mediante la aplicación de los siguientes principios:

1. Reducción de actividades que no dan valor agregado al producto
2. Reducción de la Variabilidad
3. Reducción del Ciclo de tiempo
4. Simplificación del proceso reduciendo el número de pasos, partes y conexiones
5. Incremento de la flexibilidad de producción
6. Incorporación de mejoras continuas en el proceso
7. Balancear las mejoras de Flujo con las Mejoras de conversión
8. Comparación con estándares Industriales

Es muy difícil lograr el mejor proceso posible únicamente por diseño, usualmente el diseño y la implementación proporcionan un punto de partida para una mejora continua, basándose en medidas del proceso actual.

Estos principios son aplicados tanto al flujo total del proceso como a los subprocesos.

3.3.1 REDUCCIÓN DE ACTIVIDADES QUE NO DAN VALOR AGREGADO

Actividades que dan y no dan valor agregado puede ser definidas como:

Actividades que dan valor agregado.- Actividad de conversión de material y/o información, según los requerimientos del cliente

Actividades que no dan valor agregado (también llamada pérdida).- Actividad que toma tiempo, recursos o espacio pero no agrega valor.

Las tres causas principales para la existencia de las actividades que no dan valor agregado son: diseño, falta de conocimiento y naturaleza de producción.

Por diseño, en las grandes organizaciones una tarea es dividida en dos sub-tareas las cuales son realizadas por diferentes especialistas, de manera que las actividades que no dan valor agregado tales como: movimientos, esperas e inspecciones incrementan.

La falta de conocimiento especialmente en el área administrativa de producción, hace que muchos procesos no hayan sido diseñados ordenadamente, lo cual ha originado que estos hayan evolucionado de manera no planificada.

No existe un punto de referencia o comparación debido a que el número de actividades que no dan valor agregado no son medidas.

Las actividades que no dan valor agregado existen debido a la naturaleza misma del proceso de producción. El proceso de trabajo tiene que moverse de una unidad de conversión a otra produciendo defectos y provocando accidentes.

Las actividades que no dan valor agregado en lo posible deben ser eliminadas o reducidas en la mayor cantidad. Sin embargo, este principio debe ser analizado previamente ya que algunas actividades producen valores internos útiles para la planeación, contabilidad y prevención de accidentes. Tales actividades no deben ser eliminadas sin antes considerar las consecuencias que podrían causar en otras partes del proceso.

La reducción de actividades que no dan valor agregado es fundamental, estas actividades dominan la mayoría de los procesos; usualmente solo el 3 al 20% de los pasos agregan valor y su reducción de tiempo es desde 0,5 al 5%.¹⁰

3.3.2 REDUCCIÓN DE LA VARIABILIDAD

Todos los procesos de producción son variables (tiempo, materia prima, mano de obra); hay dos razones para reducir la variabilidad.

La primera, desde el punto de vista del cliente un producto uniforme es mejor.

¹⁰ Stalk & Hout, Competing against time. Free Press, NY, 1990

La segunda, la variabilidad especialmente en la duración de la actividad incrementa el volumen de actividades que no dan valor agregado, aumentando el ciclo de tiempo.

Por lo tanto, la reducción de la variabilidad dentro de un proceso debe ser considerada como una meta intrínseca, para reducir la incertidumbre y mejorar la predictibilidad.

Algunos factores prácticos para disminuir la variabilidad están basados en procedimientos de control estadístico, midiendo la variabilidad y encontrando y eliminando los orígenes del problema. La estandarización de actividades mediante la implementación de procedimientos estándar a menudo disminuye la variabilidad de procesos de flujo y de conversión.

3.3.3 REDUCCIÓN DEL TIEMPO DE CICLO

El tiempo es una medida natural para procesos de flujo más útil y universal que la calidad y el costo, porque puede ser empleado para promover mejoras.

Un flujo de producción puede ser caracterizado por un ciclo de tiempo, el cual se refiere al tiempo necesario para que una pieza atraviese todas las etapas de fabricación.

El ciclo de tiempo puede ser representado como:

Ciclo de Tiempo = Tiempo de Proceso + Tiempo de Inspección + Tiempo de Espera + Tiempo de Transporte

Las mejoras básicas en el nuevo modelo de producción es disminuir el ciclo de tiempo, disminuyendo el tiempo de inspección, de espera y transporte. Además de eliminar pérdidas, la disminución del ciclo de tiempo proporciona los siguientes beneficios:

- Rápida entrega al cliente
- Reducir la necesidad de pronosticar la futura demanda

- Disminución de alteraciones del proceso debido a cambios de ordenes
- Control de producción más fácil debido a que hay menos ordenes de clientes que se mantienen en la línea de producción.

El principio de disminución del tiempo de ciclo tiene otros aspectos interesantes. Desde el punto de vista de control, es importante que la detección y corrección de la desviación de los ciclos sean más rápidas. En diseño y planificación existen muchas actividades no definidas lo cual favorece una búsqueda iterativa de mejores soluciones.

Desde el punto de vista de mejoras, el ciclo de tiempo es crucial para llegar hacer conciente de un problema o una oportunidad para la implementación de una solución.

En organizaciones tradicionales algunas veces el ciclo de tiempo es infinito debido a la falta de canales de comunicación o a canales de comunicación muy largos en los que el mensaje llega distorsionado.

Cada nivel de una organización incrementa el ciclo de tiempo de corrección de errores y solución de problemas.

Los factores prácticos para la reducción de ciclos de tiempo son:

- Eliminación de trabajos en progreso
- Reducción de tamaños de lotes
- Cambiar la distribución de la planta (layout) de manera que las distancias sean mínimas
- Mantener el flujo de producción en movimiento: flujos balanceados y sincronizados
- Reducir la Variabilidad
- Cambiar actividades de un orden secuencial a un orden paralelo
- En general, resolviendo los problemas de control y obstáculos que evitan un flujo rápido.

3.3.4 SIMPLIFICACIÓN DEL PROCESO REDUCIENDO EL NÚMERO DE PASOS, PARTES Y CONEXIONES

La complejidad de un producto o proceso incrementa el costo más allá de la suma de los costos de partes o pasos individuales. La contabilidad convencional indica la diferencia de precios de dos materiales, pero no la totalidad del costo adicional creado en el sistema de producción por el uso de dos materiales en vez de uno. Otro problema fundamental de la complejidad es la fiabilidad: sistemas complejos son menos fiables que sistemas simples.

La simplificación puede entenderse como:

- Reducir el número de componentes en un producto
- Reducir el número de pasos en un flujo de material o información

La simplificación puede ser realizada de manera que se elimine actividades que no dan valor agregado de los procesos de producción o por la re-configuración de partes o pasos que dan valor agregado.

Los cambios organizacionales pueden también proporcionar una simplificación. Divisiones horizontales y verticales de mano de obra siempre conllevan actividades que no dan valor agregado, las cuales pueden ser eliminadas por medio de operadores multi-funcionales y equipos autónomos.

Métodos prácticos para la simplificación incluyen:

- Acortamiento de flujos por unión de actividades
- Reducción de la cantidad de partes de productos, a través de cambios de diseño o partes prefabricadas
- Estandarización de partes, materiales, herramientas, etc.
- Secuencias de fabricación de fácil modificación
- Minimizar la cantidad necesaria de información de control.

3.3.5 INCREMENTO DE LA FLEXIBILIDAD DE PRODUCCIÓN

El incremento de la flexibilidad de producción puede ser visto como una contradicción a la simplificación, sin embargo algunas compañías han tenido éxito mediante el diseño de productos pre-fabricados y principios o alternativas que ayuden a reducir el tiempo de ciclo.

Algunos factores prácticos para aumentar la flexibilidad son:

- Minimizar lotes de producción de acuerdo a la demanda
- Reducir la dificultad de configuraciones y de conversiones
- Formación de trabajadores multi-funcionales.
- Capacidad de modificación durante el proceso

3.3.6 INCORPORACIÓN DE MEJORAS CONTINUAS EN EL PROCESO

Los esfuerzos para reducir las pérdidas y aumentar el valor (cumplimiento de los requerimientos del cliente) es una actividad interna, iterativa y gradual, que puede y debe ser llevada continuamente.

Existen algunos métodos para implementar la mejora continua:

- Medir y controlar las mejoras
- Establecer metas tales como: eliminación de inventario o reducción del ciclo de tiempo, por medio de las cuales los problemas son descubiertos y las soluciones son buscadas.
- Dar responsabilidades a todos los empleados para mejorar el proceso
- Usar procedimientos estándar como hipótesis de la mejor práctica, para ser comparada constantemente con mejores procedimientos.
- Enfocar las mejoras a las restricciones de control actuales y a los problemas del proceso con la finalidad de no dar soluciones temporales si no eliminar los problemas de forma permanente.

3.3.7 BALANCEAR LAS MEJORAS DE FLUJO CON LAS MEJORAS DE CONVERSIÓN

Para mejorar las actividades de producción, las mejoras deben estar enfocadas tanto al flujo del proceso como a las actividades de conversión.

Como regla general, las actividades de conversión y de flujo poseen diferente potencial de mejora, por lo que:

- El impacto de las mejoras de las actividades de flujo es mayor mientras más complejo es el proceso de producción.
- Las mejoras en el flujo son más rentables en procesos de producción con más pérdidas, en comparación a las mejoras de conversión.

En situaciones donde el flujo ha sido descuidado durante mucho tiempo, el potencial para mejorarlo es usualmente más alto que el potencial de mejora de las actividades de conversión. Usualmente, el proceso de mejora del flujo toma mayor tiempo que las mejoras en las actividades de conversión, pero estas pueden empezar con una pequeña inversión.

Es importante comprender que las mejoras de conversión y de flujo están íntimamente relacionadas:

- Flujos más eficientes necesitan menos capacidad de conversión y así menor inversión en equipamiento.
- Flujos más controlados hacen que la implementación de nueva tecnología de conversión sea más fácil.
- Nueva tecnología de conversión proporciona pequeñas variaciones, de manera que proporcionan beneficios al flujo.

Por lo tanto, debe perseguirse en forma agresiva mejoras en los procesos de flujo antes que hacer mayores inversiones en nueva tecnología de conversión. Debe tratarse de perfeccionarse los procesos existentes a su máxima capacidad antes que diseñar o implementar nuevos procesos.

3.3.8 COMPARACIÓN CON ESTÁNDARES INDUSTRIALES

Al contrario de las tecnologías para actividades de conversión, información o tecnología para implementar los mejores procesos de flujo no esta disponible de manera especifica para un determinado tipo de industria. Esto implica que la industria deberá encontrar por si misma cual el mejor proceso de flujo.

A menudo la comparación con estándares industriales es útil para alcanzar óptimas mejoras a través de re-configuraciones o cambios radicales de los procesos

Los pasos básicos para realizar una comparación industrial son:

- Conocer el proceso y evaluar las fortalezas y debilidades de los subproceso
- Conocer los líderes o competidores en la industria, encontrando, entendiendo y comparando las mejores prácticas.
- Incorporar lo mejor, copiando, modificando o incorporando las mejores prácticas en nuestros subprocesos.
- Ganar superioridad combinando las fortalezas existentes con las mejores prácticas externos.

CAPÍTULO 4

PROCESO DE FABRICACIÓN DE VIGAS Y COLUMNAS

4.1 INTRODUCCIÓN

En la fabricación de Vigas y Columnas Metálicas se encuentran comprendidas varias actividades, las cuales dependen del diseño, infraestructura de la fábrica, distribución de planta (layout) y conocimiento de los procesos de fabricación, entre otros.

En el presente capítulo se discutirá las principales etapas y procesos que se siguen en la fabricación de estructuras, con el propósito de proveer información necesaria para el análisis e implementación de sistemas eficientes de producción.

4.2 ANÁLISIS DE REQUERIMIENTOS¹³

Previo a la fabricación se deben analizar los siguientes parámetros:

- Volumen de producción.- Debe ser adecuado para justificar el costo de los equipos que intervienen en el proceso de producción, en caso contrario, si el volumen de trabajo no es lo suficientemente grande se debe encontrar otro proceso de producción que permita cubrir los costos de inversión.
- Especificaciones de Soldadura.- Se debe emplear un proceso que proporcione las propiedades de soldadura especificadas por el diseñador y que cumplan con los requerimientos impuestos por las Normas.
- Condición del Metal Base.- Rugosidad, forma de la junta, soldabilidad del acero, etc. Estos factores pueden limitar la utilidad de determinado proceso.
- Medidas y Cantidad de Soldadura.- El exceso de material depositado es uno de los principales factores que influyen en el costo de soldadura, el tamaño del cordón de soldadura proporcionado por el diseñador ya incluye el factor de seguridad por lo que no es necesario sobrepasar las dimensiones impuestas (ver sección 4.5.3).

¹³ Lincoln Electric, Procedure Handbook of Arc Welding

4.3 PREPARACIÓN DEL MATERIAL

En la etapa de preparación de material se obtiene todos los componentes que conformarán las vigas o columnas; se realizan las operaciones de corte y biselado de las láminas metálicas según planos de construcción previamente diseñados, a continuación se describen las etapas involucradas.

4.3.1 CORTE

Mediante este proceso se proporciona las dimensiones de los componentes que van a constituir las vigas y columnas previo a la fase de armado.

Existen tres operaciones de corte las cuales se detallan a continuación.

4.3.1.1 Corte por Oxicorte^{11,4}

El proceso de oxicorte remueve el metal por una reacción química del oxígeno con el metal a elevadas temperaturas. La temperatura necesaria es mantenida por una llama de gas combustible que se quema en oxígeno.

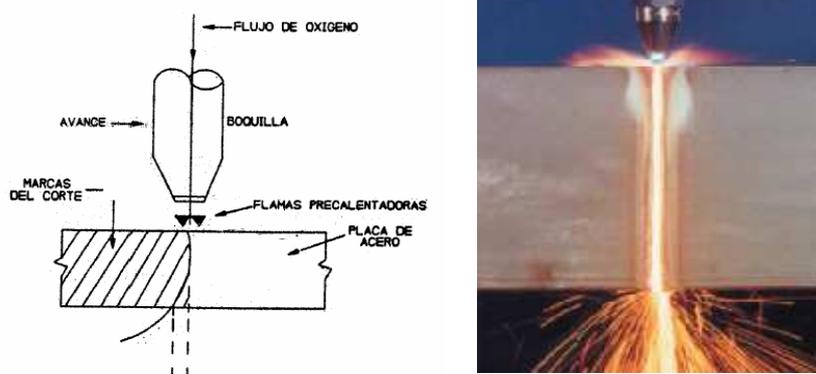


Figura 4.1. Corte por Oxicorte

Los gases utilizados en este proceso son:

Oxígeno: Utilizado para producir la combustión del gas combustible necesario para realizar el precalentamiento de la pieza a cortar y producir el corte de los aceros mediante un flujo de oxígeno de alta pureza (99.5%), aumentando la velocidad y la calidad de la superficie de corte.

¹¹ INDURA, Catalogo de Procesos y Productos

⁴ BROCKENBROUGH, Roger, Manual de Diseño de Estructuras de Acero

Acetileno (C_2H_2): Gas combustible ocupado para cortar aceros al carbono y de baja aleación en espesores de hasta 50 mm, el acetileno es un gas más liviano que el aire permitiendo mayor seguridad al no acumularse en zonas bajas. El acetileno gaseoso no debe usarse a presiones manométricas superiores a 15 psi (103 KPa) o absolutas de 30 psi (207 KPa), debido a que presiones mayores pueden descomponerse con fuerza explosiva si se le expone al calor o golpes.

Propano (C_3H_8): Gas combustible derivado del petróleo que se utiliza para cortar aceros al carbono y de baja aleación, es de fácil disponibilidad y produce mayor calor total que el acetileno, lo cual permite su uso en espesores mayores a 50 mm.

Los gases combustibles usados para producir la flama de precalentamiento se seleccionan en función de su disponibilidad y costo.

Las funciones de la flama de precalentamiento son:

- Elevar la temperatura del metal base hasta el punto de ignición.
- Agregar energía calorífica al trabajo para mantener la reacción de corte.
- Crear un escudo protector entre el chorro de oxígeno de corte y la atmósfera.
- Eliminar sustancias extrañas de la superficie del metal base que impiden o retardan la acción de corte.

En el Anexo 3 se dan datos representativos para el corte de acero de bajo carbono, usando los gases combustibles más comunes.

VENTAJAS DEL OXICORTE

- El equipo de oxicorte manual es portátil por lo que puede emplearse en trabajos de campo.
- Es un método económico de preparación de biseles.
- Poder calorífico elevado y gran temperatura de calefacción, esto permite una velocidad de corte elevada.

- Baja inversión y bajo costo de operación en comparación con el corte por plasma.

DESVENTAJAS DEL OXICORTE

- El proceso está limitado al corte de materiales ferrosos.
- No se emplea para cortar acero inoxidable
- La quema del combustible y la oxidación del metal requieren un control de emisiones apropiado y una ventilación adecuada.
- La zona afectada por el calor es mayor que la producida por plasma, produciendo deformaciones
- Presencia obstructora de CO (monóxido de carbono).
- Requiere tiempo de precalentamiento.

4.3.1.2 Corte por Plasma^{11,4}

El proceso de corte por plasma se utiliza para remover material mediante el uso de un arco eléctrico que se encuentra estrangulado de modo que produce la fusión de un área localizada de la pieza. El material fundido se remueve mediante el flujo de un gas ionizado, éste gas es un plasma que alcanza temperaturas entre 10.000 y 14.000 °C.

La principal ventaja de este proceso frente al oxicorte es que puede cortar cualquier material conductor de la electricidad; además opera en un nivel energético muy superior permitiéndole incrementar las velocidades de corte. También se inicia instantáneamente sin necesidad de precalentamiento.

Entre los gases utilizados para el corte con plasma están:

Nitrógeno: Gas no inflamable e inerte que permite su uso como gas de corte por plasma. Su alta pureza permite cortes de excelente calidad.

Argón: Gas utilizado como gas de corte especialmente en aluminio.

¹¹ INDURA, Catalogo de Procesos y Productos

⁴ BROCKENBROUGH, Roger, Manual de Diseño de Estructuras de Acero

Aire comprimido: Gas de uso universal utilizado principalmente para corte por plasma, el oxígeno del aire proporciona energía adicional de la reacción exotérmica con el acero fundido.

También se emplean mezclas de Nitrógeno-Hidrógeno y Argón-Hidrógeno.

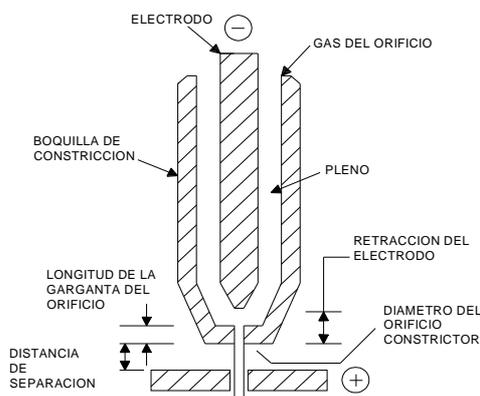


Figura 4.2. Proceso de Corte por Plasma

Las condiciones normales para el corte mecanizado con arco de plasma de placas de acero al carbono se muestran en el Anexo 3.

VENTAJAS DEL CORTE CON PLASMA:

- El plasma es empleado para el corte de cualquier material y en particular para los de alto punto de fusión.
- Es mucho más rápido que el oxicorte.
- Se aplica para cortar el aluminio y sus aleaciones, aceros inoxidables, cobre.

DESVENTAJAS DEL CORTE CON PLASMA:

- El campo de aplicación del corte por plasma esta limitado a cortes inferiores a 100 mm.
- Es muy susceptible a los cambios en las combinaciones de gases, a las velocidades de corte e incluso al posicionamiento del soplete.
- Se debe tener en cuenta aspectos como la seguridad y el medio ambiente debido a la producción de gases y humos que pueden provocar malestar en los operarios e incluso lesiones en las vías respiratorias.
- El equipo es más costoso en relación al de oxicorte.

4.3.1.3 Cizallamiento¹²

En la fabricación de vigas y columnas no es usual el empleo de la cizalla sin embargo algunas veces se la utiliza cuando el espesor de la placa metálica esta entre los 2 hasta normalmente un máximo de 12 mm.

4.4 ARMADO^{3,2}

El ajuste y ensamble de las piezas es un trabajo de gran importancia, ya que la corrección de los errores cometidos en esta etapa resulta muy costosa; por consiguiente son muy importantes la inspección de los ajustes correctos y contar con una mano de obra adecuada en el soldado.

Las operaciones de armado afectan la calidad de la soldadura e influyen en los costos de fabricación. Aún cuando el fabricante no tenga control de todos los factores para un buen procedimiento de armado se debe tener en cuenta lo siguiente:

- Superficies de trabajo limpias, libres de óxido, aceite y suciedades reducen los problemas de armado.
- Malos procedimientos de armado aumentan los costos de producción
- Mesas de ensamble se utilizan para mantener los materiales correctamente alineados.
- Soldar primero las secciones más flexibles facilita el alineamiento que pueda necesitarse antes del ensamble final.

4.5 SOLDADURA¹³

En la selección de un proceso de soldadura, la principal consideración es que se proporcione la calidad requerida al más bajo costo.

Entre las distintas variables a considerar se deben definir los metales a unir; el numero de piezas a soldar; la longitud total de la soldadura; el tipo de juntas; la preparación y la calidad requerida.

¹² Manual de Mecánica Industrial, Máquinas y Control Numérico

³ BRESLER, Lin y Scalzi, Diseño de Estructuras de Acero

² BLODGETT, Omer W., Design of Welded Structures

¹³ Lincoln Electric, Procedure Handbook of Arc Welding

Los parámetros involucrados en la selección de un proceso de soldadura son:

- Análisis de los requerimientos de la junta a soldar.- Se relaciona con: llenado, solidificación y avances rápidos, además de la profundidad de penetración en el metal base.
- Relacionar los requerimientos de la junta con las capacidades disponibles de los procesos.- Es la información que nos permite determinar que procesos satisfacen los requerimientos de las juntas a soldar (equipos).
- Usar una lista de variables para determinar la capacidad de los procesos de soldadura.- Algunas de las variables a incluirse en esta lista son: volumen de producción, especificaciones de soldadura, habilidades del soldador, equipo auxiliar, condiciones del metal base, etc.
- Se revisa el o los procesos indicados como más eficientes con la información proporcionada por parte del fabricante del equipo de soldadura.- Se refiere a la información referente a las características y capacidades de las máquinas.

4.5.1 CLASIFICACIÓN DE SOLDADURAS³

Los tres factores principales para describir la soldadura son:

- Tipo de Soldadura
- Tipo de Junta
- Posición de la Soldadura

4.5.1.1 Tipo de Soldadura

Existen dos tipos básicos de soldaduras: la de filete y a tope o de ranura.

- Soldaduras de Filete

La mayoría de conexiones estructurales se realiza con soldaduras de filete, la sección transversal de soldadura de filete se caracteriza por su forma triangular.

³ BRESLER, Lin y Scalzi, Diseño de Estructuras de Acero

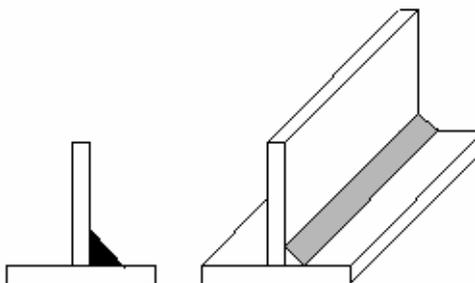


Figura 4.3. Soldadura de Filete

- Soldaduras a Tope o de Ranura

Se usan cuando los miembros que se conectan están alineados en el mismo plano, son bastante comunes en conexiones tales como: los empalmes en columnas y las conexiones de patines de vigas a columnas.

Soldadura Deseada	Simple	Doble
Recta		
En media "V"		
En "V"		
En "J"		
En "U"		

Figura 4.4. Soldadura de Ranura

4.5.1.2 Tipos de Junta

Existen cinco tipos básicos de juntas soldadas, las cuales describen la manera en que está unida una placa con respecto a otra, estas son:

- Junta 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.

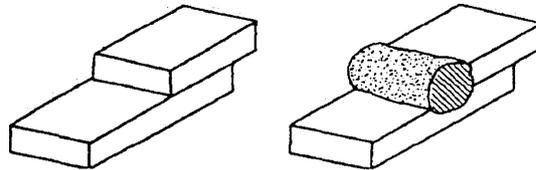


Figura 4.5. Junta a Traslape

- 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.

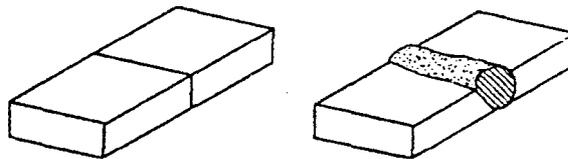


Figura 4.6. Juntas a Tope

- Juntas de Esquina

Son soldaduras realizadas entre dos partes 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.

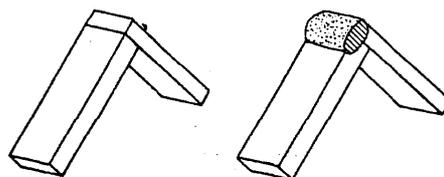


Figura 4.7. Juntas de Esquina

- Juntas de Brida (de Borde)

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

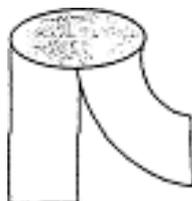


Figura 4.8. Junta de Brida

- 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.

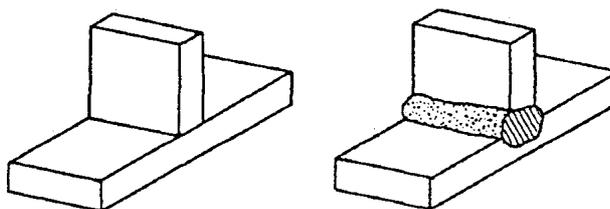


Figura 4.9. Juntas en T

4.5.1.3 Posición de la Soldadura¹⁴

De acuerdo a su Posición se clasifican en soldaduras: Planas, Horizontales, Verticales y Sobre cabeza. Siendo las planas las más económicas y las sobre cabeza las más costosas. La soldadura en la posición plana es mucho mas rápida y fácil que en cualquier otra posición.

¹⁴ INDURA, Manual de Soldadura

Designación de acuerdo con ANSI/AWS A 3.0-85.

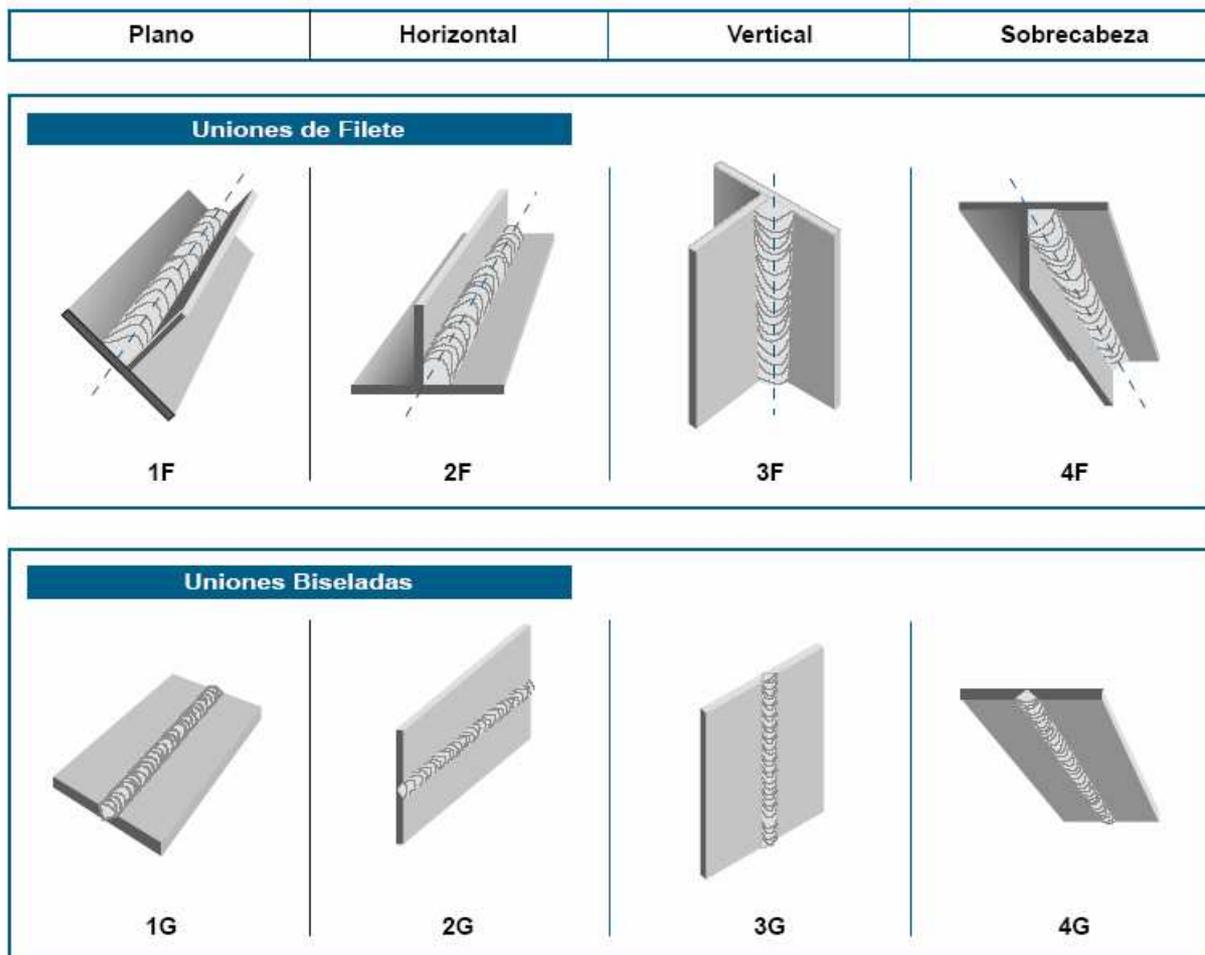


Figura 4.10. Posición de la Soldadura

4.5.2 SÍMBOLOS DE SOLDADURA ³

Los símbolos de soldadura han sido estandarizados por la AWS, estos describen rápidamente al soldador, al supervisor de producción y al diseñador el tipo de junta o conexión requerida.

En la Figura 4.11 se presenta el método de identificación de soldaduras mediante símbolos desarrollados por la AWS, con este sistema se da en general toda la información necesaria con unas cuantas líneas y números, ocupando un pequeño espacio en los planos y dibujos de ingeniería.

³ BRESLER, Lin y Scalzi, Diseño de Estructuras de Acero

Tipo de Soldadura									
Canto	Filete	Tapón o Ranura	Preparación de las Piezas						
			Rectangular	V	Bisel	U	J	Bocel Doble	Bocel Simple

Símbolos Suplementarios

Soldar todo alrededor	Soldadura de campo	Contorno	
		Al ras	Convexo

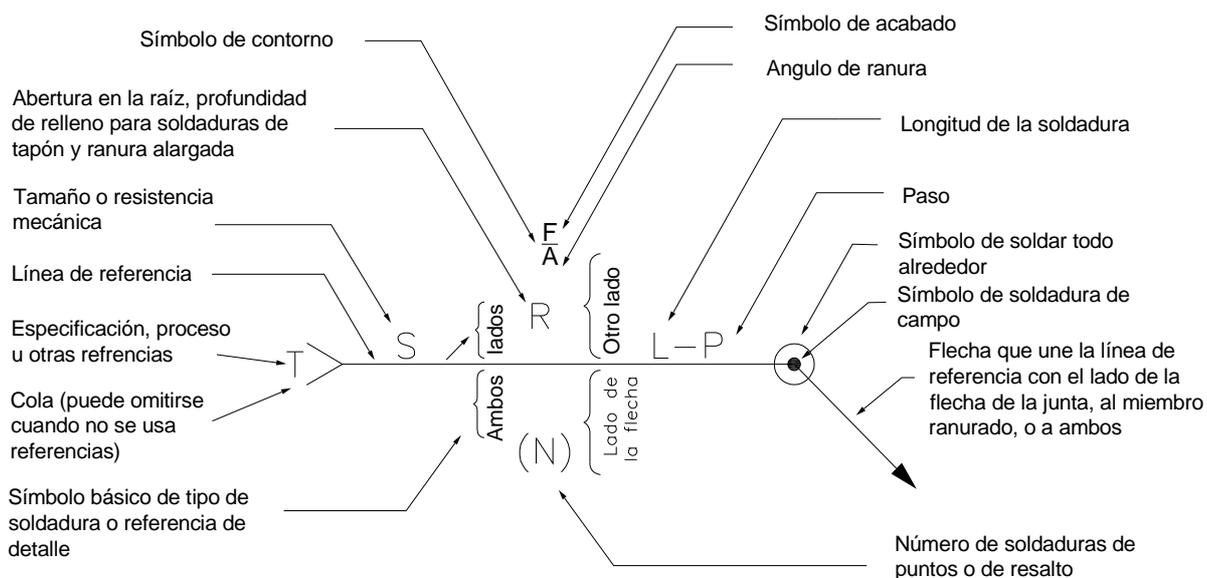


Figura 4.11. Símbolos de Soldadura

La AWS D1.1 sección 3, establece una nomenclatura estándar que se usa para identificación de la junta soldada, en la Tabla 4.1 se muestra esta nomenclatura.

Tabla 4.1 Nomenclatura empleada por la AWS para Procedimientos de Soldadura⁶

Símbolos para los Tipos de Junta B – A tope C – De Esquina T – En T BC – A Tope o de Esquina TC – En T o de Esquina BTC – A tope, en T, o de Esquina	Procesos de Soldadura SMAW – Soldadura de Arco con electrodo Revestido GMAW – Soldadura de Arco con Protección Gaseosa FCAW – Soldadura de Arco con Electrodo Tubular SAW – Soldadura de Arco sumergido.
Símbolos para Indicar la Penetración P – Junta de Penetración Parcial L – Junta de Penetración Completa(Espesor limitado) U – Junta de Penetración Completa (Sin limite de Espesor)	Posiciones de Soldadura F – Plana H – Horizontal V – Vertical OH – Sobre Cabeza
Símbolos para el Tipo de Soldadura 1 – De Ranura recta 2 – En “V” simple 3 – En “V” Doble 4 – En media “V” simple 5- En media “V” doble 6 – En “U” simple 7 – En “U” doble 8 – En “J” simple 9 – En “J” doble 10 – De borde	Dimensiones R = Abertura de Raíz α, β = Ángulos de Ranura f = Cara de la Raíz r = Radio de la Ranura en “J” o en “U” S, S ₁ , S ₂ = Soldadura de Penetración Parcial Profundidad de la Ranura E, E ₁ , E ₂ = Soldadura de Penetración Parcial Medidas correspondientes a S, S ₁ , S ₂ respectivamente.
Símbolos para el Proceso de Soldadura S – SAW G – GMAW F – FCAW	Designación de la Junta Las letras minúsculas, ejmp: a,b,c,etc. Son usadas para diferenciar juntas que de otra manera tendrían la misma designación que otra junta.

* Esta designación es utilizada en los Procedimientos de Soldadura

4.5.3 DIMENSIONAMIENTO DE LA SOLDADURA

Los fabricantes no deben considerar solamente el tipo de junta sino también el tipo de soldadura que requerirá una cantidad mínima de metal de aporte.

⁶ AWS, Structural Welding Code-Steel AWS D1.1/D1.1M:2002, Pág. 72

Mientras que la resistencia de una soldadura de filete varía con el tamaño, el volumen del metal depositado varía proporcionalmente con el cuadrado del tamaño. Por ejemplo, una soldadura de filete de $\frac{1}{2}$ pulg. contiene cuatro veces tanta cantidad de metal por pulgada de longitud como una soldadura de $\frac{1}{4}$ de pulg. pero es únicamente dos veces más resistente. En general, una soldadura de filete más delgada pero más larga cuesta menos que una soldadura de filete más gruesa pero de menor longitud y de la misma resistencia⁴.

El tamaño de la soldadura de filete está dado por la longitud de los catetos. La resistencia está determinada por el espesor de la garganta, que es la distancia más corta desde la raíz (intersección de los catetos) a la cara (hipotenusa soldadura). Si los dos catetos son desiguales el tamaño nominal de la soldadura está dado por el más corto de ellos. Si la soldadura es cóncava (C) la garganta disminuye al igual que la resistencia⁴.

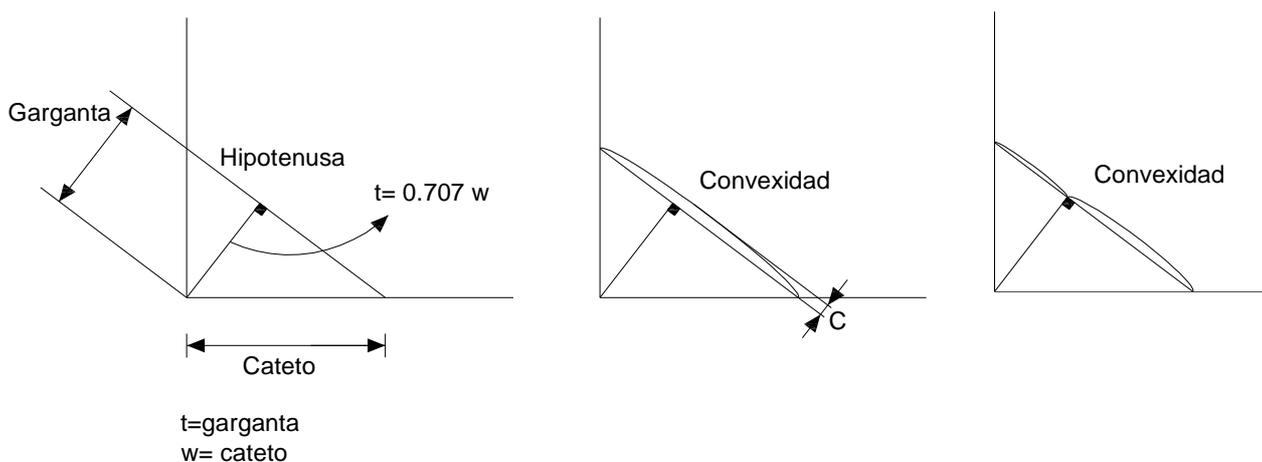


Figura 4.12. Dimensiones de la soldadura de filete

La norma AWS D1.1 limita la convexidad a los valores de la tabla 4. 2.

Garganta = 0.707 del cateto.

⁴ BROCKENBROUGH, Roger, Manual de Diseño de Estructuras de Acero

Tabla 4.2. Límites de convexidad en la soldadura de Filete según norma AWS D1.1⁶

Medida del cateto pulg.	Máxima Convexidad en pulg.
5/16 o menos	1/16
Más de 5 /16 pero menos de 1	3/8
1 o más	3/16

Para mayor información referirse a las especificaciones de la AWS D1.1:2002 sección 5.24, figura 5.4, que establecen los criterios de aceptación tanto para juntas de ranura y de filete.

El tamaño mínimo de soldadura de filete, excepto para reforzar soldaduras de ranura, deberá ser como se indica en la Tabla 4.3 y se aplicará en todos los casos a menos que las especificaciones de diseño de soldadura requieran un mayor tamaño.

Tabla 4.3. Tamaños mínimos de la soldadura de filete y límites de espesor de placas⁶

Máximo Espesor del material base (T) ¹		Tamaño mínimo de la soldadura de filete ²	
Pulg.	mm	Pulg.	mm
$T \leq \frac{1}{4}$	$T \leq 6$	$\frac{1}{8}$ ⁽³⁾	3 ⁽³⁾
$\frac{1}{4} < T \leq \frac{1}{2}$	$6 < T \leq 12$	$\frac{3}{16}$	5
$\frac{1}{2} < T \leq \frac{3}{4}$	$12 < T \leq 20$	$\frac{1}{4}$	6
$T > \frac{3}{4}$	$T > 20$	$\frac{5}{16}$	8

Notas:

¹ El espesor de la placa es el espesor de la parte unida más gruesa.

² Cuando se usa soldadura de bajo contenido de hidrógeno la norma D1.1 de la AWS permite usar la parte unida más delgada para determinar el tamaño mínimo de la soldadura de filete.

³ El tamaño mínimo de soldadura para estructuras sometidas a cargas dinámicas es de 3/16 de pulg. (5 mm).

La AWS D1.1:2002 sección 3.12.2.1 establece que el tamaño mínimo de soldadura de juntas de penetración parcial de ranura simple o doble V, media V, J

⁶ AWS, Structural Welding Code-Steel AWS D1.1/D1.1M:2002

y U de los tipos de soldadura 2 – 9 (ver tabla 4.1), será como muestra la Tabla 4.4. El máximo espesor de la lámina soldada no tiene límite. Para los tipos de soldadura 1 y 10 (tabla 4.1) referirse a la norma AWS D1.1 sección 3.12.2.1 literal 3 Pág. 60.

Tabla 4.4. Tamaño mínimo de soldadura para juntas de penetración parcial⁶

Espesor del material base (T) ¹		Tamaño mínimo de soldadura ²	
Pulg	mm	Pulg	mm
1/8 hasta 3/16	3 hasta 5	1/16	2
3/16 hasta ¼	5 hasta 6	1/8	3
¼ hasta ½	6 hasta 12	3/16	5
½ hasta ¾	12 hasta 20	¼	6
¾ hasta 1½	20 hasta 38	5/16	8
1 ½ hasta 2 ¼	38 hasta 57	3/8	10
2 ¼ hasta 6	57 hasta 150	½	12
Mayor a 6	Mayor a 150	5/8	16

Notas:

¹ El espesor de la placa es el espesor de la parte unida más gruesa.

² Cuando se usa soldadura de bajo contenido de hidrógeno la norma D1.1 de la AWS permite usar la parte unida más delgada para determinar el tamaño mínimo de la soldadura de filete.

Para juntas de soldadura de penetración completa se debe recurrir a las figuras 3.4 de la norma AWS D1.1:2002.

El esfuerzo en la soldadura de filete se considera como cortante en la garganta, sin importar su dirección real; de este modo, no se necesita tomar ninguna medida especial para los esfuerzos combinados.³

El tamaño del cateto (soldadura continua) se obtiene dividiendo la fuerza resultante que actúa sobre el cordón de soldadura para el esfuerzo permisible del tipo de soldadura.

⁶ AWS, Structural Welding Code-Steel AWS D1.1/D1.1M:2002

³ BRESLER, Lin y Scalzi, Diseño de Estructuras de Acero

$$\omega = \frac{\text{Fuerza actuante sobre el cordón de soldadura}}{\text{Esfuerzo permisible del tipo de soldadura}^*}$$

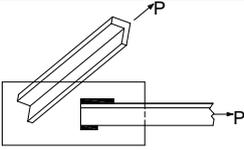
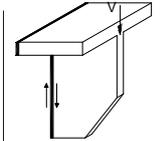
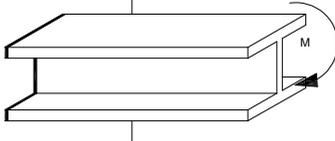
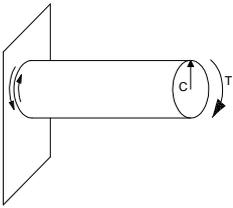
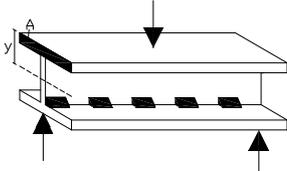
$$\omega = pu \lg$$

$$\omega = \text{Tamaño del cateto (soldadura continua)}$$

* depende del material depositado, ver Tabla 4.6

La fuerza actuante sobre el cordón de soldadura se determina por medio de:

Tabla 4.5. Determinación de la fuerza sobre la soldadura ²

Tipo de Carga	Esfuerzos	Esfuerzos	Fuerza
		$\left(\frac{lbs}{pul^2} \right)$	$\left(\frac{lbs}{pul} \right)$
Soldaduras Primarias Toda la carga es transmitida al Cordón de Soldadura			
	Tracción o Compresión	$\sigma = \frac{P}{A}$	$f = \frac{P}{A_w}$
	Cortante Vertical	$\sigma = \frac{V}{A}$	$f = \frac{V}{A_w}$
	Flexión	$\sigma = \frac{M}{S}$	$f = \frac{M}{S_w}$
	Torsión	$\sigma = \frac{T C}{J}$	$f = \frac{T C}{J_w}$
Soldaduras Secundarias Mantienen las secciones unidas – Sometidas a esfuerzos bajos			
	Cortante horizontal	$\tau = \frac{V A y}{I t}$	$f = \frac{V A y}{I n}$

² BLODGETT, Omer W., Design of Welded Structures, Pág. 2.10-2

Donde:

S = Módulo de la Sección (pulg³)

J = Momento Polar de Inercia (pulg⁴)

A = área de la sección Transversal (pulg²)

M = Momento (lb*pulg)

P = Carga Concentrada (lbs)

C = Distancia entre la fibra externa y el centroide (pulg)

V = Fuerza Cortante (lbs)

y = distancia entre el centro de gravedad del área del patín y el eje neutro de toda la sección (pulg).

I = Momento de inercia de la sección (pulg⁴)

t = espesor de la sección mas delgada (pulg)

n = Número de cordones de soldadura que unen alma patín

Tabla 4.6. Esfuerzos Permisibles de Soldaduras para Edificios (Cargas Estáticas)²

Tipo de Soldadura	Esfuerzos	Acero	Electrodo	Esfuerzo Permissible
Soldadura de Ranura de Penetración Completa	Tracción Compresión Cortante	A36	E60	El mismo que la placa
		A441, A242*	E70	
Soldadura de Ranura de Penetración Parcial	Tracción transversal al eje de soldadura O Cortante sobre la garganta	A36	E60	σ o τ = 13,600 Psi
		A441,A242*	E60-bajo hidrógeno	
	Tracción paralela al eje de soldadura O Compresión sobre la garganta	A36	E70	σ o τ = 15,800 Psi
		A441,A242*	E70-bajo hidrógeno	
Soldadura de Filete	Cortante sobre la garganta	A36	E60	τ = 13,600 Psi O f = 9600 ω lb/pulg
		A441,A242*	E60-bajo hidrógeno	
		A36	E70	τ = 15,800 Psi O f = 11,200 ω lb/pulg
		A441,A242*	E70-bajo hidrógeno	
Soldadura de Ranura y Tapón	Cortante sobre la garganta	Lo mismo que la soldadura de filete		

* A242 soldable

² BLODGETT, Omer W., Design of Welded Structures, Pág. 2.10-2

Nota: El diseño de edificios se basa usualmente en condiciones estáticas de carga y, en consecuencia, el diseño de las conexiones soldadas será gobernado para valores estáticos de carga. Sin embargo, deben considerarse inversiones de esfuerzos para cargas de sismo o cargas móviles fuertes, tales como grúas o cargadores frontales pesados.³

En ciertos casos el tamaño del cateto necesario para soportar la carga actuante resulta demasiado corto, por lo que se prefiere usar soldadura intermitente. Para el cálculo del tamaño del cateto de soldadura intermitente se procede de la siguiente manera:

Se calcula en porcentaje:

$$\% = \frac{\text{Tamaño del cateto de la soldadura continua}}{\text{Tamaño mínimo de soldadura de filete}}$$

El tamaño mínimo de soldadura de filete se encuentra expresado según la Norma AWS D1.1 (ver Tabla 4.4).

Expresado como porcentaje, por medio de la tabla 4.7 se calcula la longitud y el espaciamiento entre centros del cordón de soldadura intermitente

Tabla 4.7. Longitud y Espaciamiento entre Soldaduras Intermitentes²

% Soldadura Continua	Longitud del Cordón (L) y Espaciamiento entre Centros (S) (Pulg)					
	L	S	L	S	L	S
75			3	4		
66					4	6
60			3	5		
57					4	7
50	2	4				
44					4	9
43			3	7		
40	2	5			4	10
37			3	8		
33	2	6	3	9	4	12
30			3	10		
25	2	8	3	12		
20	2	10				
16	2	12				

³ BRESLER, Lin y Scalzi, Diseño de Estructuras de Acero

² BLODGETT, Omer W., Design of Welded Structures

Si se suelda de manera intermitente, Figura 4.13, vigas simples o cuadradas el espaciado libre entre la soldadura (S) es:

Patines a tensión (AISC 1.18.3.1)

$$S \leq 24 \times \text{espesor de la placa más delgada} \leq 12''.$$

Patines a compresión (AISC 1.18.2.3)

$$S \leq \frac{4000 t_w}{\sqrt{\sigma_y}} \leq 12''$$

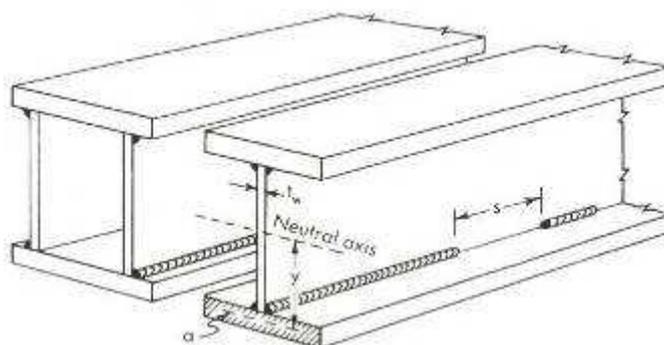


Figura 4.13. Soldadura longitudinal de filete

4.5.4 PROCESOS DE SOLDADURA^{4,15}

Los procesos de soldadura más comúnmente empleados (SMAW, GMAW, FCAW, SAW) en la fabricación de vigas y columnas se detallan a continuación:

4.5.4.1 SMAW (Shielded metal arc welding)

El proceso de soldadura SMAW o Soldadura de Arco con electrodo Revestido (Shielded metal arc welding), es uno de los procesos más ampliamente utilizado sobre todo para soldaduras cortas, no es utilizado para soldar espesores menores a 1,6 mm, la mayor parte de aplicaciones se encuentran entre 3 a 38 mm de espesor, sin embargo este proceso no tiene establecido un límite superior de espesor.

Las principales funciones del revestimiento del electrodo es proteger el metal derretido, estabilizar el arco de soldadura y añadir elementos de aleación.

⁴ BROCKENBROUGH, Roger, Manual de Diseño de Estructuras de Acero

¹⁵ The Lincoln Electric Company, New Lessons in Arc Welding

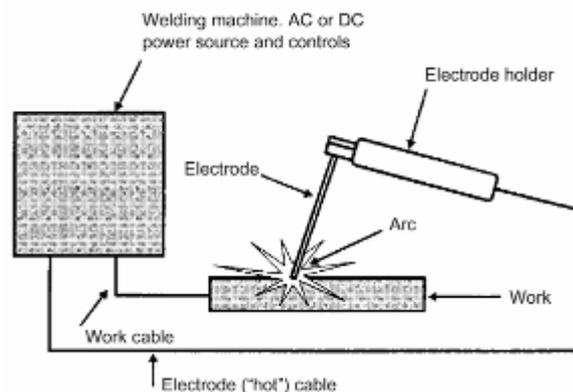


Figura 4.14. Circuito de Soldadura

Este proceso requiere de un suministro continuo de corriente eléctrica suficiente en voltaje y amperaje para mantener un arco. Esta corriente puede ser alterna (AC) o directa (DC), dependiendo del electrodo a utilizar, los cuales definen los requerimientos de voltaje (dentro de 20 a 40 V) y amperaje (dentro de 20 a 550 A). La tasa de deposición aumenta con el amperaje, el cual depende de varios factores como la posición de soldadura y el tipo de unión, además no conviene usar amperajes que rebasen el intervalo recomendado por los fabricantes del electrodo ya que puede sobrecalentarse, causar mucha salpicadura, agrietamiento del material de soldadura, entre otros.

En el Anexo 4 se presenta la relación entre tasa de deposición y corriente de soldadura para diversos tipos de electrodos de acero al carbón.

Sus principales Ventajas son:

- Baja inversión en los equipos de soldadura.
- Menor costo de los Electrodo.
- Flexibilidad de uso en todas las posiciones.
- No utiliza gases de protección ni un fundente granular.
- Se puede usar en áreas de acceso limitado
- Es menos sensible a las corrientes de aire.

Entre sus desventajas se tienen:

- Dificultad de uso para la producción en serie.
- Bajas eficiencias de deposición del material de aporte (+-60% en peso).
- Discontinuidad de los cordones de soldadura.
- Bajos valores del coeficiente de operación.
- Superficie de soldadura Áspera.
- Baja estabilidad del Arco
- Debe eliminarse escoria en los puntos donde se inicia y se detiene, y antes de depositar un cordón de soldadura junto a otro previamente realizado, o sobre él.

4.5.4.2 GMAW (Gas Metal Arc Welding)

El proceso de soldadura GMAW o Soldadura con alambre continuo bajo protección gaseosa (Gas Metal Arc Welding), es el único que puede soldar todos los metales y aleaciones comerciales, emplea un gas de protección que puede ser activo (MAG, metal active gas, CO_2) o Inerte (MIG, metal inert gas, Ar y He).

La función principal del gas es proteger el charco de soldadura de la atmósfera, ayudar a estabilizar el arco, regular la penetración y mejorar las propiedades mecánicas del metal de soldadura.

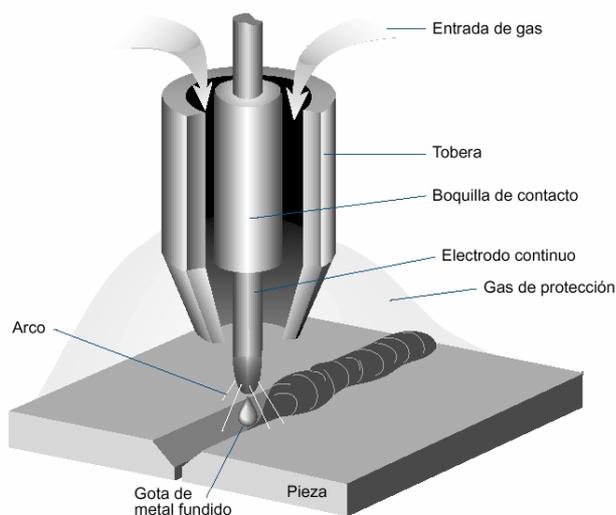


Figura 4.15. Soldadura GMAW

Tabla 4.8 Gases de Protección y Mezclas de gases para el Proceso GMAW¹³

Gas de Protección	Comportamiento Químico	Aplicaciones
Argón	Inerte	Para la mayoría de metales excepto acero
Helio	Inerte	Al y aleaciones de Cu
Ar y He (20-80 a 50 - 50%)	Inerte	Al y Aleaciones de Cu proporciona un arco más estable que el obtenido solamente con He
N ₂	Reductor	Utilizado en Cu
Ar + 25-30% N ₂	Reductor	Utilizado en Cu, mejor control del arco que el obtenido solamente con N ₂
Ar + 1-2%O ₂	Oxidante	Acero inoxidable y aleaciones de acero, también utilizado para algunas aleaciones de Cu
Ar + 3-5%O ₂	Oxidante	Aceros al Carbono, Aleaciones, Aceros inoxidables
Ar + 20-30%CO ₂	Oxidante	Diferentes tipos de aceros, usado principalmente en transferencia por corto circuito
Ar + 5 %O ₂ + 15 % CO ₂	Oxidante	Diferentes tipos de aceros
CO ₂	Oxidante	Aceros al carbono y de baja aleación

Dióxido de Carbono (CO₂).- Es un gas reactivo y puede ser usado para soldaduras bajo protección gaseosa de aceros al carbón y de baja aleación en el modo de transferencia por corto circuito, sus principales características son: mejor penetración, bajo costo, alta tasa de salpicaduras, no es aplicable a transferencia por aspersion.

Argón (Ar).- Es usado para la soldadura por aspersion de aluminio, magnesio, cobre y sus aleaciones. El Ar puro se usa para todos los metales excepto para el acero, por esto las mezclas de argón son preferibles, se lo utiliza en posiciones de soldadura plana y horizontal debido a que el argón es más pesado que el aire.

Helio (He).- Tiene poca aplicación en estado puro debido a su costo y a su peso por lo que no protege el arco de soldadura en la posición plana y horizontal, sin embargo se recomienda mezclado con argón para la soldadura de Cu, Ni, Al y sus aleaciones.

¹³ Lincoln Electric, Procedure Handbook of Arc Welding, 13 va Edición, pag, 4.1-18, 1994

Se recomienda mezclar los gases para obtener las mejores características de protección del arco de soldadura.

En el proceso GMAW existen cuatro tipos de transferencia del metal que son: Cortocircuito o por inmersión, Spray o por aspersion, Globular y Por pulsos.

4.5.4.2.1 Transferencia por Cortocircuito

La transferencia en cortocircuito produce un charco de soldadura pequeño, de rápida solidificación, que generalmente es apropiado para unir secciones delgadas, soldar fuera de posición y tapar aberturas de raíz anchas.

Este proceso se caracteriza por la utilización de bajos voltajes (de 19 a 20 V) y amperajes (de 125 a 150 A), además el flujo de CO₂ es de 8 – 10 L / min.

El CO₂ generalmente produce niveles de salpicadura elevados pero promueve la penetración, para lograr un término medio entre salpicaduras y penetración se suele usar mezclas de CO₂ y Argón para soldar aceros al carbono y de baja aleación.

En el Anexo 5 se especifican las ventajas de gases protectores para transferencia por cortocircuito

4.5.4.2.2 Transferencia por Spray

La transferencia por aspersion se efectúa en forma de gotas muy pequeñas a razón de centenares por segundo, es posible producir una modalidad de transferencia muy estable y libre de salpicaduras usando como gas protector el argón (argón \geq 80%). El gas protector para este tipo de transferencia puede ser: Argón-Helio, Argón - Oxígeno y Argón – CO₂.

Debido a la alta tasa de deposición de material se pueden presentar problemas en las posiciones Vertical y Sobre Cabeza.

Este modo de transferencia no es aplicable en láminas delgadas por las altas corrientes que se necesitan para producir el arco, por esto se recomienda utilizar placas mayores a 3.2 mm de espesor.

4.5.4.2.3 *Transferencia Globular*

La transferencia globular se caracteriza por el tamaño de gota mayor que el diámetro del electrodo, las densidades de corriente son más bajas que las de transferencia por aspersion y más altas que las de transferencia por corto circuito. Este proceso utiliza CO₂ puro, Helio o mezclado con argón, es únicamente aplicable a la posición plana.

Este proceso presenta dos limitantes las cuales son:

- Si la longitud del arco es muy corta puede producirse transferencia por corto circuito, sobrecalentándose y desintegrándose la gota de soldadura produciendo demasiadas salpicaduras.
- Si la longitud del arco es muy larga se obtiene una penetración insuficiente y falta de fusión.

4.5.4.2.4 *Transferencia por Pulsos*

La transferencia por pulsos es esencialmente una variación de la transferencia por aspersion que aprovecha sus características deseables en la soldadura de láminas y de metales gruesos en cualquier posición, se utiliza con argón como gas de protección y es usualmente usado cuando otra técnica de transferencia no es aplicable.

En el Anexo 4 se presenta la relación entre tasa de deposición y corriente de soldadura del proceso GMAW.

Entre las principales ventajas del proceso GMAW se tienen:

- No hay Paradas para cambiar electrodos.
- No hay que quitar escoria.
- Menos distorsión comparada con el soldeo manual.
- Mayor penetración.
- El arco se alimenta fácil y positivamente.
- Posibilidad de uso en todas las posiciones de soldadura.
- Tiene facilidad para la producción en serie.
- Mejor eficiencia de deposición que el proceso SMAW.

Entre las principales desventajas del proceso GMAW se tiene:

- Lugar de trabajo protegido de corrientes de aire.
- Los costos de los gases de protección son elevados.
- 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.

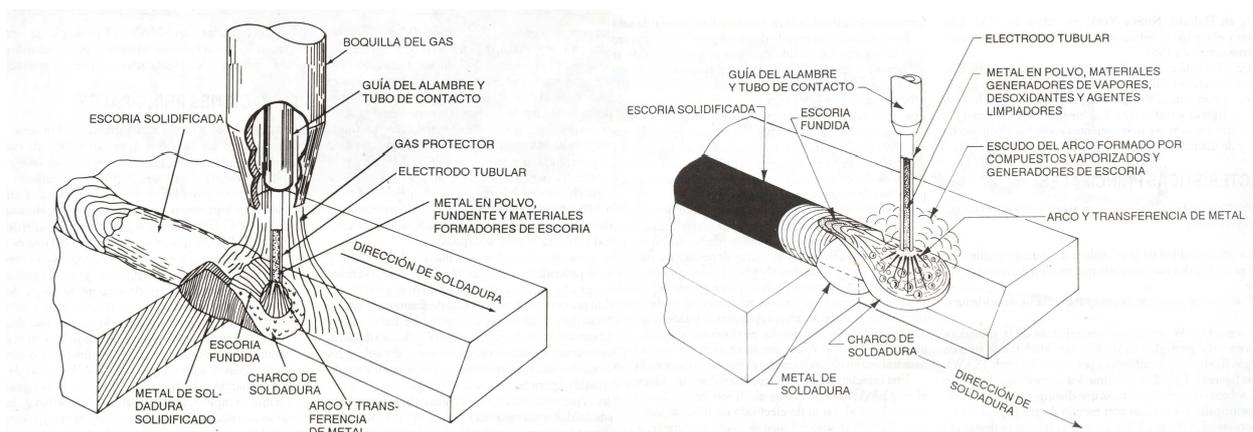
En el Anexo 6 se presenta una tabla de regulación de soldadura que muestra las velocidades de soldeo y flujo de gas empleados en el proceso GMAW.

4.5.4.3 FCAW (Fluxed Cored Arc Welding)

El proceso de soldadura FCAW o Soldadura de Arco con Núcleo de Fundente (Fluxed Cored Arc Welding) genera un arco eléctrico entre la punta de un electrodo tubular continuo y el metal base, este proceso se caracteriza por la inclusión de elementos fundentes dentro de un electrodo de alimentación continua, con este proceso se pueden soldar aceros al carbono y de baja aleación, aceros inoxidable y hierros colados.

Si el proceso usa gas de protección (CO_2 , CO_2 - Ar), además de la acción del núcleo fundente, se conoce como Outershield, el cual proporciona soldaduras angostas y penetrantes.

Cuando no existe gas de protección y el arco únicamente se protege mediante la descomposición y vaporización del núcleo de fundente, el proceso se conoce como Innershield, el cual proporciona soldaduras angostas y poco profundas lo que hace el proceso ideal para soldar materiales de espesor delgado.



Protección con Gas

Sin Protección Gaseosa

Figura 4.16. Soldadura de Arco con Núcleo de Fundente

Este proceso no sirve para pasos de raíz y es únicamente utilizado en pases de relleno, usa corriente directa (DC - o DC +)

Entre sus principales ventajas se tiene:

- Tasa de deposición alta
- Excelente aspecto de soldadura: lisa y uniforme.
- No requiere tanta limpieza previa como GMAW.
- Produce menor distorsión que SMAW.
- Factor operativo elevado.
- Tasa de deposición hasta 4 veces mayor que SMAW.

Sus principales desventajas son:

- Esta limitado a la soldadura de metales ferrosos y aleaciones con base de Níquel.
- El equipo es más costoso y complejo.
- El alimentador de alambre y la fuente de potencia deben estar relativamente cerca del punto de soldadura
- Se genera mayor cantidad de humos y vapores en comparación con GMAW y SMAW
- Produce una cubierta de escoria que es necesario limpiar.

4.5.4.4 SAW (Submerged Arc Welding) ¹⁶

Es un proceso automatizado de soldadura de alta productividad. El arco se inicia bajo una capa de fundente globular que se funde a la vez y forma escoria sobre el cordón, el propósito de éste es de proteger el metal fundido del oxígeno y del nitrógeno del aire y en parte suministrar elementos de aleación a la soldadura, se puede soldar espesores de 5 hasta más de 40 mm, sin embargo cuando se trata de soldar grandes espesores se recurren a varias pasadas de no más de 20 mm de espesor cada una. ⁴

Las corrientes usadas para este proceso varían en un rango que va desde los 200 hasta los 2000 amperios.

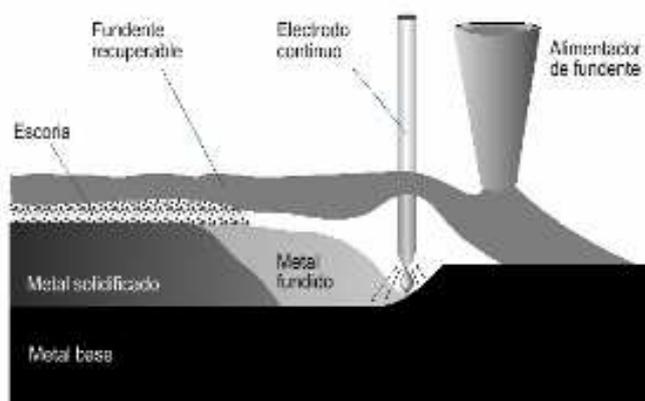


Figura 4.17. Soldadura SAW

Las máquinas usadas en SAW deben tener la capacidad de ser usadas al 100% del ciclo de trabajo.

Entre sus principales ventajas se tienen:

- La profunda penetración que permite un consumo reducido de material de aportación.
- Un elevado ciclo de trabajo
- Menor dependencia de la aptitud del operador comparado con el procedimiento de soldeo manual.
- Se tiene alta velocidad y rendimiento del 100%.
- La deposición es hasta tres veces más rápida que en soldadura manual.
- Las soldaduras son homogéneas de buen aspecto y de penetración uniforme.

¹⁶ ESPOL, Soldadura, Guayaquil, 1983

⁴ BROCKENBROUGH, Roger, Manual de Diseño de Estructuras de Acero

Entre sus principales desventajas se tiene:

- Se requiere una gran inversión
- Se puede soldar solamente en posiciones Plana u Horizontal.
- El equipo no es fácil de transportar.
- El consumo de energía eléctrica es mayor que en los otros procesos.
- No se puede usar para montaje o producción en campo

En el Anexo 7 se presenta una Tabla Comparativa de los Procesos de Soldadura descritos.

4.6 INSPECCIÓN⁶

Los métodos de inspección permiten detectar y evaluar las distintas discontinuidades que pueden existir en una junta soldada.

Mediante los procedimientos de inspección se pretende certificar la calidad de la soldadura aumentando la confiabilidad; prevenir accidentes y asegurar vidas humanas; controlar los procesos de manufactura y mantener la uniformidad del producto final.

La sección 6 de la AWS D1.1: 2002 contiene todos los requerimientos de inspección, criterios de aceptación de discontinuidades y procedimientos de ensayos no destructivos para la inspección de las soldaduras.

Esta norma establece que todo contratista debe contar con un inspector debidamente calificado quien se encargara de las inspecciones y ensayos de soldadura. El inspector deberá verificar la medida, longitud y localización de todas las soldaduras conforme a los requerimientos de la norma.

Los criterios de aceptación de discontinuidades se encuentran cubiertos en la parte C de la sección 6 de la norma.

⁶ AWS, Structural Welding Code-Steel AWS D1.1/D1.1M:2002

Los principales métodos de inspección son:

- Inspección Visual
- Tintas Penetrantes
- Partículas Magnéticas
- Ultrasonido
- Radiografía

4.6.1 INSPECCIÓN VISUAL

Requiere una persona competente que observe al soldador en operación mientras lleva a cabo su trabajo; consiste en la observación que hace un individuo a simple vista, o con aditamentos ópticos que hagan mejorar el alcance y definición visual; es un procedimiento simple, fácil de aplicar, rápido para efectuar y de bajo costo.

Mediante la inspección visual realizada en la soldadura se pueden revelar defectos, orientación y posición de las grietas en distintas zonas, porosidad superficial y posiblemente la orientación de la unión entre la zona de fusión con el metal base.

Es conveniente señalar que una inspección visual no permite dar conclusiones sobre el estado interno de una pieza.

Todas las soldaduras deben ser inspeccionadas visualmente y serán aceptadas si cumplen con el Criterio de Aceptación de la norma AWS D1.1: 2002 sección 6, tabla 6.1, Pág. 218. (ver Anexo 8)

4.6.2 TINTAS PENETRANTES

Es un método no destructivo de localización de fisuras superficiales o grietas que no son visibles a simple vista. El método de tintas penetrantes se aplica a todo tipo de superficies fisuradas, porosas y con cualquier clase de discontinuidad superficial. Soldaduras sometidas a inspección por tintas penetrantes serán evaluadas en la base de requerimientos aplicables para inspección visual (Anexo 8).

Los procedimientos de realización del ensayo de partículas magnéticas se encuentran descritos en la sección 6.14 de la AWS D1.1:2002.

4.6.3 PARTÍCULAS MAGNÉTICAS

La inspección por partículas magnéticas es un método de localización de discontinuidades en materiales magnéticos. Es excelente para detectar defectos superficiales en las soldaduras y revelar discontinuidades que son muy finas para ser observadas a simple vista. Con equipo especial también puede ser usado para detectar discontinuidades internas.

En este método se colocan limaduras de hierro sobre la soldadura, y se sujetan a una corriente eléctrica; las configuraciones adoptadas por las limaduras indicarán la presencia o no de grietas.³

Soldaduras sometidas a inspección por partículas magnéticas serán evaluadas en la base de requerimientos aplicables para inspección visual (Anexo 8).

Los procedimientos de realización del ensayo de partículas magnéticas se encuentran descritos en la sección 6.14 de la AWS D1.1:2002.

4.6.4 INSPECCIÓN POR ULTRASONIDO

Es un método de detección, localización y medición de defectos tanto internos como superficiales en los metales.

En este método se envían ondas de sonido a través del material, y los defectos afectan el intervalo del tiempo de la transmisión del sonido, el cual identificará los mencionados defectos³

Las principales características de este procedimiento son:

- Alta sensibilidad, permitiendo la detección de pequeños defectos.
- Habilidad para penetrar materiales de gran espesor.
- Exactitud en la determinación de la posición y el tamaño del defecto.
- Fácil lectura de los resultados.

En el Anexo 8 se presentan los criterios de aceptación para soldaduras sometidas a cargas estáticas y dinámicas inspeccionadas por ultrasonido. Los procedimientos de realización de ensayos de radiografía están cubiertos por la parte F de la sección 6 de la AWS D1.1:2002.

³ BRESLER, Lin y Scalzi, Diseño de Estructuras de Acero

4.6.5 RADIOGRAFÍA

Es uno de los métodos más ampliamente usados para detectar la presencia y naturaleza de defectos macroscópicos y otras discontinuidades en el interior de las soldaduras, es un proceso de inspección de materiales que utiliza radiación penetrante tal como los rayos X o Gamma.

Esta técnica se aplica mejor en las soldaduras a tope, donde la fotografía mostrara únicamente el material de aportación. No es adaptable a soldaduras de filete, porque el material base también se proyectará en la fotografía. El uso de esta técnica en el campo esta limitado por los espacios libres requeridos para el equipo y la película.

Los tres elementos básicos en la producción de radiografías son:

1. Una fuente de radiación.
2. El objeto a ser inspeccionado.
3. Un sobre conteniendo la película.

En una radiografía las regiones más oscuras representan las discontinuidades.

Según la AWS D1.1:2002, una discontinuidad alargada es aquella cuya longitud excede tres veces a su ancho; mientras que una longitud redondeada es aquella cuya longitud es tres veces su ancho o menos.

Los criterios de aceptación para soldaduras inspeccionadas mediante radiografía se indican en el Anexo 8. Los procedimientos de realización de ensayos de radiografía están cubiertos por la parte E de la sección 6 de la AWS D1.1:2002.

En el Anexo 9 se muestra una Guía de referencia de los métodos de inspección de soldadura.

La tabla 4.9 muestra un esquema simple para determinar el método de inspección recomendado para juntas a Tope y de Filete.

Tabla 4.9 Métodos de Inspección para Juntas de Filete y a Tope¹³

Inspección Recomendada para:		
Tipo de Defecto	Filete	Tope o de Ranura
Cordón delgado de Soldadura	Inspección Visual ¹	Inspección Visual
Superficie Porosa	Inspección Visual	Inspección Visual
Porosidades Internas	Destructivo	Radiografía
Socavaduras	Inspección Visual	Inspección Visual
Agrietamiento	Partículas Magnéticas Tintas Penetrantes Inspección Visual Destructivo ²	Partículas Magnéticas Tintas Penetrantes Inspección Visual Ultrasonido Radiografía ³
Falta de Penetración	Destructivo Ultrasonido	Radiografía Ultrasonido
Inclusiones de Escoria	Destructivo Ultrasonido	Radiografía Ultrasonido

Notas:

¹ Usar Calibradores

² Ensayos destructivos revelaran grietas internas

³ La inspección Radiográfica tiene sus limitaciones en el revelado de grietas

4.7 PINTURA ²

Cualquier superficie de acero (excepto ciertos aceros que producen una pequeña capa de oxidación la cual protege de la corrosión por ejemplo A242), gradualmente y progresivamente se oxidan si no son protegidas.

Antes que el elemento sea pintado hay que tener en cuenta que las superficies estén completamente limpias de escoria, salpicaduras, polvo, óxidos, grasas, etc., de manera que la pintura no sufra un descoloramiento, no se despegue y no posea burbujas, con lo que se garantiza una correcta protección contra la Oxidación al no existir superficies sin protección.

En la fase de Pintura se da el acabado final de la viga o columna antes de ser despachada, el pintado se realiza con una pintura anticorrosiva con lo que se evita la oxidación.

¹³ Lincoln Electric, Procedure Handbook of Arc Welding

² BLODGETT, Omer W., Design of Welded Structures

CAPÍTULO 5

ESTUDIO DE LA NORMA AWS D1.1: 2002

5.1 INTRODUCCIÓN

El presente capítulo contiene una revisión de la Norma AWS D1.1: 2002 que contiene los requerimientos de diseño, fabricación y montaje de estructuras de acero Soldadas.

Establece los principales requerimientos, limitaciones y alcances para Procedimientos de Soldadura.

Se tratará la Precalificación, Calificación, Fabricación e Inspección de los procedimientos de soldadura.

5.2 PRECALIFICACIÓN DE WPS

La precalificación de los WPS puede ser definida como una excepción de la calificación requerida en la sección 4. Los WPS que no cumplan los requerimientos de la sección 3 pueden ser calificados de acuerdo a la sección 4.

Soldadores, operadores y punteadores que usen WPS precalificados deben ser calificados de acuerdo a la sección 4, parte C.

- Los procesos de soldadura utilizados son: SMAW, SAW, GMAW (excepto GMAW-S: transferencia por corto circuito) y FCAW
- Únicamente las combinaciones de material base/material de aporte listada en la tabla 3.1 de la referencia 3.3 de la Norma puede ser usada para WPS precalificados, para material base y de aporte no mencionados en la tabla 3.1 ver sección 4.1.1

- La temperatura de precalentamiento y entre pases debe ser suficiente para prevenir agrietamientos. La tabla 3.2 de la sección 3.5 de la Norma establece las temperaturas mínimas.
- Los requerimientos Generales para la elaboración de los WPS precalificados se encuentran en la tabla 3.7, en la sección 3.7, entre estos requerimientos se tienen:
 - Requerimientos de soldadura vertical sección 3.7.1
 - Limitaciones en la relación ancho profundidad sección 3.7.2
 - Requerimientos para la protección del Acero sección 3.7.3
- Los requerimientos de la soldadura de filete se encuentran en la sección 3.9, mientras que los tamaños mínimos de soldadura de filete se encuentran en la tabla 5.8 de la Norma. (ver capítulo 4, sección 4.5.3)
- Los detalles de las soldaduras de Tapón y de Ranura hechas por procesos SMAW, GMAW o FCAW (excepto GMAW-S) se encuentran en la sección 3.10, y están descritas en las secciones: 3.10.1 a la 3.10.3, 2.5.2 a la 2.5.6, y estas pueden ser realizadas sin la correspondiente calificación del WPS en la sección 4, utilizando la técnica que se encuentra en la sección 5.25.
- Los requerimientos para soldaduras de bisel se encuentran en la sección 3.11.
- Los requerimientos para juntas de penetración parcial se encuentra en la sección 3.12.
 - Las soldaduras de ranura de penetración parcial deben ser realizadas usando los detalles de la junta de la Figura 3.3
 - El tamaño de soldadura de Juntas de Penetración Completa precalificadas se encuentra en la Figura 3.3.
 - Los mínimos tamaños de soldadura de ranura se encuentran en la Tabla 3.4
- Los requerimientos para juntas de penetración completa se encuentra en la sección 3.13.
 - Las soldaduras de ranura de penetración completa deben ser realizadas usando los detalles de la junta de la Figura 3.4

El uso de un procedimiento precalificado de juntas soldadas no es un sustituto de la aprobación del Ingeniero, tanto en producción como en montaje.

5.3 CALIFICACIÓN

Esta sección cubre la calificación de la Especificación del Procedimiento de Soldadura (WPS) y la calificación del personal de soldadura (soldadores, operadores de soldadura y punteadores). A excepción de los WPS precalificados de acuerdo con la sección 3, todo WPS usado en el proceso de soldadura deberá ser calificado de acuerdo con la parte B de la sección 4.

El fabricante o contratista deberá preparar un WPS escrito que especifique todas las variables esenciales de soldadura aplicadas.

Las probetas de ensayo para la calificación de WPS se obtendrán mediante corte por plasma directamente de las placas soldadas de acuerdo a lo que se indica en la sección 4.8 de la norma. El tipo y número de pruebas de calificación requeridas para calificar un WPS para un espesor dado será conforme a lo que indica la tabla 4.2 (para juntas de penetración completa), Tabla 4.3 (juntas de penetración parcial) o Tabla 4.4 (filete) de la sección 4.4 de la norma.

Para la calificación de un WPS se debe satisfacer:

- Requerimientos de la inspección visual de las juntas soldadas.(sección 4.8.1)
- Requerimientos de ensayos no destructivos. (sección 4.8.2)
- Requerimientos de ensayos destructivos. (sección 4.8.3)
 - Doblado de Raíz, Cara y Lado. (sección 4.8.3.1)
 - Tensión en Sección Reducida. (sección 4.8.3.4)
 - Ensayo micrográfico. (sección 4.8.4)

Si alguna de las probetas ensayadas no cumple con los requerimientos especificados por la norma, se debe realizar dos reensayos para la prueba fallada. Las dos probetas deben cumplir con los requerimientos del ensayo a realizar.

La calificación del personal de soldadura está cubierta por la parte C de la sección 4; se toman en cuenta las siguientes consideraciones en la calificación:

- La calificación es válida para un determinado proceso.
- El cambio de posición de soldadura requiere calificación.
- En un procedimiento calificado puede utilizarse o combinarse otros metales base que pertenezcan al grupo del metal base calificado en dicho proceso, si se utiliza un material de otro grupo, se requiere una nueva calificación.
- Puede incrementarse el diámetro del electrodo hasta 0.8 mm más que el utilizado en el procedimiento de calificación
- El soldador deberá seguir la especificación del procedimiento de soldadura.
- La limpieza de la soldadura deberá realizarse en la misma posición que la de la calificación especificada.

Las placas de prueba para la calificación del personal de soldadura deben someterse a pruebas de doblado, sin embargo, pueden ser reemplazadas por ensayos de radiografía. Los requerimientos de aceptación deberán sujetarse a lo especificado en las secciones 4.30 y 4.31.

5.4 FABRICACIÓN

La presente sección detalla todas las disposiciones de preparación, armado y montaje de las estructuras a ejecutarse por cualquier proceso de soldadura aceptado por este código (sección 3.2)

Esta sección provee información referente a:

- Especificaciones del material base, sección 5.2
 - La lista de materiales de la tabla 3.1 o Anexo M pueden ser utilizados.
- Requerimientos de electrodos y Consumibles de Soldadura, sección 5.3
- Temperaturas de Pre calentamiento y entre pases
 - Si se requiere pre calentamiento, la temperatura no será menor que la descrita en el WPS, ver sección 3.5 de la Norma.
- Placas de respaldo se encuentran en la sección 5.10
- Las condiciones ambientales del entorno de soldadura se encuentran en la sección 5.12

- Para el proceso GMAW, la máxima velocidad del viento en su entorno deberá ser de 8 kilómetros por hora.
- No se debe soldar cuando la temperatura del ambiente es menor que $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$, o cuando la superficie se encuentra húmeda, o existen altas velocidades del viento.
- Los tamaños mínimos de soldadura de filete se encuentran en la sección 5.14 (ver capítulo 4, sección 4.5.3)
- La preparación del material base, sección 5.15
 - La superficie donde se va a depositar el material de aporte debe ser, liso, uniforme, libre de porosidades y otras discontinuidades que afectan a la calidad de la soldadura.
 - La superficie se debe encontrar libre de grasas, óxidos, y otros materiales que no permiten una correcta unión entre los materiales a ser unidos.
 - La preparación de la junta se encuentra en la sección 5.15.2
- Tolerancias de dimensiones de la Junta, sección 5.22
 - Las partes a ser unidas mediante soldadura de filete deben ser puestas en contacto lo más cercanas posibles. La abertura de raíz no debe exceder 5 mm, excepto en perfiles o láminas de 75 mm o de mayor de espesor, en tal caso la abertura de raíz máxima que puede ser usada es de 8 mm mediante el uso de una placa de respaldo. Si la separación es mayor a 2 mm. el cateto de soldadura debe ser incrementado en la misma cantidad de la abertura de raíz, o el contratista deberá demostrar que la garganta efectiva ha sido obtenida. (sección 5.22.1)
 - La separación entre superficies de contacto de soldaduras de tapón, ranura y juntas a tope, no deben exceder 2 mm. (sección 5.22.1.1)
 - El alineamiento de juntas a tope no debe exceder el 10% de el espesor más delgado de la parte a ser unida, o 3 mm. (sección 5.22.3)
- Tolerancias Dimensional de Miembros Estructurales Soldados, sección 5.23
 - Para construcción de perfiles H o I, la máxima variación entre el alma y el centro del patín es de 6 mm. (sección 5.23.7)
 - La curvatura e inclinación del Patín no debe exceder del 1% del ancho total del patín o 6 mm. (sección 5.23.8)

- Perfiles de Soldadura, sección 5.24
 - La figura 5.4 indica los criterios de aceptación para juntas de ranura y de filete (ver capítulo 4, sección 4.5.3)
- Reparación , sección 5.26

5.5 INSPECCIÓN

Contiene los requerimientos para la calificación de inspectores y sus responsabilidades, criterios de aceptación para discontinuidades y procedimientos para ensayos no destructivos.

Esta sección proporciona información referente a:

- Requerimientos para la calificación del inspector, sección 6.1.4
- Obligaciones del contratista, sección 6.6
- Los criterios de aceptación para inspección visual y de ensayos no destructivos se encuentran cubiertos por la parte C de la sección 6 del código, (ver capítulo 4, sección 4.6)
 - Inspección Visual, sección 6.9.
 - Tintas Penetrantes y partículas magnéticas, sección 6.10
 - Inspección Radiográfica, sección 6.12
 - Ultrasonido, sección 6.13
- Aplicaciones y limitaciones de los ensayos no destructivos en la inspección de conexiones soldadas, sección 6.14.
 - Radiografía, sección 6.14.1
 - Ultrasonido, sección 6.14.3
 - Partículas Magnéticas, sección 6.14.4
 - Tintas Penetrantes, sección 6.14.5
- La parte E de la sección 6 contiene toda la información referente al procedimiento de inspección radiográfica.
- La parte F cubre los procedimientos, estándares y técnicas para la realización de ensayos de ultrasonido.

CAPÍTULO 6

TIPOS DE EMPRESAS QUE SE DEDICAN A LA FABRICACIÓN DE VIGAS Y COLUMNAS METÁLICAS

6.1 INTRODUCCIÓN

El proceso de fabricación de Vigas y Columnas Metálicas deberá ser planificado en función de los requerimientos o metas de eficiencia y productividad global.

Un adecuado proceso de producción deberá utilizar una mínima cantidad de equipos y mano de obra para producir productos libres de defectos, en el menor tiempo posible con la menor cantidad de pérdidas.

En el presente capítulo se describen los procesos de producción de dos plantas encargadas de la fabricación de vigas y columnas la primera es OSPINING S.A que realiza la elaboración de los elementos completamente en taller, y la segunda es la empresa JVJ que se dedica a la construcción en el lugar de la obra.

Posteriormente se comparan los procesos detallados para identificar los principales problemas en la producción y en las secuencia de fabricación.

6.2 PROCESO DE PRODUCCIÓN DE OSPINING S.A

La empresa OSPINING S.A se dedica a la fabricación en taller de vigas y columnas para edificios. En realidad OSPINING es la encargada de la parte administrativa y del diseño de los elementos estructurales.

Esta empresa además cuenta con dos filiales las cuales son:

FABSTEEL S.A.- Es la encargada de la fabricación y Montaje de vigas y columnas.

MAKEMAQ S.A.- Se encarga del transporte, Máquinas y de todos los trabajos pequeños (gradas, aletas, tapas, mantenimiento de maquinaria, etc).

6.3 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN DE FABSTEEL S.A

El proceso de fabricación se denomina a la sucesión ordenada de etapas y sub-etapas necesarias para obtener un determinado producto. Donde la etapa sistematiza una parte del proceso de fabricación, mientras que la sub-etapa es el conjunto de operaciones que realizan en el producto.

En la Figura 6.1 se observa los distintos procesos involucrados en la fabricación de vigas, a continuación se detalla cada uno de estos.

Las máquinas utilizadas en la planta se describen en la sección 7.4

En el Anexo 10 se presenta la distribución de la Planta FABSTEEL S.A y MAKEMAQ S.A y los puestos de trabajo.

6.3.1 ALMACENAMIENTO DE MATERIA PRIMA

El acopio de materia prima en la Empresa FABSTEEL se realiza al ingreso de la planta, la cual se clasifica de acuerdo al tipo y espesor de las láminas metálicas.

Las láminas generalmente son de 2400, 3000 y 6000 mm de longitud por 2400 mm de ancho y de espesor variable, el cual depende del diseño; las planchas de 6000 mm de longitud son cortadas a 3000 mm, para facilitar el posterior proceso de corte.

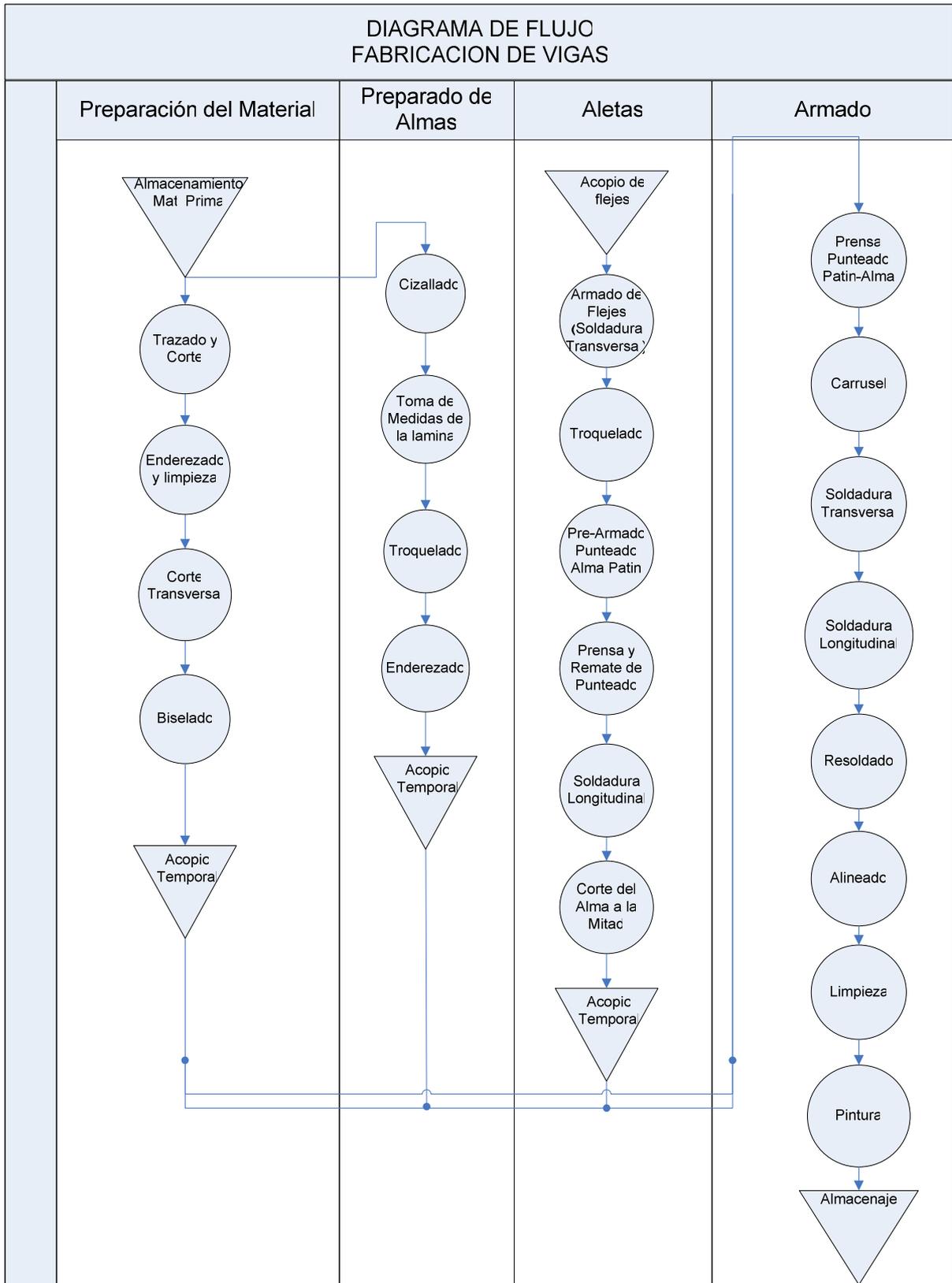


Figura 6.1 Diagrama de Flujo de la Fabricación de Vigas.

6.3.2 PREPARACIÓN DEL MATERIAL

Es una de las secciones de producción, donde se realizan actividades importantes en la preparación del material, basándose en los planos y especificaciones de diseño, estas actividades son:

- **TRAZADO Y CORTE**

Es una de las principales actividades, la misma que tiene que ser ejecutada con precisión, ya que de esta depende la exactitud de las dimensiones de los elementos que van a conformar las vigas o columnas, el trazo se lo realiza de manera manual.

En esta sección se cortan espesores mayores a 6 mm (generalmente placas de columnas y patines), el corte se realiza por medio de máquinas de plasma mediante un proceso semiautomático, mientras que los espesores menores o iguales a 6mm se los realiza en una cizalla (generalmente las almas de las vigas). En esta sección las láminas metálicas son cortadas al ancho requerido según diseño y con una longitud máxima de 3000 mm.

- **ENDEREZADO Y LIMPIEZA**

Enderezado.-Tiene la finalidad de que la lámina quede perfectamente plana, antes de pasar a la etapa de armado.

Como resultado del proceso de corte la lámina metálica sufre una pequeña distorsión (pandeo) debido a la aportación de calor, para corregir este pandeo es necesario recurrir al enderezado con el fin de que tenga una completa rectitud, antes de proporcionar las dimensiones exactas de acuerdo al plano de diseño.

Antes del enderezado es necesario limpiar la escoria de las partes expuestas al corte por plasma.

El enderezado se lo realiza de manera manual mediante dos rodillos superpuestos por los cuales se hace pasar la lámina metálica una y otra vez hasta que quede completamente recta, la misma que es verificada de manera visual.

- **CORTE TRANSVERSAL**

Es la actividad con la que se proporciona las medidas exactas de longitud tanto para placas de columnas como para patines. Además se realiza el biselado de

los patines y algunas veces se cortan placas que van a conformar el alma de la viga cuando el espesor del material es superior a 6 mm. También se cortan los agujeros, rigidizadores, tapas de columnas (van hacia MAKEMAQ), etc. El corte se realiza por medio de máquinas de plasma mediante un proceso semiautomático.

- **CIZALLADO**

En la cizalla se cortan las láminas de espesor menor a 6 mm, que generalmente es la parte constitutiva de la viga (alma), en esta sección la lámina se corta con el ancho requerido según diseño. Cuando el alma posee un espesor superior a 6 mm esta es cortada por Plasma.

- **PREPARADO DE ALMAS**

Es una actividad que consiste en la toma de medidas de distancias entre agujeros, diámetros, etc., tanto para el troquelado como para el corte por Plasma, según el diseño de la viga (alma).

- **TROQUELADO**

Es una actividad que consiste en la realización de agujeros de acuerdo al diseño, el diámetro del troquel es de 50 mm, si existen agujeros con diámetros superiores a estos se realiza a mano en la etapa anterior (Preparado de Almas) mediante corte por plasma.

6.3.3 ARMADO DE VIGAS

Es una sección en la cual se realiza la unión de las piezas que previamente han pasado la sección de Preparación del Material, las actividades de armado son:

- **PREPARADO PATÍN ALMA**

Es una actividad que consiste en la unión (punteado) de patines y almas, los patines pueden ser con o sin aleta, los patines con aletas son realizados en otra sección MAKEMAQ (sección 6.4). La máquina utilizada para este proceso es de electrodo manual, por lo general el tipo de electrodo utilizado es AWS E-6013 de 3mm de diámetro, este proceso es totalmente manual.

- **PRENSADO**

El prensado tiene como finalidad la perfecta alineación entre el patín y el alma para posteriormente realizar el punteado a lo largo de toda la viga, logrando que el armado de la viga sea más sencillo.

La máquina utilizada para este proceso es de electrodo manual, por lo general se utiliza un electrodo AWS E-6011 de 3mm de diámetro, este proceso es totalmente manual.

- **SOLDADURA LATERAL**

Es una actividad que consiste en la soldadura de la sección lateral de la viga. El tipo de soldadura utilizada en este proceso es la soldadura MIG, en la cual se utiliza un electrodo AWS ERX70S-6 de 1,2 mm de diámetro y como gas de protección AGA MIX 20 (CO₂ 20% y Ar, con +/- 10% de tolerancia).

- **SOLDADURA LONGITUDINAL**

La soldadura longitudinal consiste en soldar el alma-patín a todo lo largo de la viga, se realiza únicamente a lo largo de una sola cara cuando el espesor de la lámina es menor a 5 mm, en caso contrario se suelda a ambos lados.

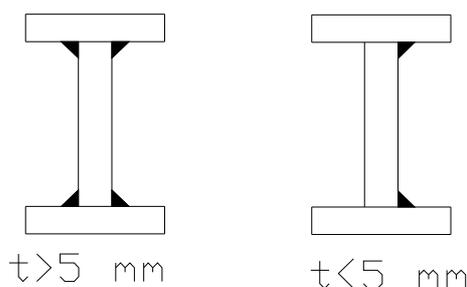


Figura 6.2 Soldadura Longitudinal.

El tipo de soldadura utilizada para la soldadura longitudinal como para el resoldeo es la misma que la utilizada en la soldadura transversal.

El resoldeo consiste en la soldadura de rigidizadores y pasadores los cuales sirven como conductos para las distintas instalaciones de las edificaciones.

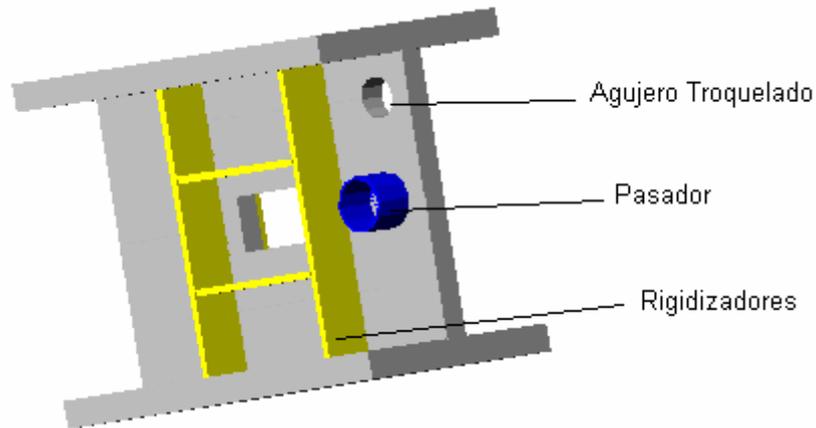


Figura 6.3 Resoldeo.

* No se realiza ninguna inspección de soldadura.

- **CONTRAFLECHA**

La contraflecha es la curvatura que se proporciona a un miembro estructural, con sentido contrario a la deflexión producida por las cargas actuantes, para que no parezca estar colgado.

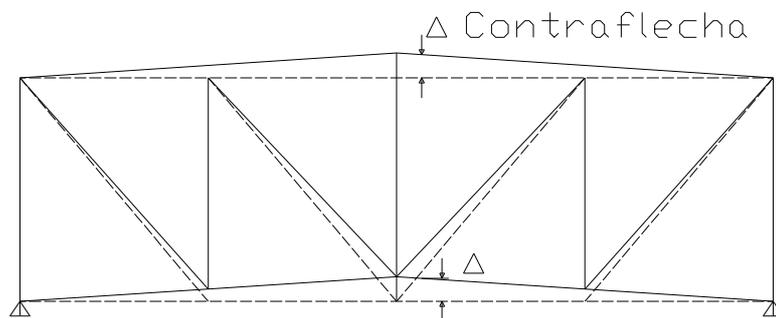


Figura 6.4 Contraflecha.

- **ENDEREZADO**

Debido al aporte de calor en los últimos procesos de armado de la viga, esta sufre una deformación la cual es corregida en la sección de enderezado, por medio de un cilindro hidráulico se alinea la viga, la rectitud es verificada visualmente.

6.3.4 ARMADO DE COLUMNAS

Es una sección en la cual se realiza la unión de las piezas que previamente han pasado la sección de Preparación del Material (ver figura 6.1), estas actividades de armado son:

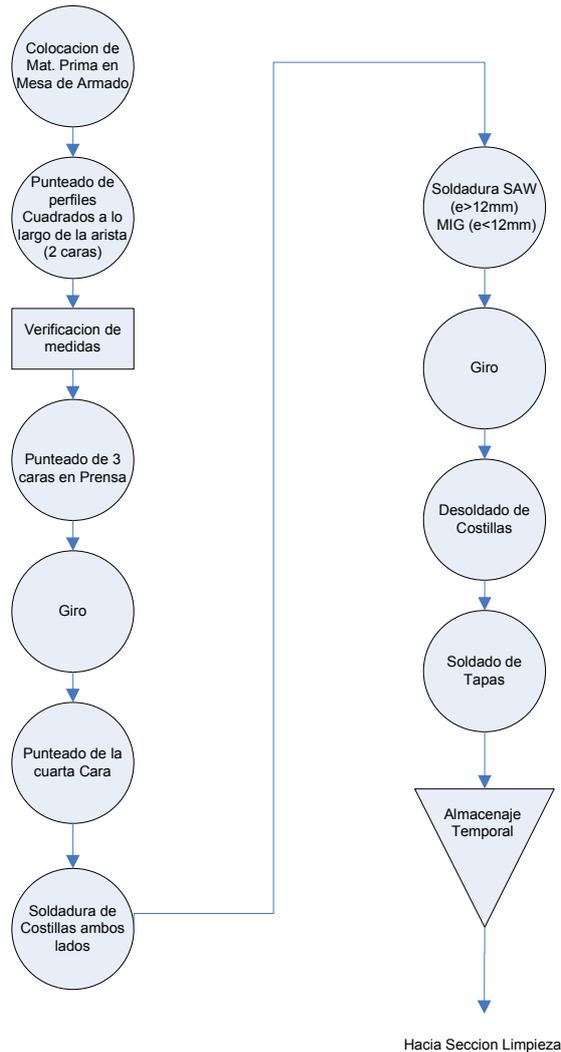


Figura 6.5 Diagrama de Flujo de la Fabricación de Columnas.

- **SOLDADURA DE PERFILES METÁLICOS**

El armado de columnas comienza por la soldadura de 2 varillas cuadradas de 8 mm a lo largo de las aristas de dos láminas laterales, estas varillas sirven como guía para la unión de las dos láminas restantes. La máquina utilizada para este proceso es de electrodo manual, el tipo de electrodo utilizado es AWS E-6011, este proceso es totalmente manual.

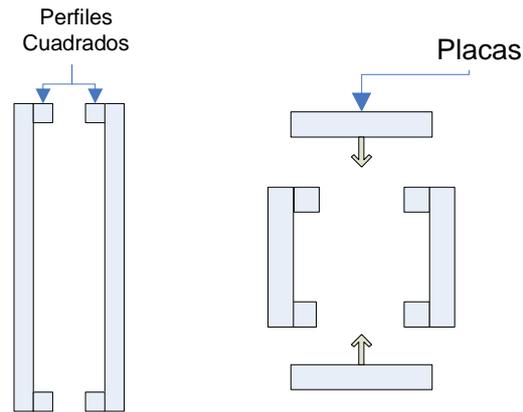


Figura 6.6 Soldadura de Perfiles Cuadrados

- **PRENSADO**

El prensado tiene como finalidad la perfecta alineación entre las cuatro caras de la columna, logrando que el armado de la columna sea más sencillo. Una vez alineadas las caras se realiza el punteado. La máquina utilizada para este proceso es de electrodo manual, por lo general se utiliza un electrodo AWS E-6011 de 3mm de diámetro, este proceso es totalmente manual.

- **SOLDADURA DE COSTILLAS**

Una vez que la columna ha sido punteada, en los extremos se suelda las costillas (soldadura en X de 2 varillas a cada extremo de la columna), con el fin que cuando se suelde longitudinalmente la columna no sufra deformación.

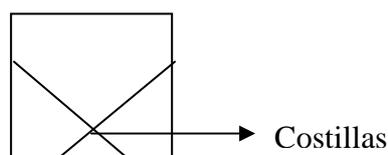


Figura 6.7 Soldadura Costillas

- **SOLDADURA LONGITUDINAL**

La soldadura longitudinal de la columna se realiza mediante los siguientes procesos:

Soldadura MIG.- Cuando el espesor de las placas de la columna es menor a 12mm.

Soldadura SAW.- Cuando el espesor de las placas de la columna son mayores o iguales 12 mm.

Una vez soldada longitudinalmente la columna, las costillas son desoldadas para pasar a la colocación de las varillas de refuerzo (varillas corrugadas soldadas en las caras internas de la columna) o directamente a la soldadura de las tapas (MAKEMAQ S.A, sección 6.4)

6.3.5 ACABADOS

En sección se realiza los acabados de las vigas y columnas por medio de las siguientes actividades.

- **LIMPIEZA**

Se realiza la limpieza de salpicaduras por medio de un cincel, gratas y amoladora a los cordones de soldadura con el fin de que tengan un buen acabado superficial.

No se realiza ninguna inspección de la limpieza antes de pasar a la etapa de pintura.

- **PINTURA**

En la sección de Pintura se da el acabado final de la viga o columna antes de ser despachada para la obra, la pintura es anticorrosiva de Color gris, además en esta última etapa se coloca la designación correspondiente para el montaje en la obra.

Una vez pintada la viga o columna permanece por el lapso de 20 a 25 minutos antes de ser despachada, esto se realiza con el fin de que la pintura seque y tenga un buen acabado superficial y libre de imperfecciones.

6.4 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN DE MAKEMAQ S.A.

La empresa MAKEMAQ S.A se encarga de la fabricación de aletas y tapas que son partes constitutivas de las vigas y columnas.

6.4.1 FABRICACIÓN DE ALETAS

La aleta cumplen la función de mantener unida la losa de concreto con el patín superior del perfil de acero, para que el concreto trabaje como una unidad, para esto debe cumplir estos dos requisitos:

- Resistir la fuerza cortante horizontal que se origina entre la viga y la losa, impidiendo su deslizamiento relativo
- Evitar que la losa se levante, separándose del perfil, por efecto de las cargas.

Las aletas generalmente son de espesores de 3 y 5 mm con una altura estándar de 119 mm, al igual que los agujeros troquelados siempre tienen un mismo espaciado entre ellos y de igual diámetro.

La materia prima necesaria para la fabricación es recogida de la sección de corte transversal (sección 6.3.2).

El proceso de fabricación de las aletas es exactamente igual al de las vigas, la diferencia radica en:

- La altura del alma de la viga es el doble de la aleta. (Altura de la viga 238 mm).
- Se realizan agujeros al alma mediante un troquel en cada sección (ver Figura 6.8) Los agujeros son de diámetro de 10 mm.

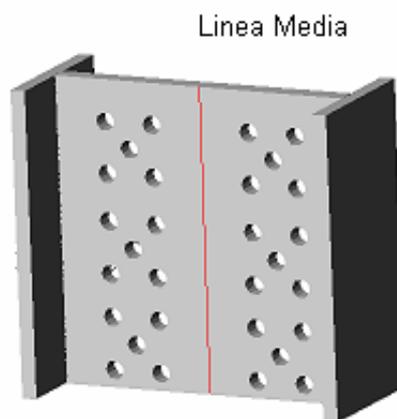


Figura 6.8 Viga con el Alma Agujereada

- Se corta longitudinalmente por el centro del alma (línea media), obteniéndose dos aletas al mismo tiempo.

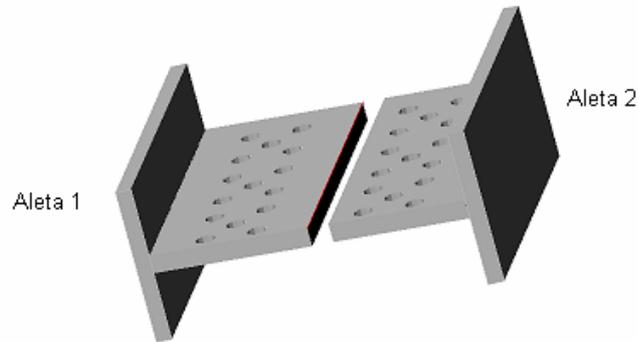


Figura 6.9 Corte en la Línea Media

En el Anexo 11 se presenta el diagrama de flujo del proceso de fabricación de alas.

6.4.2 PREPARACIÓN DE TAPAS DE COLUMNA

Para el levantamiento de los diferentes niveles es necesaria la colocación de tapas (tapa macho y tapa hembra) en las columnas las mismas que permiten la conexión entre columnas.

El proceso de fabricación consiste en:

- La materia prima proviene de la sección 6.3.2
- Se realiza agujeros en el centro de la tapa mediante corte por plasma (diámetro de agujero depende del diseño, tocadiscos de corte ver Anexo 10).

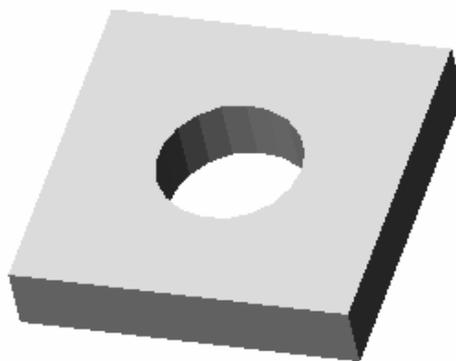


Figura 6.10 Tapa

- Se realiza agujeros alrededor del agujero central mediante taladrado por los cuales pasaran varillas de refuerzo, en este caso se trata de una tapa hembra.

Tapa Hembra

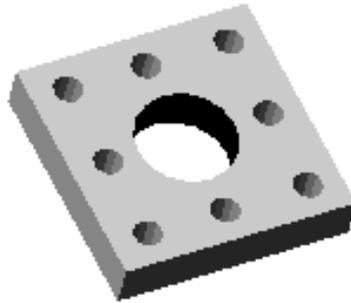


Figura 6.11 Tapa con Agujeros

- A la tapa macho se suelda un tubo (pasador) alrededor del agujero central, por el cual se acoplara a la tapa hembra.

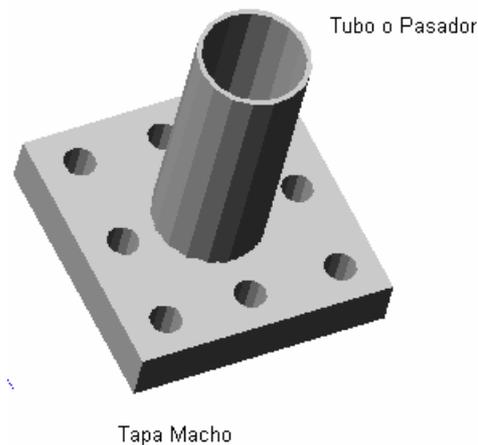


Figura 6.12 Tapa Macho

6.5 PROCESO DE PRODUCCIÓN DE JVJ

El presente estudio se realizó también en base a la empresa JVJ encargada de edificar el conjunto habitacional Torres de Quitumbe; el proyecto consiste en el levantamiento de cinco bloques de 5, 6 y 8 pisos de altura, un parqueadero subterráneo y la construcción de casas de 3 plantas. En este caso el proceso de fabricación de vigas y columnas se realiza en el lugar de la obra para posteriormente proceder con el respectivo montaje. La fabricación y montaje es completamente manual.

El proyecto total se encuentra dividido en cuatro equipos de trabajo, los cuales están representados por un jefe de grupo responsable de la producción.

Tabla 6.1. Equipos de Trabajo del Proyecto Torres de Quitumbe

Grupo	Jefe de Grupo	# Personas	Obra
1	Sr. Romero	15	Casas de 3 plantas y parqueadero subterráneo
2	Sr. Jorge Calero	8	Bloques A y B de 6 pisos.
3	Sr. Luis Pantoja	8	Bloque C de 5 pisos.
4	Sr. Guaicha	15	Bloques D y E de 8 pisos.

6.6 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN DE JVJ

La fabricación de vigas y columnas se realiza en 2 turnos por equipo de trabajo de 8 horas laborales cada uno. El principal inconveniente en la producción es la falta de suministro eléctrico debido a la limitada capacidad de la red de energía eléctrica del sector. A continuación se detallan los procesos de fabricación:

6.6.1 ALMACENAMIENTO DE MATERIA PRIMA

Se solicita al proveedor que proporcione las láminas metálicas (Acero A36) cortadas de acuerdo a los diferentes anchos de patines, almas y placas de columnas en espesores de 4, 6, 8 y 12 mm de espesor y en longitudes de 6 m de largo. De esta manera se eliminan las operaciones de corte longitudinal y enderezado. Se almacena la materia prima cerca de los lugares de armado, para facilitar la manipulación de la misma.

6.6.2 PREPARACIÓN DEL MATERIAL

Se realiza esencialmente operaciones de trazado y corte transversal de acuerdo a la longitud requerida. El corte se realiza con amoladora, plasma y oxicorte.

Se emplea amoladora cuando se realizan cortes en espesores de 4 y 6 mm. Se corta con plasma placas de hasta 8 mm. de espesor. En espesores de hasta 12 mm se utiliza oxicorte, en este caso el gas de precalentamiento empleado es el gas natural debido a su menor costo en relación con el acetileno.

Nota: Utilizan oxicorte porque no poseen máquinas de plasma que corten espesores mayores a 6 mm.

6.6.3 ARMADO DE VIGAS

El armado de vigas consiste en dos etapas claramente diferenciadas, la primera consiste en el punteado de patines y almas y la segunda en el remate o soldadura propiamente dicha.

- **PUNTEADO PATÍN – ALMA**

Es una actividad completamente manual, se realiza el trazado en el centro y a lo largo del patín con ayuda de una matriz, se procede al punteado del alma colocándola a tope en la mitad del patín, los puntos de soldadura se realizan cada 200 mm con electrodo E6011 de 3 mm de diámetro; se colocan varillas de refuerzo entre el patín y alma para darle perpendicularidad y evitar la distorsión del alma.

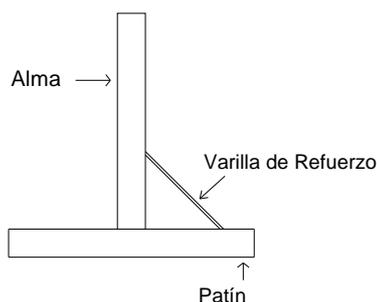


Figura 6.13. Varilla de refuerzo

- **SOLDADURA (REMATE)**

Se realiza soldadura de filete intermitente de 200 mm de longitud a ambos lados del alma para este proceso se emplea electrodo E6011 de 3 mm de diámetro para espesores de 4 mm y 4 mm de diámetro para espesores de 6 mm, en espesores mayores se emplea E6011 para pases de raíz y E6013 para pases de relleno; también se utiliza MAG con CO₂ como gas de protección, con electrodo ER70S-6 de 1,2 mm de diámetro; se prefiere el empleo de electrodo revestido debido a que no existe una área que preste las condiciones adecuadas para el proceso MAG.

Se debe cuidar que el tamaño de la soldadura sea como mínimo igual al espesor del alma como se muestra en la figura 6.14.

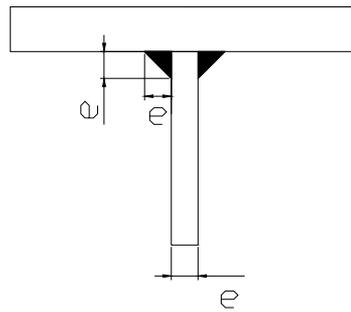


Figura.6.14 Tamaño de la soldadura

* No se realiza Ninguna inspección

6.6.4 ARMADO DE COLUMNAS

Cuando se han cortado las placas a la longitud requerida se procede al punteado. El alineamiento se realiza manualmente procurando poner en contacto ambas esquinas como se muestra en la Figura 6.15 con la finalidad que la penetración sea buena, se utiliza electrodo E6011 en este proceso.

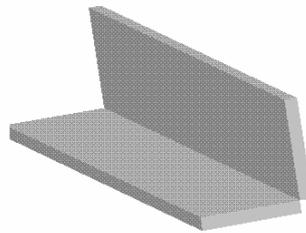


Figura 6.15. Colocación de placas para columnas

Luego de realizar el punteado de estas dos primeras placas se procede a la colocación de costillas a todo lo largo de las placas, para que exista perpendicularidad, alineamiento y rigidez de los elementos.

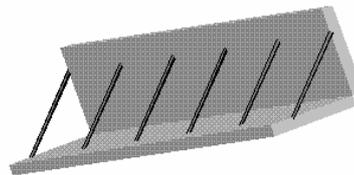


Figura 6.16. Colocación primaria de costillas

Siguiendo el mismo procedimiento se coloca una tercera placa y se sueldan las costillas de tal forma que queden cruzadas con las costillas previamente colocadas.

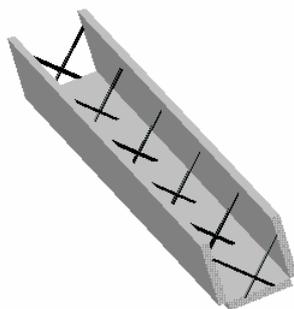


Figura 6.17. Colocación secundaria de costillas

Finalmente se coloca una cuarta placa quedando completamente conformada la columna.

El remate o soldadura longitudinal de la columna se hace de manera intermitente ya sea con electrodo E6011 de 3 mm de diámetro para el pase de raíz y E6013 para los pases de relleno, o mediante MAG utilizando CO_2 como gas de protección con electrodo ER70S-6 de 1,2 mm de diámetro.

La soldadura intermitente a lo largo de toda la columna debe procurarse que sea realizada en forma alternada como se muestra en la figura 6.18:

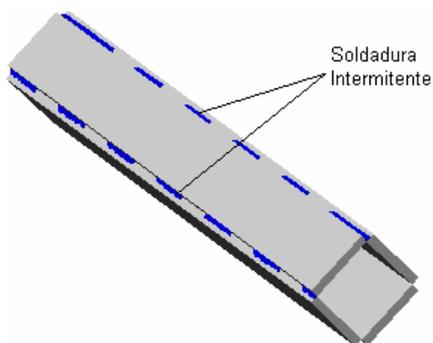


Figura 6.18. Soldadura intermitente alternada

6.6.5 ACABADOS

Es la parte final del proceso de fabricación; consiste en realizar las operaciones de limpieza y pintado; la limpieza de las superficies exteriores se realiza con la ayuda de gratas y amoladoras, se utiliza pintura anticorrosiva de color gris.

6.7 COMENTARIOS RELACIONADOS CON LOS MODELOS DE PRODUCCIÓN OBSERVADOS

6.7.1 OSPINING

- Existen demasiadas demoras de la producción.
- No existe un flujo de material adecuado.
- Consiste en un modelo tradicional que únicamente se ha preocupado por mejorar los procesos individualmente y no como un conjunto global de producción.
- Los trabajadores no cuentan con el equipo de seguridad apropiado como cascos, zapatos de seguridad, ropa adecuada para el trabajo.
- No existe una ventilación adecuada.
- El transporte de material es ineficiente y desordenado.
- La producción promedio esta alrededor de 32 vigas y 8 columnas diarias.
- No existe inspección de ningún tipo.
- No existe una coordinación apropiada entre la parte de diseño y manufactura.
- Los equipos de alineación y enderezado no son eficientes, toma demasiado tiempo realizar las operaciones.
- La materia prima no está posicionada en los lugares adecuados de producción.
- No existe una distribución adecuada de personal, el personal no realiza funciones específicas.

6.7.2 JVJ

- No existe el equipo adecuado para la producción, en general las maquinas soldadoras están deterioradas, el equipo de corte es muy limitado.
- El personal no se encuentra debidamente calificado.
- La infraestructura no es la adecuada, las condiciones ambientales dificultan el proceso de producción.
- El transporte de material se realiza completamente en forma manual, por lo que es ineficiente e inadecuado.
- No existe inspección de los procesos de fabricación.

- La producción es desordenada, no se procura una secuencia uniforme de los procesos de fabricación.
- No existe una correcta distribución de los equipos ni del personal; gran cantidad de los procesos se realiza en zonas inapropiadas ya sea en el suelo o en mesas de trabajo improvisadas.
- Los trabajadores no cuentan con equipo de seguridad apropiado.
- No existen zonas de almacenamiento definidas, la materia prima y el producto elaborado se coloca en forma desordenada.
- Los procesos de soldadura son empleados a conveniencia del soldador, no existiendo criterios técnicos que obliguen al operador a emplear determinado proceso para cumplir con los requerimientos de diseño.

6.8 COMPARACIÓN DE LOS MODELOS OBSERVADOS

La empresa OSPINING ha implementado procesos de soldadura semiautomáticos (GMAW) a lo largo de toda su línea de producción. Utilizan SAW para columnas con placas mayores a 12 mm. Las mesas de trabajo han sido realizadas de forma manual y presentan ventajosa utilidad al facilitar el trabajo de los obreros y el desplazamiento de la materia prima. La máquina carrusel creada en la empresa es un novedoso sistema que permite girar las vigas con facilidad y comodidad. Poseen prensas que permiten armado rápido de vigas y columnas. El transporte se realiza con la ayuda de puentes-grúas. Tienen escasos elementos de seguridad. Cuentan con áreas definidas para cada etapa del proceso y procedimientos de soldadura precalificados. A pesar que ha trabajado muchos años en la fabricación de elementos estructurales no se han implementado etapas de inspección y verificación de los procesos realizados

La empresa JVJ utiliza procesos de fabricación totalmente rudimentarios al emplear únicamente procedimientos manuales, incluido el transporte. Debido a la naturaleza del trabajo que realizan se ven obligados a emplear en la mayoría de situaciones procesos de soldadura manual (SMAW) por las condiciones ambientales (vientos). El empleo de láminas metálicas cortadas a medida es ventajoso puesto que reducen actividades de fabricación y ahorran tiempo de producción. No tienen mesas de trabajo apropiadas ni espacios de trabajo

definidos. El corte lo realizan con amoladora en la mayoría de situaciones. No existe un control de la producción. No tienen secuencias de fabricación. No poseen WPS precalificados. No cuentan con etapas de inspección internas de los procesos de fabricación.

CAPÍTULO 7

ESTUDIO DE LA OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN

7.1 INTRODUCCIÓN

El presente capítulo pretende realizar la optimización del proceso de fabricación en base al nuevo modelo de producción (referencia capítulo 3), que llevará a la empresa dedicada a la fabricación de vigas y columnas en taller a tener una producción eficiente a más bajos costos.

En el capítulo anterior se presentaron dos modelos de producción, en campo y en taller, para este estudio se considera a la empresa dedicada a la fabricación en taller en vista que presenta secuencias de producción más definidas; mientras que, la empresa que trabaja en campo no tiene una sucesión ordenada ni controlada de los procesos de fabricación, tampoco cuenta con áreas destinadas a realizar los procesos de conversión de la materia prima. Estos factores descritos impiden realizar una correcta evaluación de las secuencias de fabricación de la planta de producción en campo.

La optimización deberá estar enfocada principalmente en el proceso de flujo antes que en hacer nuevas inversiones en tecnología, simplificando, acortando e incrementando la eficiencia del proceso de fabricación. Los problemas observados en la producción no son consecuencia de la falta o deficiencia de los equipos, sino más bien, se deben a la falta de planificación y control de la fabricación; no existe una secuencia ordenada ni adecuada del proceso global de producción.

En la primera parte del capítulo se identifican los principales problemas referentes al flujo de producción observados en la empresa.

En la parte final se sugieren posibles soluciones a los problemas descritos con ayuda de la nueva filosofía de producción. No se pretende imponer estas soluciones, ni tampoco decir que son las únicas; en vista que la implementación

de la optimización de un proceso de producción es una tarea ardua que requiere tiempo y se debería realizar de manera iterativa y gradual.

7.2 IDENTIFICACIÓN DE LAS PRINCIPALES DEFICIENCIAS DE UNA EMPRESA DEDICADA A LA FABRICACIÓN DE VIGAS Y COLUMNAS

En esta empresa existe un sin número de actividades que no dan valor agregado al producto terminado ya sea por diseño de la planta, falta de conocimiento debido a que la planta ha evolucionado de manera no planificada y a la naturaleza misma de producción que hace que tales actividades estén presentes en la fabricación; sin embargo, la principal deficiencia observada es la falta de planificación de la fabricación.

Entre las principales deficiencias observadas se tienen:

- Falta de Planificación
- Distribución de Planta (Layout)
- Deficiencias en Equipos de Alineación y Enderezado
- Procedimientos de Soldadura
- Falta de Inspección

7.2.1 FALTA DE PLANIFICACIÓN

Se ha observado que la empresa no posee una planificación del trabajo, el departamento de diseño no tiene una comunicación directa con la parte de fabricación, haciendo que muchas de las ocasiones se suspendan trabajos en proceso debido a que se tiene que cubrir otras áreas que son de mayor prioridad para el montaje de los edificios en construcción. Además de no contar con registros de fabricación, tiempos empleados, volúmenes de producción, haciendo imposible pronosticar la verdadera capacidad de la planta.

Esto lleva a:

- El desconocimiento del material a emplear en la producción.
- La no determinación de los tiempos de acabado de la producción.

- Tener trabajadores desocupados en horas laborables y otras veces tener que trabajar horas extras para cumplir con la producción.
- No utilizar la planta a su máxima capacidad.
- No terminar la obra en tiempos estimados, basándose únicamente en la experiencia.

7.2.2 DISTRIBUCIÓN DE PLANTA (LAYOUT)

En vista que la empresa ha crecido rápidamente y los procesos han sido diseñados en forma desordenada sin ningún tipo de estudio ni pronóstico a futuro, ha originado que estos hayan evolucionado de manera no planificada, lo que conlleva a tener una planta desorganizada, con áreas reducidas para ciertos procesos y espacios desperdiciados en otros.

En la empresa se puede observar:

- No existe una secuencia de fabricación ordenada, sobre todo en el área de preparación del material, aumentando los movimientos y dando como resultado demoras innecesarias (ver anexo 11).
- Espacios reducidos en el área de limpieza, pintura, soldadura de rigidizadores, soldadura longitudinal de columnas.
- La fabricación de aletas se realiza en otra área (MAKEMAQ), el material es llevado de FABSTEEL a MAKEMAQ y luego regresa a FABSTEEL, lo cual representa mayor tiempo de transporte y esperas

7.2.3 DEFICIENCIAS EN EQUIPOS DE ALINEACIÓN Y ENDEREZADO

Debido a que la empresa ha crecido de manera acelerada y sin ningún tipo de control, el equipamiento ha sido diseñado de manera que cubra las necesidades presentes en ese instante, sin que hayan sido previstas a futuro.

Por este motivo estos equipos no son eficientes ni rápidos causando una interrupción del flujo de producción.

El equipamiento donde se presenta mayor problema es en:

- Mesas de Corte:

- La capacidad está limitada a 4.6 m de largo por 1.4 m de ancho.
- Láminas de 6 m deben ser cortadas a 3m de largo.
- Láminas de 2.4 m de ancho no pueden ser alineadas adecuadamente.
- No permiten una fácil alineación, tardándose entre 2 a 3 minutos en este proceso.
- Maquinas de Enderezado
 - Son operadas de manera completamente manual.
 - El tiempo de enderezado de una lámina tarda alrededor de 2 a 3 minutos.
 - Se deben realizar varias pasadas, lo que depende de la habilidad del operador
 - Poseen únicamente dos rodillos de enderezado
 - La verificación del enderezado de las láminas es de manera manual.
- Prensas de Vigas y Columnas
 - Son operadas manualmente
 - La prensa no garantiza el completo alineamiento, teniendo que ser reajustada la viga o columna en repetidas ocasiones.

7.2.4 PROCEDIMIENTOS DE SOLDADURA

La empresa cuenta con procedimientos de soldadura precalificados, sin embargo lo único que se entrega a los operarios es un plano de taller en el que consta una referencia del WPS precalificado, de manera que, los operarios deciden que parámetros de soldadura se van a emplear.

Al quedar los parámetros de soldadura al criterio del operador se tiene que:

- Incrementan las actividades que no dan valor agregado
- Aumentan los costos de producción
- No se tiene un conocimiento de la cantidad de material necesario para realizar la soldadura
- Se desconoce cuantos pases de soldadura se deben realizar
- No se puede cumplir los requerimientos de diseño
- Se obtienen un producto no uniforme
- Aumentan los ciclos de tiempo.

7.2.5 INSPECCIÓN

La empresa no cuenta con ningún tipo de inspección, esto hace que los errores en las distintas etapas de fabricación no sean visualizados y que no puedan ser corregidos a tiempo, lo cual lleva a:

- Procesos ineficientes
- Incremento de las actividades que no dan valor agregado
- Reparaciones innecesarias
- Mayor ciclo de tiempo
- Mayor costo de Producción

7.3 OPTIMIZACIÓN DEL FLUJO DE PRODUCCIÓN

Para la optimización debe considerarse a la fabricación como un proceso de flujo de material e información desde la materia prima hasta el producto terminado, logrando reducir tiempos, minimizar la variabilidad y eliminar demoras innecesarias, lo cual significa aumentar la eficiencia global de producción, mejorando continuamente con respecto a pérdidas y a valor agregado.

Una vez identificado, analizado y comprendido las principales deficiencias de la empresa es necesario encontrar soluciones viables, teniendo en cuenta que antes de realizar una mejora en maquinaria y equipo es necesario mejorar el flujo del proceso.

A continuación se sugieren soluciones a cada uno de los problemas previamente identificados.

7.3.1 FALTA DE PLANIFICACIÓN

Como primer paso fundamental la empresa debe respetar y definir los puestos de trabajo de los operarios (Ver Anexo 10), de manera que estos puedan ser capacitados y dotados del equipamiento de seguridad necesario, permitiendo:

- Reducir los ciclos de tiempo
- Que el flujo del proceso no sufra estancamientos
- Tener una mejor distribución de trabajos
- Realizar pronósticos de producción más acertados
- Disminuir accidentes laborales

- Procesos de producción más eficientes

Es importante que la empresa comprenda que la falta de una organización de personal causa pérdidas e interrupciones del flujo, incrementando los tiempos y costos de fabricación. En OSPINING se evidencia esto con gran notoriedad, en vista que hay ocasiones en que a los obreros de planta se los lleva al montaje, esto hace que la producción se paralice o sea más lenta retrasando la obra. También se observa trabajadores que desempeñan más de una función en la misma planta, lo cual no es recomendable pues no se delega una responsabilidad específica al trabajador y en momentos en que sea urgente realizar las funciones a cargo del operario se tendrán que descuidar unas para desempeñar otras, aún cuando todas sean necesarias.

Como segundo paso la empresa debe implementar registros que permitan conocer:

- Tiempos empleados en cada etapa de fabricación.
- Producción diaria.
- Tipo frecuentes de elementos estructurales fabricados.

Mediante la implementación de registros la empresa podrá conocer y eliminar sus falencias de producción llevando a la empresa a:

- Conocer tiempos de acabado de la producción, puesto que existirán registros que indiquen cual es a capacidad diaria de producción.
- Eliminación de estancamientos; mediante los registros del tiempo empleado de producción se puede visualizar en que etapas existen excesivas demoras o estancamientos, debiendo la etapa ser analizada para encontrar las posibles soluciones al problema.
- Mejorar la Secuencia de Producción de tal forma que se favorezca y facilite la fabricación, en realidad el proceso de obtener una Secuencia de Producción óptima es resultado de la implementación continua y gradual conforme los requerimientos de producción lo demanden. En el Anexo 12 se presenta una Distribución de Planta propuesta que permitirá mejorar la Secuencia de Producción.

Se debe recalcar que el tener registros sin una previa organización del personal nos conduce a tener datos que no están acorde con la verdadera capacidad de producción de la planta.

7.3.2 DISTRIBUCIÓN DE PLANTA (LAYOUT)

La planificación de la producción tiene la finalidad de proporcionar una secuencia ordenada de trabajo en términos de reagrupamiento de tareas que permitan operar sin interrupciones. La distribución de planta se debe establecer en base al flujo de material, requerimientos de fabricación, disponibilidad de espacio y volumen de producción, obtenidos a partir de registros de producción que permitirán determinar el espacio requerido a futuro, siendo esto una actividad iterativa la cual depende del crecimiento continuo de la fábrica.

Una correcta distribución de planta permite:

- Reducir los ciclos de tiempo
- Flexibilidad en la producción
- Simplificación de actividades
- Eliminación de actividades que no dan valor agregado
- Control total del proceso

En el Anexo 12 se presenta una sugerencia de una posible mejor distribución de planta debido a que la existente resulta muy pequeña para la producción que se maneja actualmente, con la cual se logra:

- Reducir tiempo de transporte
- Tener la producción de Vigas y Columnas en una sola Planta
- Eliminación de demoras por falta secuencias de fabricación ordenadas
- Espacios acorde a la producción, evitando acumulación de elementos estructurales en ciertas áreas.

7.3.3 DEFICIENCIAS EN EQUIPOS DE ALINEACIÓN Y ENDEREZADO

A pesar de la gran ventaja de poseer equipos simples y de fácil manejo, el proceso de trabajo tiene que moverse en repetidas ocasiones aumentando actividades que no dan valor agregado, produciendo defectos y provocando

accidentes, debido a que estos equipos no cuentan con la capacidad y precisión necesaria para el manejo de la materia prima.(ver sección 7.2.3)

Hay que tener presente que equipamiento simple y de fácil manejo es conveniente, sin embargo hay que asegurar que la capacidad y precisión de tales equipos permitan eliminar demoras y no provocar éstas, estos equipos son:

- Mesas de Corte con:
 - Capacidad para láminas de 6m de largo por 3 m de ancho.
 - Fácil y rápido alineamiento de rieles de corte.
- Un sistema de enderezado que permita:
 - Enderezar una lámina de una sola pasada.
- Prensas de vigas y columnas que permitan tener:
 - Precisión en el alineado
 - Manejo simple y rápido

Todas estas mejoras proporcionaran:

- Que los obreros trabajen eficientemente
- Disminuir los accidentes laborales
- Disminuir el ciclo de tiempo
- Disminuir la variabilidad de la producción

7.3.4 PROCEDIMIENTOS DE SOLDADURA

A pesar que la empresa cuenta con procedimientos de soldadura precalificados (WPS) mediante los cuales se obtienen soldaduras de calidad al más bajo costo, estos procedimientos no son entregados al operario debiendo tomar decisiones en cuanto a los parámetros de soldadura.

La empresa debería entregar los WPS de las juntas a soldar a los operarios ya que el código AWS D1.1: 2002 página 428 sugiere que el personal de soldadura e inspección tenga acceso a los WPS escritos.

El procedimiento de soldadura detalla los pasos requeridos para realizar una soldadura de calidad bajo condiciones específicas.

A continuación se detalla la importancia de las especificaciones de los procedimientos de soldadura en la producción.

Un WPS como mínimo debe consistir de las siguientes variables:

Proceso de soldadura	(SMAW, GMAW, etc.)
Especificación del electrodo	(AWS A5.1, A5.20, etc.)
Clasificación del electrodo	(E7018, E71T-1, etc.)
Diámetro del electrodo	
Características eléctricas	(AC, DC+, DC-)
Especificación del metal base	(A36, A572 Gr50, etc.)
Pre calentamiento mínimo y temperatura entre pases	
Corriente de soldadura (Amperaje)/Velocidad de alimentación del electrodo	
Voltaje del arco	
Velocidad de avance	
Posición de soldadura	
Tratamiento térmico post-soldadura	
Gas de protección y tasa de flujo	
Detalles de la junta	

7.3.4.1 Efectos de las Variables de Soldadura

Los efectos de las principales variables de soldadura se detallan a continuación:

- Corriente (Amperaje): Es una medida de la cantidad de corriente que fluye a través del electrodo y la pieza de trabajo.

Las características de la corriente de soldadura son:

- En forma general, un incremento en el amperaje representa, mayores tasas de deposición.
- La penetración está relacionada en forma directa con el amperaje.
- El valor de la corriente es el mismo a lo largo de todo el circuito sin importar donde se mida.
- En soldadura semiautomática un incremento en la velocidad de alimentación del electrodo, incrementará directamente el valor del amperaje.

- En soldadura manual la máquina determina el amperaje básico a ser utilizado.
- A mayores longitudes de arco se reducirá el amperaje.
- Voltaje: En un circuito de soldadura el voltaje no es constante, está compuesto de una serie de caídas de voltaje, por lo que es recomendable medirlo entre la punta del electrodo y la pieza de trabajo.

Las características de voltaje son:

- Está directamente relacionado con la longitud del arco.
- En soldadura semiautomática el voltaje queda determinado por la máquina.
- En procesos manuales el voltaje es determinado por el soldador que es quién controla la longitud del arco.
- Controla el ancho del cordón de soldadura, con grandes voltajes se generan cordones más anchos.
- Tiene un efecto directo en la determinación del calor de entrada (heat input).
- Velocidad de Avance: La velocidad de avance tiene un efecto inverso en la medida del cordón de soldadura, conforme la velocidad de avance se incrementa, las dimensiones de soldadura se reducen.

Las características de la velocidad de avance son:

- Velocidades de avance demasiado bajas pueden causar reducida penetración, debido a que el arco impacta en una espesa capa de material fundido que impide depositar el metal de aporte.
- La velocidad de avance es una variable clave usada para determinar el calor de entrada (heat input).
- Velocidad de alimentación del electrodo: Es la velocidad a la que el electrodo pasa a través de la pistola de soldadura y es entregada al arco.

Las características de la velocidad de alimentación de electrodo son:

- La velocidad de alimentación de electrodo es directamente proporcional a la tasa de deposición, y directamente relacionada con el amperaje.

- Cuando todas las demás condiciones de soldadura se mantienen constantes y se incrementa la velocidad de alimentación del electrodo se incrementa también el amperaje.
- Para bajas velocidades de alimentación de electrodo, la relación entre la velocidad de alimentación de electrodo y el amperaje es relativamente constante y lineal.
- **Stickout:** Es la distancia entre la punta del electrodo y la punta de la boquilla de la pistola de soldadura.

Las características del stickout son:

- Conforme el stickout se incrementa, la resistencia eléctrica del electrodo también se incrementa, causando sobrecalentamiento del electrodo.
- Largas extensiones del electrodo pueden emplearse para alcanzar altas tasas de deposición a un amperaje fijo.
- Cuando el stickout se incrementa sin ningún cambio en la velocidad de alimentación de electrodo, el amperaje se reducirá, esto significa menor penetración.
- **Diámetro del electrodo:** El diámetro del electrodo está relacionado con la capacidad de soportar las corrientes de soldadura. Para un amperaje fijo, sin embargo, electrodos más pequeños representan mayores tasas de deposición.
- **Polaridad y tipo de corriente:** Polaridad es una definición de la dirección del flujo de corriente

Las características de polaridad y tipo de corriente son:

- Polaridad positiva (DC+) (Inversa) se alcanza cuando el electrodo se conecta al terminal positivo de la fuente de corriente.
- Polaridad negativa (DC-) (Directa) ocurre cuando el electrodo se conecta al terminal negativo.
- Corriente alterna (AC) no es una polaridad, sino un tipo de corriente. Con este tipo de corriente el electrodo es alternadamente positivo y negativo.
- Para un amperaje fijo es posible utilizar mayores velocidades de alimentación y tasas de deposición con DC- que con DC+.

- Heat Input: Es proporcional al amperaje de soldadura, tiempo del arco de voltaje, y dividido para la velocidad de avance.

Las características del heat input son:

- Alto calor de entrada implica mayor soldadura de áreas de sección transversal y grandes zonas afectadas por el calor, lo cual puede afectar negativamente a las propiedades mecánicas del material.
 - Alto calor de entrada generalmente conlleva a ligeras reducciones del esfuerzo de fluencia en el metal de soldadura
- Densidad de corriente: Se determina dividiendo el amperaje para área de la sección transversal del electrodo.

Las características de la densidad de corriente:

- Conforme la densidad de corriente aumenta habrá un incremento de la tasa de deposición y en la penetración.
 - Si disminuye el diámetro del electrodo aumentará la densidad de corriente, teniendo un significativo efecto en las tasas de deposición y penetración.
- Pre calentamiento y temperatura entre pases: Se usan para controlar la tendencia al agrietamiento, ocasionadas generalmente en el material base.

Los valores de las variables de soldadura tienen un significativo efecto en la solidez de la soldadura, propiedades mecánicas y productividad.

La determinación de los medios más eficientes para encontrar las mejores condiciones de las soldaduras no pueden ser dejadas a criterio de los soldadores; se determina por el conocimiento de ingenieros y técnicos de soldadura quienes crean especificaciones del procedimiento de soldadura escritos y comunican aquellos requerimientos a los soldadores por medio de estos documentos.

El WPS es la principal herramienta usada para comunicar al soldador, supervisor, y al inspector como una soldadura específica va a ser realizada.

La falta de cumplimiento con los parámetros involucrados en un WPS puede representar la deposición de un cordón de soldadura que no cumple con los

requerimientos de calidad impuestos por el código o por las especificaciones de trabajo.

Existen factores económicos a ser considerados. En forma general, el costo de soldadura es inversamente proporcional a la tasa de deposición. La tasa de deposición en cambio, está relacionada a la velocidad de alimentación de electrodo de los procesos semiautomáticos. Si una especificación indica que un cordón de soldadura es necesario que se realice con una velocidad de alimentación de electrodo de 200 pulg. /min., y un operario que no tenga acceso al WPS decide realizarlo con una velocidad de alimentación de electrodo de 160 pulg. /min. (que igual cumple con los requerimientos de calidad), entonces, este segundo proceso costaría aproximadamente 25% más que la soldadura realizada con el proceso óptimo. Los parámetros indicados en un WPS permiten que la construcción se desarrolle cumpliendo los requerimientos de soldadura de forma económica a la vez.

En el Anexo 13 se muestra la cantidad necesaria de metal depositado por metro de soldadura para juntas de filete.

En el Anexo 14 se muestra el formato de un WPS característico con las principales variables de soldadura a ser consideradas en la elaboración de una junta.

7.3.5 INSPECCIÓN

A pesar que la Inspección es una actividad que no da valor agregado de manera visual, es necesaria la implementación de ésta, debido a que permite tener un control de los procesos, planificación de la producción, prevención de accidentes y como resultado obtener una disminución de los costos de fabricación.

Es necesario que la empresa implemente las siguientes etapas de inspección en el proceso de producción.

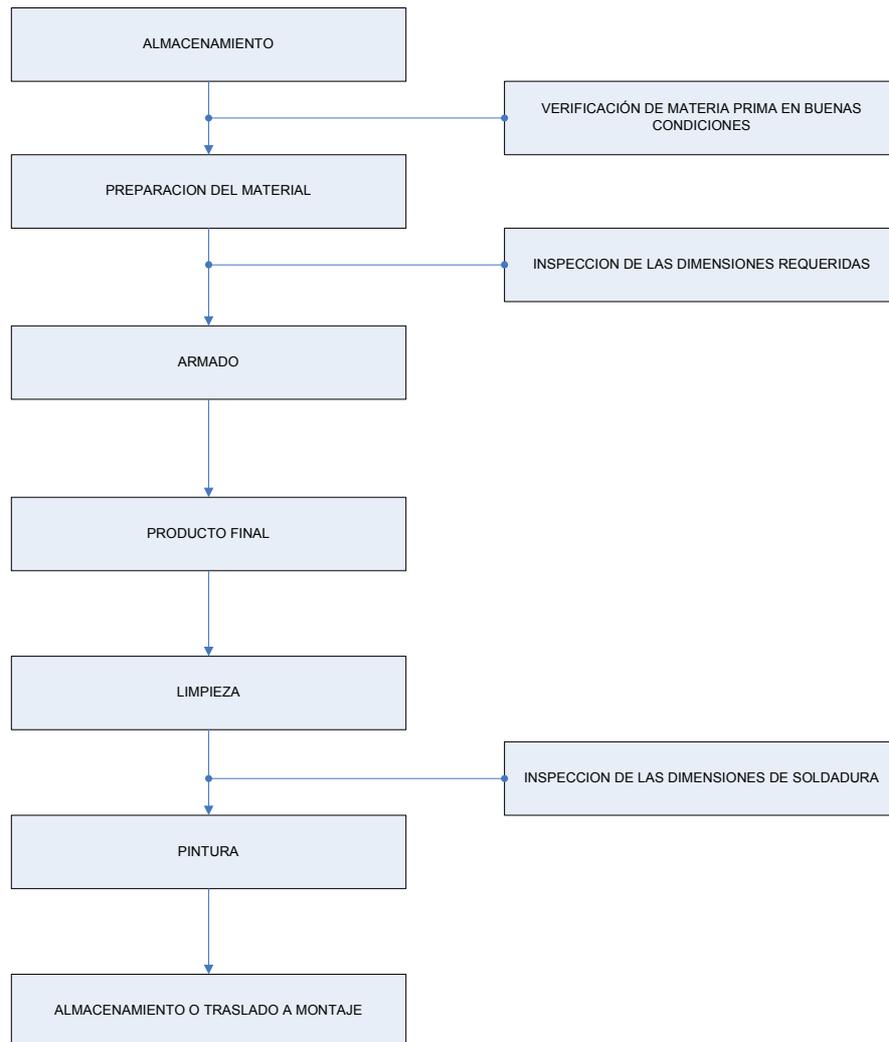


Figura 7.1 Diagrama de Flujo de la Fabricación

La implementación de etapas de inspección permitirá:

- Control eficiente de los procesos.
- Reducción de los costos de fabricación.
- Eliminación de errores.
- Cumplir los requerimientos de fabricación.

Las inspecciones de las dimensiones del cordón de soldadura se harán de acuerdo a la norma AWS D1.1 sección 6 (ver capítulo 4)

7.4 ESTUDIO DE LA OPTIMIZACIÓN DEL EQUIPO EMPLEADO EN OSPINING

Debido a que la empresa OSPINING ha crecido de manera no planificada, la maquinaria no ha sido renovada, sino se la ha adquirido únicamente para cumplir con los requerimientos necesarios en las distintas áreas de trabajo, sin tomar en cuenta la rendimiento y calidad de los equipos.

El presente estudio tiene como finalidad la optimización de los principales procesos de fabricación de vigas y columnas metálicas, mediante máquinas que proporcionen mayores rendimientos, reduciendo así los costos de energía eléctrica además de mejorar calidad de soldadura.

Las máquinas empleadas en el proceso de producción se encuentran ubicadas en las distintas áreas de la planta, en el Anexo 11 se presenta la Distribución de Planta de la empresa junto con las máquinas existentes.

A continuación se evalúan los requerimientos de las áreas de corte y soldadura con lo cual se propondrán mejores máquinas que permitan optimizar los procesos de fabricación.

7.4.1 PROCESO DE CORTE

El proceso de corte es realizado en tres áreas, las cuales son:

- MESAS DE CORTE y CORTE TRANSVERSAL
- PREPARADO DE ALMAS
- CORTE LONGITUDINAL DE ALETAS

7.4.1.1 Requerimientos del Proceso

La selección del equipo de corte apropiado se realizará en base a los requerimientos de fabricación a cumplir en cada área, los cuales se detallan en la tabla 7.1.

Tabla 7.1. Requerimientos de Fabricación en el Proceso de Corte

Área	Máquina	Espesor Máximo a Cortar (mm)	Espesores más Utilizados (mm)
Mesas de Corte y Corte Transversal	CEBORA PROF 162	25,4	8 - 25,4
Preparado de Almas	CEBORA PROF 55	8	6 - 8
Corte Longitudinal de Aletas	CEBORA PROF 122	8	6 - 8

A continuación se detalla las máquinas de corte por plasma que se utilizan en las distintas áreas.

Tabla 7.2 Máquinas de Corte por Plasma

Modelo	Potencia Nominal (KW)	Ciclo de Trabajo (%)	Profundidad de Corte (mm)	Capacidad de Producción	Capacidad Recomendada	Capacidad Máxima
 CEBORA PROF 55	10	40% – 50A	20	10 mm a 50 cm/min	15 mm a 25 cm/min	20 mm a 20 cm/min
 CEBORA PROF 122	19	40% – 120A 100% – 95A	35	20 mm a 60 cm/min	25 mm a 30 cm/min	35 mm a 20 cm/min
 CEBORA PROF 162	22	40% – 160A 60% – 120A 100% – 95A	40	25 mm a 60 cm/min	30 mm a 30 cm/min	40 mm a 20 cm/min

7.4.1.2 Características de las Máquinas de Corte Disponibles en el Mercado

Para la selección de las máquinas que pueden sustituir a las descritas anteriormente se recurrió a tres de las principales marcas de maquinaria para corte por plasma.

Entre las máquinas disponibles en el mercado se indican aquellas que satisfacen las necesidades requeridas por la empresa, ver tabla 7.1.

Tabla 7.3 Máquinas de corte disponibles en el mercado.

Modelo	Espesor Máximo	Ciclo de Trabajo	Capacidad de Producción	Capacidad Recomendada	Capacidad Máxima
Lincoln Electric					
PRO CUT 55	25.4 mm	55 A – 50% 40 A – 100%	12.7 mm a 71cm/min.	19 mm a 33 cm/min.	25.4 mm a 20 cm/min.
PRO CUT 80	31.75 mm	80 A – 60% 65 A – 100%	19 mm a 45 cm/min.	25.4 mm a 27 cm/min.	31.7 mm a 17cm/min.
Hypertherm					
Powermax 1000	32 mm	60 A – 50 %	12 mm a 106 cm/min	19 mm a 56 cm/min	25 mm a 30 cm/min
Powermax 1250	38 mm	80 A – 60 %	19 mm a 78 cm/min.	22 mm a 50 cm/min	29 mm a 25 cm/min
Miller					
Spectrum 2050	32 mm	55 A – 60 %	13 mm a 76 cm/min.	25 mm a 20 cm/min	32 mm a 15 cm/min
Spectrum 1000	38 mm	80 A – 60 %	13 mm a 114 cm/min.	25 mm a 25 cm/min	38 mm a 13 cm/min

7.4.2 SELECCIÓN DEL EQUIPO DE CORTE APROPIADO

7.4.2.1 Mesas De Corte y Corte Transversal

En la tabla 7.4 se indica una comparación entre máquinas de corte disponibles en el mercado con las usadas en las áreas de Mesa de Corte y Corte Transversal.

Tabla 7.4. Tabla Comparativa

Máquina	Espesor a Cortar Máximo (mm)	Velocidad de Corte (cm/min.)	Condiciones de Trabajo
CEBORA PROF 162	25,4	60	Mínima
PRO CUT 55	25,4	20	Máxima
PRO CUT 80	25,4	27	Recomendada
Powermax 1000	25,4	30	Máxima
Powermax 1250	25,4	35	Máxima
Spectrum 2050	25,4	20	Recomendada
Spectrum 1000	25,4	25	Mínima

- **Máquina Seleccionada**

La máquina que esta siendo empleada en estas áreas permite cumplir con los requerimientos especificados y por medio del análisis comparativo entre las diferentes máquinas se concluye que la CEBORA PROF 162 no debe ser remplazada puesto que permite realizar el corte máximo requerido a la mayor velocidad y en condiciones de trabajo mínimas, además de contar con un regulador de corriente que permite seleccionar el amperaje necesario para el espesor a ser cortado.

7.4.2.2 Preparado de Almas

La mayoría de las máquinas descritas en la tabla 7.2 son muy potentes para el trabajo a desempeñar en esta área (espesor máximo 8 mm), por cual se tomará en consideración únicamente las descritas en la Tabla 7.5.

Tabla 7.5 Tabla Comparativa

Máquina	Espesor a Cortar Máximo (mm)	Velocidad de Corte (cm/min.)	Condiciones de Trabajo
CEBORA PROF 55	8	90	Mínima
Lincoln Electric PRO CUT 55	8	127	Mínima

- **Máquina Seleccionada**

A pesar que la Máquina CEBORA PROF 55 cumple con los requerimientos de corte, esta máquina no posee un regulador de amperaje haciendo que esta

trabaje siempre con un ciclo de trabajo de 40% y 50 A, sin importar los espesores a cortar. Esto encarece el proceso de corte porque si se realizan cortes de espesores pequeños al trabajar con 50 A se está consumiendo mayor energía eléctrica y los consumibles se gastan más rápidamente.

Por esta razón se ha buscado una máquina que posea un regulador de amperaje y que cumpla con los requerimientos de corte, lo cual permitirá reducir el costo de consumo de energía al poder usar únicamente el amperaje necesario dependiendo del espesor a cortar.

La máquina que permitiría optimizar el proceso de corte en esta área es la LINCOLN ELECTRIC PRO-CUT 55, en vista que cumple con los requerimientos de corte, además de tener una mayor velocidad de avance.

7.4.2.3 Corte Longitudinal de Aletas

Los requerimientos de esta área son los mismos que los del área de Preparado de Almas, por lo que una máquina de las mismas características (LINCOLN ELECTRIC PRO-CUT 55) desempeñaría de forma eficiente el trabajo requerido, sin embargo; no se recomienda hacer una nueva inversión debido a que la máquina CEBORA PROF 122 puede cortar hasta espesores de 20 mm a una velocidad de 60 cm/min. de manera que los espesores manejados en esta área pueden ser cortados sin ningún problema y a la máxima velocidad de la tortuga que es de 254 cm/min.

7.4.3 PROCESO DE SOLDADURA

El proceso de soldadura es realizado por las siguientes máquinas:

- MÁQUINAS DE ELECTRODO REVESTIDO(Punteado)
- MÁQUINAS DE ELECTRODO CONTINUO(Soldadura Longitudinal)
- MÁQUINA DE ARCO SUMERGIDO(Soldadura de Columnas)

7.4.3.1 Requerimientos del Proceso

La tabla 7.6 indica las condiciones de trabajo generalmente utilizadas por OSPINING y que deberían ser cumplidas por el equipo propuesto.

Tabla 7.6. Requerimientos de Fabricación en el Proceso de Soldadura

Proceso de Soldadura	Corriente Máxima de Salida (A)	Electrodo Utilizado	Diámetro del Electrodo (mm)
SMAW	250	E6011-E6013-E7018	3-4
MIG	350	ER70S-6	1,2
SAW	600	EL-12	3,2

A continuación se detallan las máquinas empleadas en el proceso de soldadura en la empresa OSPINING:

Tabla 7.7. Soldadoras para Proceso SMAW

						
Marca	ESAB	LINCOLN ELECTRIC	LINCOLN ELECTRIC	LINCOLN ELECTRIC	HOBART	
Modelo	Superbantam 402 DC	RX-450 DC	RX-520	RX-300	RD-304	
Salida Amperaje / Voltaje / Ciclo de Trabajo	180A/27V/100%	400A/36V/60% 310A/100%	500A/40V/50% 385A/100%	250A/25V/40% 150A/100%	300A/40V/60%	
Rango de Salida	60 – 100 A 22 – 34 V	35 – 450 A 36/75 V	50/550 A 40/75V	CA	CV	35 – 470 A
				85/30 A 25/77 V	60/250A 25/68 V	
Voltaje de Entrada (V)	220/380/440	220/440	220/440	220/440		230/460
Amperaje de Entrada (A)	35/70	80/40	100/50	80/40		60/30
Frecuencia / # de Fases	60 Hz / 3	60 Hz / 3	60 Hz / 3	60 Hz / 3		60 Hz / 3
Proceso Primario	SMAW	SMAW	SMAW	SMAW		SMAW
Peso (Kg)	134	183	203	174		169

Tabla 7.8 Soldadoras para el Proceso MIG

						
Marca	ESAB	ESAB	LINCOLN ELECTRIC	LINCOLN ELECTRIC	HOBART	CEBORA
Modelo	LAI 550	SMASHWELD 316 TOP FLEX	CV-400	DC-400	FABSTAR 4030	MIG 4540/TS
Salida Amperaje/Voltaje/ Ciclo de Trabajo	400A/34V/100 %	220A/25V/100 %	400A/36V/100 %	400A/36V/100 %	300A/32V/100%	250A/26V/100%
Rango de Salida	50 - 550 A 16 - 44 V	25 - 400 A 15 - 34 V	60 - 500 A 12 - 42V	60 - 500 A 12 - 42V	0 - 400 A 12 - 35 V	40 - 400 A 16V - 34 V
Voltaje de Entrada V	220/380/440 V	220/380/440 V	230/460 V	230/460 V	200/230/460/575V	230/400 V
Amperaje de Entrada A	35 - 70 A	35 - 70 A	39 - 77 A	28 - 56 A	15 - 44 A	18 - 31 A
Frecuencia / Fases	60 Hz / 3	60 Hz / 3	60 Hz / 3	60 Hz / 3	60 Hz / 3	60 Hz / 3
Potencia aparente nominal	26,5 KVA	7,3 KVA			15,2 KVA	19,5 KVA
Peso (Kg)	210	130	357	473	167	138

Tabla 7.9 Soldadora para el Proceso SAW

	
Marca	INDURA
Modelo	TRR-3800
Salida Amperaje/Voltaje/Ciclo de Trabajo	800A/22V/100%
Rango de Salida	800 A 22 - 80V
Voltaje de Entrada V	220/380/40 V
Amperaje de Entrada A	67,5 - 135 A
Frecuencia / Fases	60 Hz / 3
Potencia aparente nominal	51 KVA

A continuación se presentan las máquinas que pueden sustituir a las anteriormente descritas las cuales cumplen con los requerimientos del proceso de soldadura y permitirán mejorar el proceso de fabricación.

7.4.3.2 Características de las Soldadoras Disponibles en el Mercado.

Las máquinas que se describen en las tablas 7.10 y 7.11 son electrónicas, las cuales satisfacen los requerimientos de la empresa y son las mejores disponibles en el mercado Nacional.

No se presenta una posible máquina sustituta a la utilizada en el Proceso de Arco Sumergido debido a que es poco utilizado.

Tabla 7.10 Máquinas de Electrodo Revestido (SMAW)

Marca	LINCOLN ELECTRIC	MILLER	FRONIUS
Modelo	Invertec V275-S	CST 250	WTU 307
Salida Amperaje / Voltaje / Ciclo de Trabajo	275A/31V/35% 250A/30V/60% 200A/28V/100%	250A/30V/50% 200A/28V/100%	300A/32V/35% 230A/26V/60% 180A/20V/100%
Rango de Salida	5 – 275 A	5 – 250 A	5 – 300 A
Voltaje de Entrada (V)	208/230/460/575 V	230/460/575 V	230/400 V
Amperaje de Entrada (A)	11/38 A	11.6/30.5 A	
Frecuencia / # de Fases	60 Hz / 3	60 Hz / 3	60 Hz / 3
Salida	CC/DC	CC/DC	CC/DC
Procesos	SMAW/TIG	SMAW/TIG	SMAW
Rendimiento (%)	80	80	70
Peso	24.7	18.2	95

Tabla 7.11 Máquinas de Electrodo Continuo (MIG)

Marca	LINCOLN ELECTRIC	MILLER	FRONIUS
Modelo	Invertec V350-PRO	Invision 456P	Vario Synergic 5000
Salida Amperaje/ Voltaje/ Ciclo de Trabajo	350A/34V/60% 300A/32V/100%	565A/43V/60% 450A/38V/100%	500A/16V/40% 410A/28V/60% 320A/39V/100%
Rango de Salida	5 - 425 A	565 A 10 – 38 V	35 – 500 A 16 – 39 V
Voltaje de Entrada V	200– 208v/230/380–415 /460/575 V	220/230/460 V	230/400 V
Amperaje de Entrada A	18 – 50 A	24 – 50 A	16 – 35 A
Frecuencia / # Fases	60 Hz / 3	60 Hz / 3	60 Hz / 3
Salida	CC/CV/DC	CV/DC	CV/DC
Procesos	Multiprocesos	MIG	MIG
Rendimiento (%)	87	85	
Peso (Kg)	81	53.5	156

Entre las principales ventajas de estas máquinas se tienen:

- Menor cantidad de Salpicaduras
- Mayor Rendimiento
- Menor Cantidad de Ruido
- Mejor control del Arco de Soldadura
- Menor Peso
- Reducción de los Tiempos de Limpieza
- Mayor Productividad
- Ahorro de Energía
- Rangos de Amperaje mas Altos

7.4.4 SELECCIÓN DEL EQUIPO DE SOLDADURA APROPIADO

Para la selección del equipo apropiado se hace en base a los siguientes parámetros:

- Análisis de Rendimiento
- Análisis Económico

7.4.4.1 Análisis de Rendimiento

El rendimiento de una máquina permite determinar que cantidad de energía es aprovechada para producir el trabajo deseado.

El cálculo del rendimiento se realiza en base a las potencias de entrada y de salida de las máquinas. Una máquina de alto rendimiento aprovecha la mayor cantidad de energía de entrada y en consecuencia permite reducir los costos de consumo de energía eléctrica.

La potencia de entrada es la suministrada por la Empresa Eléctrica y se calcula multiplicando el Voltaje disponible por la Corriente absorbida por la máquina de soldadura.

$$P_e = \frac{V_e * I_e}{1000} [KW]$$

V_e = Voltaje de Entrada (V), voltaje de red nominal 220 V

I_e = Corriente de entrada (A)

La potencia de salida es la entregada por la máquina y se obtiene multiplicando Voltaje por la Corriente de salida.

$$P_s = \frac{V_s * I_s}{1000} [KW]$$

V_s = Voltaje de Salida (V)

I_s = Corriente de Salida (A)

El rendimiento de la máquina es la relación entre la Potencia entregada por la máquina (P_s) y la Potencia absorbida por la misma (P_e)

$$\eta = \frac{P_s}{P_e} * 100(\%)$$

7.4.4.1.1 Cálculo del rendimiento de las máquinas utilizadas en Ospining

Para el cálculo del rendimiento de las máquinas se acudió a la planta a efectuar mediciones de los parámetros de soldadura (voltaje, amperaje) de entrada y salida de las máquinas durante la producción.

A continuación se presentan los resultados obtenidos:

Tabla 7.12 Rendimiento de las Máquinas de Electrodo Revestido

Marca / Modelo	Entrada			Salida			Rendimiento (%)
	Voltaje (V)	Amperaje (A)	Potencia (KW)	Voltaje (V)	Amperaje (A)	Potencia (KW)	
Lincoln Electric RX-450 DC	216	28	6,048	24	137	3,288	54
Lincoln Electric RX-520	216	29	6,264	24	134	3,216	51
Lincoln Electric RX-300	216	40	8,64	25	190	4,75	55
HOBART RD-304	216	43	9,288	28	180	5,04	54
ESAB Super Bantam 402 DC	216	35	7,56	26	150	3,09	52

Tabla 7.13 Rendimiento de las Máquinas de Electrodo Continuo

Marca/Modelo	Entrada			Salida			Rendimiento (%)
	Voltaje (V)	Amperaje (A)	Potencia (KW)	Voltaje (V)	Amperaje (A)	Potencia (KW)	
Lincoln Electric CV-400	216	63	13,608	35	316	11,06	81
Lincoln Electric DC-400	216	53	11,448	32	291	9,312	81
ESAB LAI-550	212	49	10,388	29	282	8,178	79
ESAB Smashweld 316 Top Flex	216	40	8,64	27	250	6,75	78
HOBART Fabstar 4030	216	37	7,992	26	232	6,032	75
CEBORA Mig 4540/TS	216	32	6,912	20	242	4,84	70

Tabla 7.14 Rendimiento de la Máquina de Arco Sumergido

Marca/ Modelo	Entrada			Salida			Rendimiento (%)
	Voltaje (V)	Amperaje (A)	Potencia(KW)	Voltaje (V)	Amperaje (A)	Potencia (KW)	
INDURA TRR-3800	216	48	10,368	23	420	9,66	93

Para la optimización de la maquinaria se selecciona las Soldadoras de mayor rendimiento en cada proceso con el fin de proponer máquinas de mejor eficiencia y que brinde mejores características técnicas para satisfacer los requerimientos de soldadura y que permitan reducir los costos de operación, las máquinas en base a las cuales se propondrá la optimización son:

- Proceso SMAW
 - Lincoln Electric RX-300

Estas máquinas únicamente son utilizadas para punteo de vigas y columnas por lo que todas presentan similares características (rendimiento), en este caso se escogió la Lincoln Electric RX-300 que cumple con los requerimientos de todas las áreas en las que se utiliza electrodo revestido.
- Proceso MIG
 - Lincoln Electric CV-400

A pesar que las máquinas Lincoln Electric DC-400 con la CV-400 presentan el mismo rendimiento la soldadora DC-400 es una máquina multiprocesos la cual únicamente se la utiliza en el proceso MIG. Por esta razón se selecciona la CV-400.
- Proceso SAW
 - Este proceso es poco utilizado en la empresa y no se justifica una inversión en un mejor equipo, además la eficiencia de éste es muy buena.

7.4.4.1.2 Calculo del Rendimiento de las Máquinas Propuestas

Únicamente se realizó el calculo del rendimiento de las máquinas MIG debido a que las máquinas de electrodo revestido son utilizadas solo en el armado (punteado) de vigas y columnas, además no se pudo tomar datos experimentales de las máquinas propuestas debido a que estas máquinas son muy costosas y las empresas no encuentran conveniente su adquisición para la función a desempeñar.

El cálculo del rendimiento de las máquinas MIG propuestas se realizó mediante la toma de datos de voltaje y amperaje de entrada y salida en la EPN (Laboratorio

de Soldadura - Lincoln Electric Invertec V 350 PRO), INDIMA (Fabrica de tubos de Escape - Fronius VarioSynergic 5000) y MILLER (Proveedor de Máquinas Miller - Miller Invision 456P). Los rendimientos de estas máquinas se presentan en la tabla 7.15

Tabla 7.15. Rendimiento de las Máquinas Propuestas.

Marca/Modelo	Entrada			Salida			Rendimiento (%)
	Voltaje (V)	Amperaje (A)	Potencia (KW)	Voltaje (V)	Amperaje (A)	Potencia (KW)	
Lincoln Electric Invertec V 350 PRO	212	24	5,088	23	190	4,37	86
Fronius VarioSynergic 5000	212	20	4,24	21	190	3,99	94
Miller Invision 456P	216	25	5,4	24	190	4,56	84

De este análisis la máquina más eficiente y versátil es la FRONIUS VarioSynergic 5000 debido a que es completamente electrónica y sus tarjetas pueden ser reparadas al igual que las MILLER lo que no sucede con la LINCOLN ELECTRIC y permite un mejor aprovechamiento de la energía. El ajuste de la corriente, la tensión y la potencia de fusión es realizado por la máquina una vez que se haya introducido el espesor de la lámina a soldar lo cual permite una mínima manipulación del operario y por lo tanto mayor ahorro de energía y tiempo, además de tener buena calidad y buena apariencia del cordón de soldadura.

7.4.4.2 Análisis Económico

Una vez calculado el rendimiento de las máquinas se realizará un análisis económico que permita determinar el ahorro de energía que se podrá obtener y establecer si es o no factible el cambio de las máquinas actualmente empleadas.

Para el análisis económico se determinan las siguientes variables:

- Costo de Energía Consumida (CEC), que es el costo correspondiente al consumo de energía eléctrica absorbida por la máquina soldadora.

$$CEC \left[\frac{USD}{mes} \right] = P_e [KW] * C \left[\frac{USD}{KW - hora} \right] * t \left[\frac{horas}{dia} \right] * 6 \left[\frac{dias}{semana} \right] * 4 \left[\frac{semanas}{mes} \right]$$

Donde:

- P_e = Potencia de entrada
- C = Costo en dólares del KW–hora
- t = # de horas trabajadas por día.

- Costo de Energía Utilizada (CEU), que es el costo correspondiente al consumo de energía útil aprovechada por la máquina de soldadura.

$$CEU \left[\frac{USD}{mes} \right] = P_s [KW] * C \left[\frac{USD}{KW - hora} \right] * t \left[\frac{horas}{dia} \right] * 6 \left[\frac{dias}{semana} \right] * 4 \left[\frac{semanas}{mes} \right]$$

Donde:

- P_s = Potencia de salida
- C = Costo en dólares del KW–hora
- t = # de horas trabajadas al día.

- Costo de Energía Perdida (CEP), que es el costo pagado por la energía desperdiciada y que no es aprovechada por la máquina de soldadura.

$$CEP \left[\frac{USD}{mes} \right] = CEC \left[\frac{USD}{mes} \right] - CEU \left[\frac{USD}{mes} \right]$$

En vista que las máquinas consideradas no se encuentran trabajando a iguales condiciones de entrada y salida ya que no desempeñan la misma función, se supone que todas están entregando la misma potencia de salida (P_s) y se determina la potencia de entrada (P_e) con ayuda del rendimiento anteriormente calculado, esto permitirá realizar un mejor análisis comparativo.

Se asume una Potencia de salida de 4 KW (190 A, 21V).

La tabla 7.16 indica los resultados del costo de consumo de energía obtenidos para dos de las máquinas que posee la empresa, la más eficiente y la menos eficiente y se muestran también los costos que podrían representar las máquinas propuestas.

Tabla 7.16. Costos de Consumo de Energía

Maquina	η %	Pe (KW)	Ps (KW)	CEC (USD/mes)	CEU (USD/mes)	CEP (USD/mes)
Lincoln Electric CV-400	0,81	4,94	4	94,81	76,8	18,01
CEBORA Mig 4540/TS	0,7	5,71	4	109,71	76,8	32,91
Consumo de la Maquinaria Propuesta						
Lincoln Electric Invertec V350-PRO	0,86	4,65	4	89,30	76,8	12,50
Miller Invision 456P	0,84	4,76	4	91,43	76,8	14,63
FRONIUS Vario Synergic 5000	0,94	4,26	4	81,70	76,8	4,90

Como resultado se aprecia claramente una reducción en los costos de consumo de energía al implementar cualquiera de las máquinas propuestas, sin embargo, la mayor reducción se obtiene con la FRONIUS que representa una reducción del 14% en el costo de energía consumida y del 73% en el costo de energía perdida en relación a la máquina más eficiente.

Del análisis Económico y del Rendimiento se concluye que una maquina que podría optimizar el proceso de soldadura MIG es la FRONIUS VARIOSYNERGIC 5000, sin embargo, es necesario realizar un análisis del ahorro que se puede obtener y de la inversión necesaria que se debería realizar para renovar el equipo existente, el cual se indica en la tabla 7.17.

Tabla 7.17 Análisis del Ahorro

Maquina	# Máquinas	η %	Pe (KW)	Ps (KW)	CEC (USD/mes)
Lincoln Electric CV-400	4	0,81	4,94	4	379,26
Lincoln Electric DC-400	4	0,81	4,94	4	379,26
Esab LAI 550	3	0,79	5,06	4	291,65
Esab Smashweld 316 Top Flex	2	0,78	5,13	4	196,92
Hobart Fabstar 4030	2	0,75	5,33	4	204,80
Cebora Mig 4540 TS	3	0,7	5,71	4	329,14
Total de Máquinas	18			Total	1781,03
PROPUESTA					
FRONIUS variosynergic 5000	18	0,94	4,26	4	1470,64
Ahorro mensual (USD)					310,39

El ahorro mensual obtenido es logrado mediante el reemplazo de las 18 maquinas utilizadas en el proceso MIG, lo que llevaría a la empresa a realizar una gran inversión como se indica en la tabla 7.18.

Tabla 7.18 Costo de la Inversión a Realizar

Maquina	Costo Unitario	Número de Máquinas	Inversión
FRONIUS VARIOSYNERGIC 5000	6272	18	112896

Por lo tanto se concluye que del análisis del ahorro en cuanto a consumo de energía eléctrica y de la Inversión a realizar no es conveniente la sustitución total del equipo empleado en Ospining, sin embargo se debe tomar en consideración que estos equipos disminuirán el tiempo de limpieza, aumentarán la producción y se obtendrá una mejor calidad de soldadura, por lo que en ciertas áreas como en la soldadura longitudinal y resoldeo estas maquinas deberían ser implementadas.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

En la actualidad la construcción de Edificios por medio de Estructura Metálica presenta grandes ventajas con respecto a la forma tradicional que ha sido mediante hormigón, brindando la posibilidad de construir las principales partes de la edificación como son las vigas y las columnas en taller de manera que los tiempos de levantamiento se reducen en gran medida.

Es importante sacar provecho sobre las ventajas que ofrece la construcción mediante estructuras metálicas a través de la optimización de los procesos involucrados en la fabricación de los elementos estructurales. Es necesario entender y comprender que hoy en día para que una empresa sea competitiva es deseable reducir los costos de producción en gran medida.

La demanda es uno de los principales factores a considerar en el proceso de optimización puesto que niveles de producción elevados requieren de procesos de producción bien definidos que permitirán disminuir los tiempos de entrega además de los costos de fabricación.

La falta de conocimiento ha hecho que la mayoría de empresas se preocupe únicamente en la adquisición de nueva tecnología procurando lograr la reducción de costos al obtener la máxima eficiencia en cada proceso en forma independiente, sin antes analizar el flujo de producción de manera global que permita disminuir o eliminar actividades que no dan valor agregado, reduciendo las pérdidas, bajando los tiempos de ciclo e implementando periódicamente nueva tecnología cuando las mejoras en cuanto al flujo de material sean máximas.

La no optimización de los procesos de fabricación de cualquier empresa de manufactura representa gastos significativos de producción que encarecen el

producto final, reducen la rentabilidad e impiden tener un nivel aceptable de competitividad en el mercado

No se debe hacer una inversión en nueva tecnología pues los problemas observados en la producción no son consecuencia de la falta o deficiencia de los equipos, se producen debido a la falta de planificación y control de la fabricación; no existen secuencias ordenadas de proceso de producción. Se sugieren mejoras de los procesos de flujo antes que implementar equipos de mejores características.

Recomendaciones

Se recomienda respetar y definir los puestos de trabajo de los operarios, de manera que estos puedan ser capacitados y dotados del equipamiento de seguridad necesario, a la vez que se les asigne responsabilidades. La falta de una organización y capacitación de personal causa pérdidas e interrupciones del flujo, incrementando los tiempos y costos de fabricación. También se recomienda definir registros de producción que permitan determinar pronósticos de producción y controlar los flujos de producción.

Se debería procurar la mejora de los flujos de producción, reducir actividades que no dan valor agregado, planificar de forma organizada el flujo de materiales e impulsar adecuadas secuencias de producción que permitan alcanzar la máxima capacidad de producción de una planta al más bajo costo del producto final.

Es recomendable capacitar a los trabajadores con el fin de que entiendan y comprendan la importancia del trabajo que realizan.

Se recomienda que la empresa mejore la comunicación con el departamento de diseño de manera que se consiga una correcta planificación del trabajo a realizar y evitar cambios en la secuencia de producción.

Se debe realizar un análisis más detallado de las ventajas que se obtienen al adquirir nueva tecnología en la planta, evaluando los ahorros alcanzados al no

necesitarse limpieza de las partes soldadas y al incrementar la productividad de la planta.

Se recomienda que la empresa implemente registros de producción de manera que se pueda medir, controlar las mejoras y establecer responsabilidades a los operarios con la finalidad de no dar soluciones temporales si no eliminar los problemas de forma permanente.

REFERENCIAS

- ¹ McCORMAC, Jack C.; Diseño de Estructuras Metálicas, Editorial Representaciones y Servicios de Ingeniería, México, 1972
- ² BLODGETT, Omer W., Design of Welded Structures, Lincoln Arc Welding Foundation, Cleveland, 1961
- ³ BRESLER, Lin y Scalzi, Diseño de Estructuras de Acero, Editorial Limusa, México, 1997
- ⁴ BROCKENBROUGH, Roger, Manual de Diseño de Estructuras de Acero
- ⁵ AISC
- ⁶ AWS, Structural Welding Code-Steel AWS D1.1/D1.1M:2002
- ⁷ ASKELAND, Donald, R, La Ciencia e Ingeniería de los Materiales, Grupo Editorial Iberomérica, México, 1987.
- ⁸ KOSKELA, Lauri, Application of the New Production Philosophy to Construction, Stanford University, 1992
- ⁹ Juran, Juran on Planning for Quality. The Free Press, New York. 341 p, 1988
- ¹⁰ Stalk & Hount, Competing against time. Free Press, NY, 1990
- ¹¹ INDURA, Catalogo de Procesos y Productos
- ¹² Manual de Mecánica Industrial, Máquinas y Control Numérico, Tomo IV, España, 2002.
- ¹³ Lincoln Electric, The Procedure Handbook of Arc Welding, 13 Th edition, Cleveland, 1995
- ¹⁴ INDURA, Manual de Soldadura
- ¹⁵ The Lincoln Electric Company, New Lessons in Arc Welding, Third Edition, Export Representatives, U.S.A, 1982
- ¹⁶ ESPOL, Soldadura, Guayaquil, 1983

BIBLIOGRAFÍA

- AMERICAN WELDING SOCIETY, Manual de Soldadura, 8^{va} Edición, Tomo I, Prentice Hall, México, 1996
- AISC, Manual of Steel Construction, New York, 1969
- ASKELAND, Donald, R, La Ciencia e Ingeniería de los Materiales, Grupo Editorial Iberomérica, México, 1987.
- AVNER, Sydney, Introducción a la Metalurgia Física, McGraw Hill, México, 1988.
- AWS, Structural Welding Code-Steel AWS D1.1/D1.1M:2002, 18th Edition
- BLODGETT, Omer W., Design of Welded Structures, Lincoln Arc Welding Foundation, Cleveland, 1961.
- BRESLER, Lin y Scalzi, Diseño de Estructuras de Acero, Editorial Limusa, México, 1997.
- BROCKENBROUGH, Roger, Manual de Diseño de Estructuras de Acero
- EDEBE, Tecnología Mecánica 5, Ediciones Don Bosco, Barcelona 1981.
- EPN, Guía de Prácticas Laboratorio de Ciencia de Materiales, Quito, 2003
- ESPOL, Ensayos no Destructivos, Guayaquil, 1979
- ESPOL, Soldadura, Guayaquil, 1983
- ESPOL-UNL, Soldadura y Métodos de Control, Loja, 1985
- FRED E., Meyers, Estudios de Tiempos y Movimientos para la Manufactura Ágil, 2^{da} edición, Prentice Hall, México, 2000.
- INDURA, Catalogo de Procesos y Productos
- JURAN, J.M., Juran on Planning for Quality. The Free Press, New York. 1988.
- KOSKELA, Lauri, Application of the New Production Philosophy to Construction, Stanford University, 1992
- KURT, Gieck, Manual de Fórmulas Técnicas, Representaciones y Servicios de Ingeniería, México, 1981.
- Manual de Mecánica Industrial, Tomo 1, Soldadura y Materiales, Editorial Cultural, Madrid, 2002.

- Manual de Mecánica Industrial, Máquinas y Control Numérico, Tomo IV, España, 2002.
- McCORMAC, Jack C.; Diseño de Estructuras Metálicas, Editorial Representaciones y Servicios de Ingeniería, México, 1972.
- SHIGLEY, Joseph E., Manual de Diseño Mecánico, McGraw – Hill, México, 1989.
- Stalk & Hount, Competing against time. Free Press, NY, 1990
- Steel Invest, Automatic Beam Welding, Catalogo de Productos.
- The Lincoln Electric Company, Fabricator's and Erectors' Guide to Welded Steel Construction, U.S.A, 1997.
- The Lincoln Electric, The Procedure Handbook of Arc Welding, 13 Th edition, Cleveland, 1995
- The Lincoln Electric Company, Engineering Documents, Miami Florida, 2001.
- The Lincoln Electric Company, New Lessons in Arc Welding, Third Edition, Export Representatives, U.S.A, 1982.
- <http://www.advantagefabricatedmetals.com>
- <http://es.wikipedia.org>
- www.tdx.cesca.es
- www.weldingengineer.com
- www.metalunivers.com

ANEXOS

ÍNDICE DE CONTENIDO

CAPÍTULO 1	1
FUNDAMENTOS DE DISEÑO DE ESTRUCTURAS METÁLICAS	2
1.1 INTRODUCCIÓN	2
1.2 DIAGRAMA ESFUERZO DEFORMACIÓN	2
1.3 PRINCIPALES TIPOS DE ESFUERZOS.....	4
1.3.1 ESFUERZOS A TENSIÓN	4
1.3.2 ESFUERZOS A COMPRESIÓN.....	9
1.3.3 ESFUERZOS DE TORSIÓN	11
1.3.4 ESFUERZOS A FLEXIÓN	13
1.3.5 ESFUERZOS CORTANTES	15
1.3.6 ESFUERZOS COMBINADOS	16
CAPÍTULO 2	17
ESTRUCTURAS DE ACERO PARA EDIFICIOS	17
2.1 INTRODUCCIÓN	17
2.2 VENTAJAS DEL ACERO ESTRUCTURAL	17
2.3 DESVENTAJAS DEL ACERO ESTRUCTURAL	18
2.4 ACEROS ESTRUCTURALES	19
2.4.1 ACEROS ESTRUCTURALES AL CARBONO:	19
2.4.2 ACEROS DE BAJA ALEACIÓN Y ALTA RESISTENCIA	20
2.4.3 ACEROS ALEADOS TRATADOS TÉRMICAMENTE PARA LA CONSTRUCCIÓN ...	21
2.5 CLASIFICACIÓN DE LAS ESTRUCTURAS	21
2.5.1 ESTRUCTURAS DE CASCARÓN	22
2.5.2 ESTRUCTURAS RETICULARES	22
2.6 TIPO DE MIEMBROS ESTRUCTURALES	23
2.6.1 TIPOS DE PERFILES	25
2.7 TIPO DE VIGAS Y COLUMNAS.....	29
2.7.1 TIPO DE VIGAS	29
2.7.2 VIGAS ARMADAS PARA EDIFICIOS	30
2.7.3 PERFILES LAMINADOS	31
2.7.1.1.1 Efectos del Laminado en Caliente sobre las Propiedades Mecánicas	33
2.7.1.1.2 Efectos del Laminado en Frio sobre las Propiedades Mecánicas	35
2.7.4 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE VIGAS LAMINADAS CON SOLDADAS.....	35
2.7.5 TIPO DE COLUMNAS.....	36
2.8 TIPOS DE CONEXIONES EN ESTRUCTURAS DE EDIFICIOS	38
2.8.1 TIPOS DE CONEXIONES EN VIGAS.....	39
2.8.2 CONEXIONES EMPERNADAS	42
2.8.3 TIPOS DE CONEXIONES SOLDADAS, PARA VIGAS	43
CAPÍTULO 3	48
MODELOS DE PRODUCCIÓN	48
3.1 INTRODUCCIÓN	48
3.2 MODELOS TRADICIONALES DE PRODUCCIÓN	48
3.3 NUEVOS MODELOS DE PRODUCCIÓN	51
3.3.1 REDUCCIÓN DE ACTIVIDADES QUE NO DAN VALOR AGREGADO.....	53
3.3.2 REDUCCIÓN DE LA VARIABILIDAD.....	54
3.3.3 REDUCCIÓN DEL TIEMPO DE CICLO	55

3.3.4	SIMPLIFICACIÓN DEL PROCESO REDUCIENDO EL NÚMERO DE PASOS, PARTES Y CONEXIONES.....	57
3.3.5	INCREMENTO DE LA FLEXIBILIDAD DE PRODUCCIÓN	58
3.3.6	INCORPORACIÓN DE MEJORAS CONTINUAS EN EL PROCESO	58
3.3.7	BALANCEAR LAS MEJORAS DE FLUJO CON LAS MEJORAS DE CONVERSIÓN ..	59
3.3.8	COMPARACIÓN CON ESTÁNDARES INDUSTRIALES.....	60
CAPÍTULO 4		61
PROCESO DE FABRICACIÓN DE VIGAS Y COLUMNAS.....		61
4.1	INTRODUCCIÓN	61
4.2	ANÁLISIS DE REQUERIMIENTOS	61
4.3	PREPARACIÓN DEL MATERIAL.....	62
4.3.1	CORTE	62
4.4	ARMADO	66
4.5	SOLDADURA	66
4.5.1	CLASIFICACIÓN DE SOLDADURAS	67
4.5.2	SÍMBOLOS DE SOLDADURA	71
4.5.3	DIMENSIONAMIENTO DE LA SOLDADURA.....	73
4.5.4	PROCESOS DE SOLDADURA.....	80
4.5.4.2.1	Transferencia por Cortocircuito	84
4.5.4.2.2	Transferencia por Spray	84
4.5.4.2.3	Transferencia Globular	85
4.5.4.2.4	Transferencia por Pulsos.....	85
4.6	INSPECCIÓN	89
4.6.1	INSPECCIÓN VISUAL.....	90
4.6.2	TINTAS PENETRANTES	90
4.6.3	PARTÍCULAS MAGNÉTICAS	91
4.6.4	INSPECCIÓN POR ULTRASONIDO	91
4.6.5	RADIOGRAFÍA	92
4.7	PINTURA	93
CAPÍTULO 5		94
ESTUDIO DE LA NORMA AWS D1.1: 2002		94
5.1	INTRODUCCIÓN	94
5.2	PRECALIFICACIÓN DE WPS.....	94
5.3	CALIFICACIÓN	96
5.4	FABRICACIÓN.....	97
5.5	INSPECCIÓN.....	99
CAPÍTULO 6		100
TIPOS DE EMPRESAS QUE SE DEDICAN A LA FABRICACIÓN DE VIGAS Y COLUMNAS METÁLICAS		100
6.1	INTRODUCCIÓN	100
6.2	PROCESO DE PRODUCCIÓN DE OSPINING S.A	100
6.3	DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN DE FABSTEEL S.A.....	101
6.3.1	ALMACENAMIENTO DE MATERIA PRIMA	101
6.3.2	PREPARACIÓN DEL MATERIAL	103
6.3.3	ARMADO DE VIGAS	104

6.3.4	ARMADO DE COLUMNAS	106
6.3.5	ACABADOS	109
6.4	DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN DE MAKEMAQ S.A.	109
6.4.1	FABRICACIÓN DE ALETAS	109
6.4.2	PREPARACIÓN DE TAPAS DE COLUMNA.....	111
6.5	PROCESO DE PRODUCCIÓN DE JVJ.....	112
6.6	DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN DE JVJ	113
6.6.1	ALMACENAMIENTO DE MATERIA PRIMA	113
6.6.2	PREPARACIÓN DEL MATERIAL	113
6.6.3	ARMADO DE VIGAS	114
6.6.4	ARMADO DE COLUMNAS	115
6.6.5	ACABADOS.....	116
6.7	COMENTARIOS RELACIONADOS CON LOS MODELOS DE PRODUCCIÓN OBSERVADOS.....	117
6.7.1	OSPINING	117
6.7.2	JVJ.....	117
6.8	COMPARACIÓN DE LOS MODELOS OBSERVADOS.....	118
CAPÍTULO 7		120
ESTUDIO DE LA OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN		120
7.1	INTRODUCCIÓN	120
7.2	IDENTIFICACIÓN DE LAS PRINCIPALES DEFICIENCIAS DE UNA EMPRESA DEDICADA A LA FABRICACIÓN DE VIGAS Y COLUMNAS	121
7.2.1	FALTA DE PLANIFICACIÓN.....	121
7.2.2	DISTRIBUCIÓN DE PLANTA (LAYOUT).....	122
7.2.3	DEFICIENCIAS EN EQUIPOS DE ALINEACIÓN Y ENDEREZADO	122
7.2.4	PROCEDIMIENTOS DE SOLDADURA	123
7.2.5	INSPECCIÓN	124
7.3	OPTIMIZACIÓN DEL FLUJO DE PRODUCCIÓN	124
7.3.1	FALTA DE PLANIFICACIÓN.....	124
7.3.2	DISTRIBUCIÓN DE PLANTA (LAYOUT).....	126
7.3.3	DEFICIENCIAS EN EQUIPOS DE ALINEACIÓN Y ENDEREZADO	126
7.3.4	PROCEDIMIENTOS DE SOLDADURA	127
7.3.4.1	Efectos de las Variables de Soldadura	128
7.3.5	INSPECCIÓN	132
7.4	ESTUDIO DE LA OPTIMIZACIÓN DEL EQUIPO EMPLEADO EN OSPINING .	134
7.4.1	PROCESO DE CORTE	134
7.4.1.1	Requerimientos del Proceso	134
7.4.1.2	Características de las Máquinas de Corte Disponibles en el Mercado	137
7.4.2	SELECCIÓN DEL EQUIPO DE CORTE APROPIADO.....	137
7.4.2.1	Mesas De Corte y Corte Transversal	137
7.4.2.2	Preparado de Almas	138
7.4.2.3	Corte Longitudinal de Aletas	139
7.4.3	PROCESO DE SOLDADURA	139
7.4.3.1	Requerimientos del Proceso	139
7.4.3.2	Características de las Soldadoras Disponibles en el Mercado.....	143
7.4.4	SELECCIÓN DEL EQUIPO DE SOLDADURA APROPIADO.....	145
7.4.4.1	Análisis de Rendimiento.....	145
7.4.4.1.1	Cálculo del rendimiento de las máquinas utilizadas en Ospining	146
7.4.4.1.2	Calculo del Rendimiento de las Máquinas Propuestas	149
7.4.4.2	Análisis Económico	150

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 154
REFERENCIAS 157
BIBLIOGRAFÍA 158
ANEXOS 160

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Diagrama Esfuerzo – Deformación para Acero Dúctil, Curva Ingenieril ..3	3
Figura 1.2. Diagrama Esfuerzo-Deformación para Acero Frágil.....4	4
Figura 1.3. Elemento Sometido a Tensión5	5
Figura 1.4. Tipos de Miembros Sujetos a Tensión6	6
Figura 1.5. Junta de Empalme Sencillo.....8	8
Figura 1.6. Tipos de Empalmes.....8	8
Figura 1.7. Elemento Sometido a Compresión.....9	9
Figura 1.8. Tipos de Miembros a Compresión.....10	10
Figura 1.9. Elemento sometido a Torsión.....11	11
Figura 1. 10. Elemento sometido a Flexión13	13
Figura 1.11 Elemento sometido a Corte.....15	15
Figura.2.1 Estructura de Cascarón.....22	22
Figura 2.2 Estructura Reticular.....23	23
Figura 2.3. Principales secciones de elementos estructurales24	24
Figura 2.4. Perfil armado28	28
Figura 2.5 Viga de Celosía29	29
Figura2.6 Viga de Alma Llena29	29
Figura 2.7. Viga con Agujeros31	31
Figura 2.8. Vigas Trapezoidales.....31	31
Figura 2.9 Proceso de laminación32	32
Figura 2.10. Laminación en caliente.....33	33
Figura 2.11 Efecto del laminado en caliente sobre la estructura del grano34	34
Figura 2.12. Tipo de perfiles más comunes utilizados en columnas estructurales...37	37
Figura 2.13. Tipos de Conexiones Simples.....40	40
Figura 2.14 Tipos de Conexiones Semirígidas.....41	41
Figura 2.15 Tipos de Conexiones Rígidas42	42
Figura 2.16 Conexiones Empernadas42	42
Figura 2.17 Deformación de Ángulos de Unión.....43	43
Figura 2.18 Ángulo Soldado al Alma44	44
Figura 2.19 Ángulos de Asiento44	44
Figura 2.20 Conexiones Soldadas de Asiento Atiesado.....45	45
Figura 2.21 Tipos de Conexiones Soldadas entre Viga-Columna47	47

Figura 3.1 Proceso Convencional de Producción.....	48
Figura 3.2 Nuevo Modelo de Producción	52
Figura 3.3 Criterios de mejoramiento del rendimiento desde el punto de vista del sistema convencional, Calidad y Nuevos Modelos de Producción	52
Figura 4.1. Corte por Oxicorte	62
Figura 4.2. Proceso de Corte por Plasma	65
Figura 4.3. Soldadura de Filete	68
Figura 4.4. Soldadura de Ranura	68
Figura 4.5. Junta a Traslape.....	69
Figura 4.6. Juntas a Tope	69
Figura 4.7. Juntas de Esquina.....	69
Figura 4.8. Junta de Brida	70
Figura 4.9. Juntas en T	70
Figura 4.10. Posición de la Soldadura.....	71
Figura 4.11. Símbolos de Soldadura	72
Figura 4.12. Dimensiones de la soldadura de filete.....	74
Figura 4.13. Soldadura longitudinal de filete	80
Figura 4.14. Circuito de Soldadura.....	81
Figura 4.15. Soldadura GMAW	82
Figura 4.16. Soldadura de Arco con Núcleo de Fundente.....	87
Figura 4.17. Soldadura SAW.....	88
Figura 6.1 Diagrama de Flujo de la Fabricación de Vigas.....	102
Figura 6.2 Soldadura Longitudinal.....	105
Figura 6.3 Resoldeo.	106
Figura 6.4 Contraflecha.....	106
Figura 6.5 Diagrama de Flujo de la Fabricación de Columnas.....	107
Figura 6.6 Soldadura de Perfiles Cuadrados.....	108
Figura 6.7 Soldadura Costillas	108
Figura 6.8 Viga con el Alma Agujereada	110
Figura 6.9 Corte en la Línea Media	111
Figura 6.10 Tapa	111
Figura 6.11 Tapa con Agujeros	112
Figura 6.12 Tapa Macho	112
Figura 6.13. Varilla de refuerzo	114
Figura.6.14 Tamaño de la soldadura.....	115

Figura 6.15. Colocación de placas para columnas.....	115
Figura 6.16. Colocación primaria de costillas.....	115
Figura 6.17. Colocación secundaria de costillas	116
Figura 6.18. Soldadura intermitente alternada	116
Figura 7.1 Diagrama de Flujo de la Fabricación.....	133

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Esfuerzos Permisibles en Tensión según Normas AISC.....	7
Tabla 1.2 Propiedades de Torsión para diferentes Secciones	12
Tabla 1.3 Propiedades de Torsión para varias Secciones	13
Tabla 2.1. Propiedades mecánicas de los aceros estructurales al carbono	20
Tabla 2.2. Propiedades mecánicas de los aceros de baja aleación y alta resistencia	20
Tabla 2.3. Propiedades mecánicas de los aceros aleados tratados térmicamente ..	21
Tabla 2.4 Nomenclatura de la AISC	25
Tabla 2.5 Perfil T	26
Tabla 2.6 Perfil L	26
Tabla 2.7 Perfil W.....	27
Tabla 2.8 Perfil C.....	27
Tabla 2.9 Tubo Estructural	28
Tabla 2.10. Tipos de Conexiones Según Especificaciones AISC.....	39
Tabla 4.1 Nomenclatura empleada por la AWS para Procedimientos de Soldadura	73
Tabla 4.2. Límites de convexidad en la soldadura de Filete según norma AWS D1.1	75
Tabla 4.3. Tamaños mínimos de la soldadura de filete y límites de espesor de placas	75
Tabla 4.4. Tamaño mínimo de soldadura para juntas de penetración parcial	76
Tabla 4.5. Determinación de la fuerza sobre la soldadura	77
Tabla 4.6. Esfuerzos Permisibles de Soldaduras para Edificios (Cargas Estáticas)	78
Tabla 4.7. Longitud y Espaciamiento entre Soldaduras Intermitentes	79
Tabla 4.8 Gases de Protección y Mezclas de gases para el Proceso GMAW	83
Tabla 4.9 Métodos de Inspección para Juntas de Filete y a Tope	93
Tabla 6.1. Equipos de Trabajo del Proyecto Torres de Quitumbe.....	113
Tabla 7.1. Requerimientos de Fabricación en el Proceso de Corte	135
Tabla 7.2 Máquinas de Corte por Plasma	136
Tabla 7.3 Máquinas de corte disponibles en el mercado.	137
Tabla 7.4. Tabla Comparativa	138
Tabla 7.5 Tabla Comparativa	138
Tabla 7.6. Requerimientos de Fabricación en el Proceso de Soldadura.....	139
Tabla 7.7. Soldadoras para Proceso SMAW	141

Tabla 7.8 Soldadoras para el Proceso MIG.....	142
Tabla 7.9 Soldadora para el Proceso SAW	143
Tabla 7.10 Máquinas de Electrodo Revestido (SMAW)	144
Tabla 7.11 Máquinas de Electrodo Continuo (MIG)	144
Tabla 7.12 Rendimiento de las Máquinas de Electrodo Revestido	147
Tabla 7.13 Rendimiento de las Máquinas de Electrodo Continuo	148
Tabla 7.14 Rendimiento de la Máquina de Arco Sumergido	148
Tabla 7.15. Rendimiento de las Máquinas Propuestas.	150
Tabla 7.16. Costos de Consumo de Energía.....	152
Tabla 7.17 Análisis del Ahorro.....	153
Tabla 7.18 Costo de la Inversión a Realizar.....	153