



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO**

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
"ACATLAN"

Paginación Discontinua.

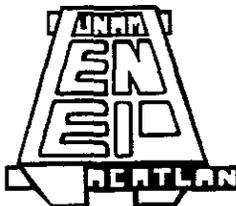
CONSTRUCCION Y MONTAJE DE ESTRUCTURAS
DE ACERO EN ZONAS URBANAS

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO CIVIL

PRESENTA

FERNANDO SANCHEZ SUAREZ



ASESOR:

ING. LEONARDO ALVAREZ LEON

ACATLAN, EDO. DE MEX.



**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

261251



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES "ACATLAN"
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL

SR. FERNANDO SÁNCHEZ SUÁREZ.
ALUMNO DE LA CARRERA DE INGENIERIA CIVIL.
PRESENTE.

En atención a su solicitud presentada con fecha de 13 de octubre de 1992, me complace notificarle que esta Jefatura de Programa aprobó el tema que propuso, para que lo desarrolle como tesis de su examen profesional de INGENIERO CIVIL.

"CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE DE ESTRUCTURAS DE ACERO EN ZONAS URBANAS".

INTRODUCCIÓN.

1. GENERALIDADES.
 2. CONSTRUCCIÓN DE ESTRUCTURAS DE ACERO EN ZONAS URBANAS.
 3. FABRICACIÓN DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES DE ACERO.
 4. UNIONES Y CONEXIONES DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES DE ACERO.
 5. MONTAJE DE ESTRUCTURAS DE ACERO
 6. CASO ESPECIFICO DE LA OBRA "CENTRO INSURGENTES".
- COMENTARIOS Y RECOMENDACIONES

Asimismo fué designado como asesor de tesis el ING. LEONARDO ÁLVAREZ LEÓN, pido a usted, tomar nota en cumplimiento de lo especificado en la Ley de Profesiones, deberá prestar Servicio Social durante un tiempo mínimo de seis meses, como requisito básico para sustentar examen profesional, así como de la disposición de la Dirección General de Servicios Escolares en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el título de ésta.

Esta comunicación deberá publicarse en el interior del trabajo profesional

ATENTAMENTE.
" POR MI RAZA HABLARA EL ESPÍRITU "
Acatlán Edo. de México a 4 de mayo de 1998.

Ing. Enrique del Castillo Frago
Jefe del Programa



ENEP-ACATLAN
JEFATURA DEL
PROGRAMA DE INGENIERIA

A mis padres:

Gonzalo y Carmen, porque gracias a ustedes estoy aquí y porque siempre han estado en los momentos mas importantes de mi vida.

Porque me enseñaron a dar los primeros pasos, pasos que desde un principio aprendí a dar con firmeza gracias a su ejemplo, el cual he seguido y espero seguir durante el resto de mi vida.

Porque me han regalado a la mejor familia del mundo.

Por todo lo anterior y por mucho mas,

! Gracias !

A mis hermanos :

Gerardo Gonzalo (†)

Francisco Alfredo

Ernesto

María del Carmen (†)

Gustavo

José Arturo

Héctor Javier

Gloria Aurora

María de la Luz

Mario Alberto

José Francisco

Por el lugar tan importante que siempre me han dado y por su invaluable apoyo en todo el camino que juntos hemos recorrido.

Porque nunca se pierda esta unión tan grande que está cimentada con amor, hermandad y amistad.

! Gracias !

A Martha :

Por el camino que juntos hemos recorrido y por el apoyo brindado en todo este tiempo.

Por los regalos tan grandes que me has dado: mis hijos Fernando y Hugo Arturo, con los cuales he recibido la oportunidad mas importante de mi vida, la de ser padre.

***Hugo Arturo,** conserva siempre este trabajo como el esfuerzo de toda una vida y con el cual estoy culminando una etapa mas dentro de las muchas que me ha tocado vivir. Recuerda siempre que somos amigos y que en ninguna parte encontraras otro como yo. Camina siempre por el buen camino y cuando encuentres algún obstáculo, piensa siempre en tus padres y sobre todo, en Dios.*

***Fernando (†),** Dios no nos dio oportunidad de estar juntos en este momento tan importante de mi vida, pero si en cambio nos regaló casi 15 de los mejores años otorgándonos la dicha de tenerte con nosotros. En donde quiera que estés, sin importar el tiempo ni el lugar, te brindo mi trabajo como un homenaje a todas las alegrías y satisfacciones que siempre supiste darnos.*

Por todo esto, siempre permanecerás en nuestros corazones.

A mis amigos:

Ing. Sergio J. Carranza Ramírez

Porque me has dado la oportunidad de ser y porque has depositado tu confianza en mi trabajo.

Ing. Mario Antonio Cervantes y Elías

Por la confianza y el apoyo que siempre me has brindado, haciéndome sentir tu inapreciable amistad en todo momento. Por estar conmigo en uno de los momentos mas difíciles de mi vida, manifestándome tu solidaridad y compañía.

Arq. Aida López Abarca.

Por tus innumerables muestras de apoyo, por tu ayuda en la realización de este trabajo y por ese gran cariño y amistad que desde siempre me has brindado.

Ing. Joel de Jesús Perea.

Por haber sido parte importante en el desarrollo de este trabajo y por tus muestras de apoyo en todas las actividades en equipo que juntos hemos desempeñado.

Ing. Isidro Santa Ana Barajas

Porque me has brindado la oportunidad de colaborar en un verdadero equipo y porque siempre has sabido valorar la amistad.

A todos los amigos que siempre me han apoyado y que me han brindado la oportunidad de seguir adelante en la vida, amigos que aunque no menciono sus nombres, siempre los tengo dentro de mis recuerdos.

Pero sobre todo, a un amigo que me ha acompañado en todos los momentos de mi vida, un amigo que ha estado en mis dichas y en mis desdichas, en mis alegrías y en mis tristezas, en mis satisfacciones y en mis frustraciones, en sí, un amigo completo,.....

! D I O S !

Prólogo	
Introducción	
Objetivo General	
CAPITULO 1 Generalidades	1
1.1 <i>Definición de estructuras</i>	1
1.2 <i>Materiales estructurales</i>	3
1.3 <i>Diseño de estructuras</i>	6
1.4 <i>Procesos constructivos</i>	11
CAPITULO 2 Construcción de estructuras de acero en zonas urbanas	25
2.1 <i>Estructuras de acero en zonas urbanas</i>	25
2.2 <i>Clasificación del acero</i>	36
2.3 <i>Diseño de estructuras de acero</i>	44
2.4 <i>Construcción con acero</i>	58
CAPITULO 3 Fabricación de elementos estructurales de acero	65
3.1 <i>Taller fabricante de estructuras metálicas</i>	65
3.2 <i>Planos de taller y técnicas de trazo y dibujo</i>	77
3.3 <i>Control de calidad</i>	94
CAPITULO 4 Uniones y conexiones de elementos estructurales de acero	103
4.1 <i>Uniones y conexiones</i>	103
4.2 <i>Soldadas</i>	110
4.3 <i>Atornilladas</i>	131
CAPITULO 5 Montaje de estructuras de acero	143
5.1 <i>Plan de montaje</i>	143
5.2 <i>Transporte</i>	161
5.3 <i>Herramientas y equipo de montaje</i>	163
5.4 <i>Procedimiento de montaje</i>	176
CAPITULO 6 Caso específico de la obra "Centro Insurgentes"	187
6.1 <i>Diseño</i>	188
6.2 <i>Transporte</i>	196
6.3 <i>Montaje</i>	196
6.4 <i>Mantenimiento</i>	201
COMENTARIOS Y RECOMENDACIONES	205
BIBLIOGRAFIA	207

INTRODUCCION

El ingeniero civil es un profesional que se capacita para aplicar en forma óptima la tecnología correspondiente, aprovechando los recursos físicos y humanos en la realización de obras o conjunto de obras de servicio colectivo, en donde cubre las etapas de planeación, diseño, construcción, supervisión y mantenimiento lo que representa un vasto campo de acción, resultando poco menos que imposible el abarcar lo plenamente. Una pequeña muestra del campo de acción del ingeniero civil es la construcción y montaje de estructuras de acero; para llevar a cabo la construcción de una estructura de acero se debe contar con conocimientos teóricos y prácticos mismos que se obtienen en las universidades y al dedicarse a tareas relacionadas con estos trabajos.

El uso de estructuras de acero dentro de las ciudades o zonas urbanas presenta grandes beneficios, sobre todo en ciudades como el Distrito Federal donde la alta concentración de habitantes crea tanto conflictos como necesidades por resolver y aunado a ésto el espacio limitado con que se cuenta y el tipo de suelo existente en el caso particular.

Para solucionar estos problemas, que bien pueden ser llamados retos, el ingeniero cuenta con la ayuda de las computadoras y una gran gama de paquetes, ambos en constante evolución, con los que puede diseñar y planear con gran eficiencia.

Al hablar de montaje de estructuras imaginamos la acción de cambiar de posición un elemento con la finalidad de obtener una forma predeterminada, que es una manera simple de describir el montaje pero, antes de pasar del diseño al montaje se deben fabricar cada uno de los elementos que componen la estructura siendo necesarios dibujos detallados o planos de taller y el uso de mano de obra calificada. Igualmente el montaje se realiza siguiendo un plan bien trazado y ambos tanto el montaje como la fabricación se realizan bajo un estricto control de calidad.

Los avances logrados en las áreas de cálculo, diseño, fabricación y montaje hacen posible el uso del acero en edificios ya sean casa habitación, oficinas comercios o industrias lográndose soluciones prácticas y confiables.

OBJETIVO GENERAL

El objetivo del presente trabajo es dar una descripción de los principales procesos de que consta la construcción con acero y los beneficios que su aplicación puede brindar en zonas urbanas.

La descripción va desde la definición de una estructura y características de diferentes materiales hasta el equipo y procedimiento de montaje. Todo esto con el fin de servir de consulta a estudiantes y de introducción al campo de la construcción de estructuras metálicas a quienes se inclinen por ese ramo, resaltando las posibilidades estructurales y arquitectónicas.

CAPITULO I GENERALIDADES

Sin duda alguna, el planteamiento, diseño y construcción de estructuras, son prácticamente tan antiguos como la humanidad misma, pues la naturaleza proporciona un ambiente adecuado para el hombre, pero raramente, las formas naturales de dicho ambiente están exactamente adaptadas a sus necesidades, conveniencia, y deseos. El hombre primitivo podía hallar una cueva natural o un árbol hueco, que le proporcionará abrigo parcial contra los elementos, pero probablemente no estaría situado convenientemente con respecto a sus suministros de alimentación y agua. Así, empezó el hombre a alterar la naturaleza para satisfacer sus necesidades, y como consecuencia realizó la primera construcción. La exploración arqueológica nos ha dado ciertos indicios de las estructuras ejecutadas por la ingeniería primitiva, aunque los conceptos e ideas sobre su construcción se han perdido y solamente pueden imaginarse.

1.1 Definición de estructura

Para la ingeniería, estructura es un arreglo o disposición de materiales o elementos de construcción que, de acuerdo con el proyecto, integra el todo de una obra, su parte fundamental o una de sus partes principales. Parte de una obra vial, fabricada con cualquier material, tal como un terraplén, un muro de contención, o cualquier construcción provisional o definitiva, que sirva para dar paso a la misma sobre el agua o sobre una depresión. En sí un conjunto de elementos resistentes que forman el armazón o esqueleto de un edificio.

Las estructuras se clasifican en simples y compuestas. Las simples tienen todos sus elementos de un solo material y pueden construirse con cualquiera de los siguientes:

- mampostería (natural o artificial)
- madera natural y laminada
- concreto reforzado
- hierro y acero
- materiales no ferrosos

Las compuestas son las que conjugan dos o mas materiales para crear el conjunto estructural.

Para el ingeniero civil, es muy importante el diseño de puentes, edificios, torres y otras estructuras fijas. Tales estructuras están compuestas por elementos unidos entre sí y sustentados de modo que puedan soportar el equilibrio estático y las fuerzas exteriores aplicadas. Una estructura debe también mantener en equilibrio las fuerzas de la gravedad, que le están aplicadas como consecuencia de su propio peso. Por ejemplo, sobre una

torre para línea de transmisión actúan: su propio peso, las cargas de viento y hielo aplicadas directamente a la torre y las fuerzas aplicadas por los cables que soportan. Deben, pues, disponerse y proyectarse los elementos de la torre que puedan soportar las cargas en equilibrio estático y transferir así sus efectos a la cimentación, ver figura 1.1

Además de las ya mencionadas, hay muchas clases de estructuras: presas, muelles, losas de pavimento de aeropuertos y carreteras, tuberías a presión, oleoductos, depósitos reguladores, viaductos y tanques.

Pero las estructuras no solo son importantes para el ingeniero civil: la estructura de un avión es importante para el ingeniero aeronáutico, la de un barco recibe especial atención de un ingeniero naval y el ingeniero mecánico debe diseñar partes de máquinas y soportes.

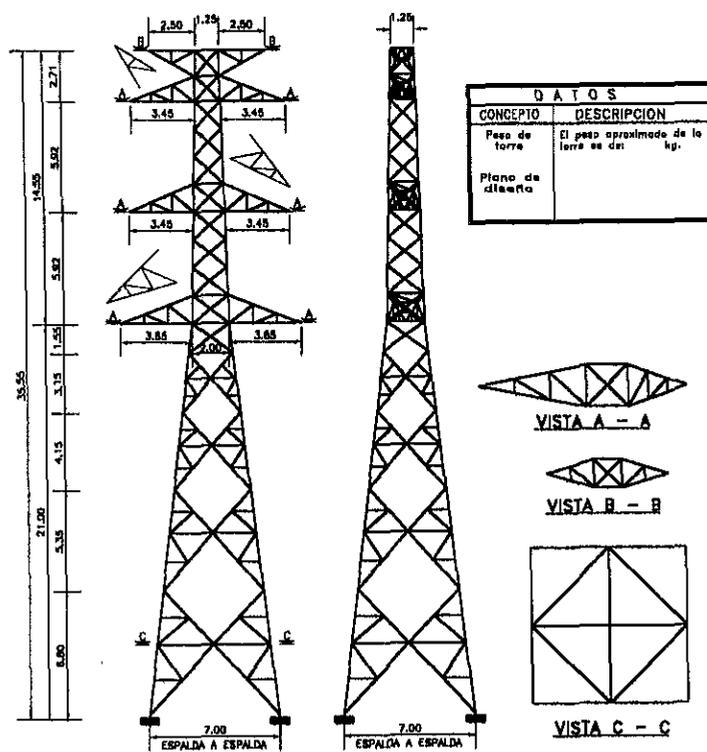


Figura 1.1 Torre de transmisión de energía eléctrica.

1.2 Materiales Estructurales

Evidentemente, el poder disponer de los materiales estructurales apropiados es una de las principales limitaciones que encuentra en su trabajo un ingeniero. Los primeros constructores dependían casi exclusivamente de la madera, piedra, ladrillos y concreto. Aunque el hierro ha sido utilizado por el hombre, al menos desde la construcción de las pirámides de Egipto, su uso como material estructural, estaba limitado por las dificultades de fundido en grandes cantidades. Sin embargo, con la revolución industrial llegaron a la vez la necesidad del hierro como material estructural y la posibilidad de fundirlo en cantidad.

El acero al carbono ordinario para estructuras es casi un material estructural perfecto. Se puede fabricar con garantía y económicamente y laminarlo en una gran variedad de formas y tamaños. ver figura 1.2. Puede trabajarse y montarse mediante cierto número de técnicas y procedimientos, sin cambiar de modo apreciable sus propiedades físicas. Tiene prácticamente la misma resistencia a la tracción que a la compresión. Hasta aproximadamente la mitad de su resistencia, tiene un comportamiento elástico y por encima de esta zona posee un módulo de elasticidad elevado. Al final de ésta zona inicial de gran rigidez, el acero cede a tensión constante para un alargamiento de 1.5 a 2 %, permitiendo así igualarse las tensiones en los puntos en que las cargas o la fabricación, o el montaje han ocasionado concentraciones de tensiones. Siguiendo esta zona de fluencia, el material recupera parte de su rigidez original, ciertamente una pequeña fracción pero suficiente para detener lo necesario, el grado de aumento de deformación en muchos casos. Antes de que ocurra la rotura real en un ensayo de tracción, la muestra debe haberse alargado del 15 al 25 % de su longitud original.

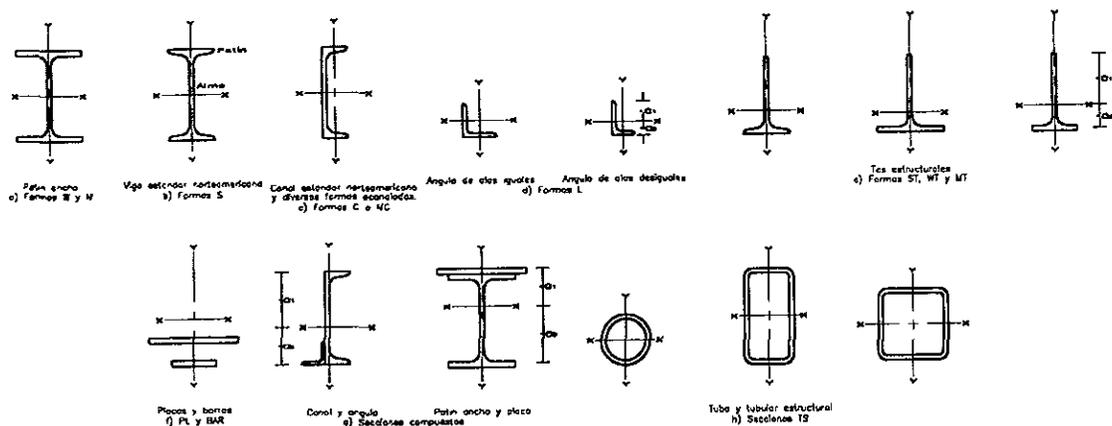


Figura 1.2 Secciones usuales para vigas y columnas.

El inconveniente mas serio del acero es que se oxida fácilmente y hay que protegerle con pintura o con algún recubrimiento apropiado. Cuando se usa el acero en un recinto en que puede producirse un incendio, los elementos de acero deben recubrirse con una protección resistente al fuego. Normalmente, los elementos de acero no fallan por fragilidad sino se produce una combinación de composición metalúrgica, bajo temperatura, y esfuerzos bi o triaxiales.

El aluminio para estructuras no se usa todavía con amplitud en las estructuras de ingeniería civil, aunque su uso va rápidamente en aumento. Puede obtenerse una gran variedad de características de resistencia, mediante una elección apropiada de la aleación de aluminio en su tratamiento térmico. Algunas de las aleaciones presentan características tensión-deformación análogas a las del acero de estructuras, excepto que el módulo de elasticidad para la parte elástica lineal inicial es alrededor de 700,00 kg/cm² ver figura 1.3, o sea aproximadamente un tercio del correspondiente al acero. La ligereza y la resistencia a la oxidación son, dos de las principales ventajas del aluminio. Debido a que sus propiedades son muy sensibles al tratamiento térmico, hay que tener cuidado al remachar o soldar el aluminio. En los últimos años se han desarrollado varias técnicas de fabricación de subelementos prefabricados de aluminio que pueden montarse rápidamente y unirse por medio de remaches en la obra, para formar cierto número de estructuras de membrana.

El concreto armado comparte con el acero de estructuras la primacía entre los materiales estructurales de la ingeniería civil. El concreto de cemento natural se ha utilizado desde hace siglos; la construcción moderna de concreto data de la mitad del siglo XIX, aunque el cemento tipo portland artificial fue patentado en 1825. Aunque varios constructores e ingenieros experimentaron con el empleo del concreto armado con acero en la última mitad del siglo XIX, su uso predominante como material de construcción, data de las primeras décadas del siglo actual. El último cuarto de siglo ha visto el rápido y vigoroso desarrollo del diseño y construcción del concreto pretensado.

El concreto simple no solo es un material heterogéneo sino que tiene un defecto muy serio como material estructural, que es su muy reducida resistencia a la tensión, no siendo mas que del orden de 1/10 de su resistencia a la compresión. No solo sucede la falla de tipo rotura frágil del concreto a tensión, sino igualmente el de compresión de modo relativamente frágil, sin que vaya precedido del aviso previo de una gran deformación. Si no se presta el debido cuidado a la elección de los agregados pétreos, a la mezcla y puesta en obra, la acción del hielo puede causar serios daños a las

obras de concreto. El concreto sufre una deformación plástica bajo cargas de larga duración, en un grado que hay que considerar cuidadosamente al elegir las condiciones de trabajo del diseño. Durante el proceso del fraguado en su primera época, el concreto sufre una retracción apreciable que puede ser controlada hasta cierto grado por la debida proporción de la mezcla y utilizando técnicas apropiadas de construcción.

A pesar de todas estas serias desventajas en potencia, los ingenieros han aprendido a diseñar y construir duraderas y económicas estructuras de concreto, prácticamente para todo tipo de necesidades estructurales. Esto se ha conseguido mediante la elección cuidadosa de las dimensiones del diseño y la disposición de las armaduras de acero, consecución de cementos apropiados, elección de los agregados pétreos y proporciones de mezcla convenientes, control cuidadoso de las técnicas de mezcla, puesta en obra y fraguado y el desarrollo inteligente de los métodos de construcción, el equipo y el modo de trabajar.

La adaptabilidad del concreto, la fácil disponibilidad de sus materiales componentes, la facilidad única de modelar su forma para conseguir la resistencia y características funcionales correspondientes, el poder obtener una impermeabilidad casi completa, la necesidad casi nula de darle mantenimiento, su incombustibilidad y por tanto su resistencia al fuego conjuntamente con el potencial de nuevas mejoras y desarrollos, no solo en la moderna construcción pretensada y prefabricada, sino también en la de concreto armado tradicional, se combinan para hacer del concreto un poderoso competidor de los demás materiales, en gran parte de las estructuras que se prevén para el futuro. El uso de elementos prefabricados de concreto, que pueden hacerse en condiciones de taller cuidadosamente controladas, y luego unirse a la obra utilizando técnicas de pretensado, está llamado a extenderse enormemente. La construcción de estructuras marinas es una de las principales aplicaciones del concreto pretensado; desde sus inicios se reconoció como el material óptimo para estructuras de playa y costa, debido a que combina durabilidad, resistencia y economía. Otra de las aplicaciones del concreto pretensado es en pilotes para cimentaciones.

Por otro lado, la madera fue el único material de los utilizados por los primitivos constructores que posee mas o menos igual resistencia a tracción y compresión. La madera está caracterizada por su falta de homogeneidad debido a su fibra, nudos y otros defectos; por sus propiedades de resistencia anisotrópica en direcciones paralela y perpendicular a su fibra, y por su escasa durabilidad debida en gran medida a su susceptibilidad a las variaciones de humedad y a ser atacada por las bacterias, hongos e insectos. Mientras que su resistencia a la tracción y la compresión es mucho menor en sentido perpendicular que en el paralelo a las fibras, el aspecto mas importante de sus características de resistencia anisotrópica es su menor resistencia al cizallamiento en sentido paralelo a las fibras que en el

perpendicular a ellas. La madera tiene también una resistencia considerablemente mas baja a las cargas de larga duración. Se deforma bastante bajo las cargas, presentando características tensión-deformación esencialmente lineales con tensiones bajas, con un módulo de elasticidad de cerca de la mitad del concreto. ver figura 1.3. Los fallos a compresión no son bruscos, pero sí los de tensión, aunque menos que los del concreto. El diseño de estructuras de madera debe permitir de un modo adecuado los cambios de dimensión originados por la variación de humedad o de temperatura. Sin embargo el principal problema para diseñar es conseguir uniones apropiadas, seguras y prácticas.

En los tiempos modernos, con el aumento del uso de la construcción de acero y de concreto armado, la madera quedó relegada a una utilización accesoria durante la construcción en estructuras secundarias y provisionales, y en elementos secundarios de la construcción permanente. El contrachapado, con propiedades de resistencia esencialmente no direccional, es la madera laminada que mas se utiliza, aunque también se han desarrollado técnicas para construir elementos grandes de madera laminada que pueden competir con el concreto y el acero para ciertas estructuras.

Otros materiales que se están desarrollando con posibilidades interesantes son los compuestos por un material aglomerante reforzado con fibras o con partículas semejantes a fibras. Aunque durante años se han utilizado los compuestos con aglomerante de plástico vidrio reforzados con fibra de vidrio, ahora parece ser que tiene posibilidades mucho mas amplias para una gran diversidad de componentes estructurales secundarios. El concreto reforzado con algunas aplicaciones experimentales en condiciones de servicio.

1.3 Diseño de estructuras

El ingeniero de estructuras actúa normalmente como auxiliar del ingeniero diseñador funcional, que lleva la dirección de la elaboración del diseño. En el campo de la ingeniería civil, ayuda al ingeniero de transportes o al hidráulico, o al de ingeniería sanitaria, facilitando las estructuras necesarias para llevar a cabo sus diseños. En la construcción de edificios, es uno de los principales colaboradores del arquitecto. De un modo análogo, ayuda a los ingenieros mecánico, químico o eléctrico a diseñar la maquinaria pesada, o las instalaciones necesarias para su diseño. Puede derivar toda su actividad hacia la arquitectura naval o la ingeniería aeronáutica y convertirse en un especialista en el diseño de estructuras de barcos o aviones. A veces, la estructura misma puede ser el elemento principal en el diseño, y el ingeniero

de estructuras tomará la dirección del trabajo como en el caso de un puente o presa o una gran instalación industrial.

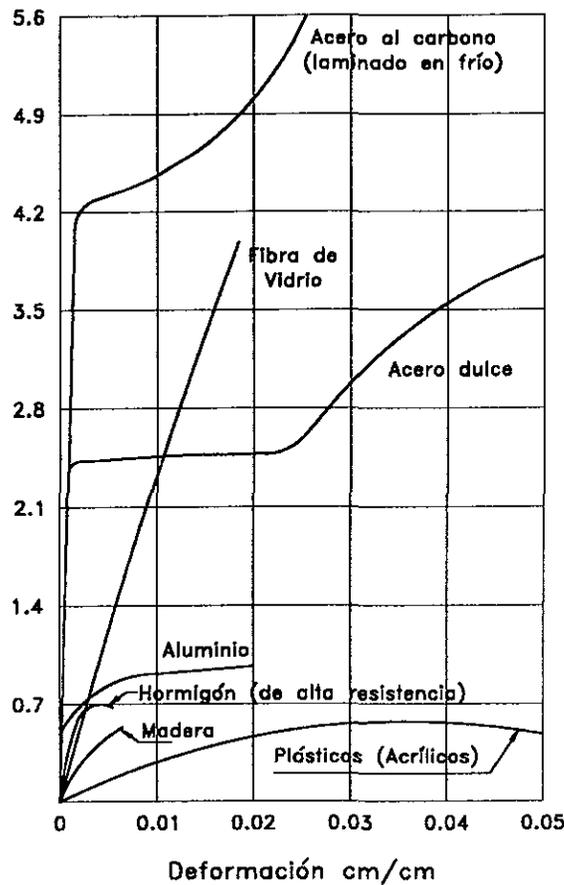


Figura 1.3 Diagramas tensión-deformación para varios materiales.

Un diseño de estructuras puede dividirse en tres fases: planteamiento, diseño y construcción.

La fase de planteamiento comprende la consideración de diversos requisitos y factores que afectan la disposición general y las dimensiones de la estructura y traen como consecuencia la elección del tipo, o quizá de varios tipos, para elegir la estructura que ofrece la mejor solución general. La principal consideración es la función que ha de cumplir la estructura, si ha de contener o albergar, transportar, o soportar en el espacio. También intervienen muchas consideraciones secundarias, incluyendo las necesidades estéticas, sociológicas, legales, financieras o económicas. Además, hay condiciones y limitaciones constructivas y estructurales y acoplamientos que son necesarios para construir cada una de las soluciones que se consideran. Normalmente, antes de llegar a la fase final del diseño, se ha determinado ya la mejor solución y se preparan los planos finales correspondientes a ella. A veces, la elección depende de consideraciones económicas y constructivas

que no se pueden evaluar exactamente más que al comparar las ofertas, por lo que hay que preparar los planos definitivos de todas las soluciones consideradas.

La fase de construcción comprende la adquisición y contratación de los materiales, equipo y personal; fabricación de los elementos y piezas; transporte a pie de obra; y la construcción y montaje propiamente dichos. Durante esta fase se puede necesitar alguna modificación del diseño si aparecen dificultades imprevistas, o si no se pueden conseguir los materiales presupuestados.

En forma general se puede dividir el trabajo de diseño en cuatro etapas fundamentales:

- Selección de criterio y determinación de su importancia relativa.
- Predicción del funcionamiento de las soluciones alternativas con respecto a tales criterios.
- Comparación de las alternativas sobre la base de los funcionamientos predichos.
- Elección de la solución óptima.

Según se ha definido anteriormente, un diseño estructural consiste en determinar las proporciones más convenientes de una estructura y en dimensionar y dar detalles de los elementos de los que está compuesta. Esta es la fase de más importancia técnica y matemática de un diseño de estructura, pero no puede ejecutarse sin estar plenamente coordinada con las fases de planteamiento y construcción. El buen diseñador debe siempre tener presente las diversas consideraciones que intervienen en el planteamiento preliminar de la estructura, y de igual modo, los problemas varios que aparecerán posteriormente durante la construcción.

Concretamente, el diseño de una estructura cualquiera comprende primero la determinación de las cargas y demás condiciones que debe soportar y que han de ser consideradas para su funcionamiento; luego viene el análisis o cálculo de los esfuerzos totales: tensiones, deformaciones, flechas y reacciones producidas por las cargas, temperatura, cedimientos, deslizamientos y otras condiciones de diseño; finalmente viene el dimensionado y elección de los materiales de los elementos y juntas, de modo que resistan adecuadamente los efectos producidos por las sollicitaciones. Los criterios utilizados para conjugar si las dimensiones adoptadas darán como resultado el comportamiento deseado, se basan en un conjunto de conocimientos, teoría, experiencia práctica e intuición. Para la mayoría de las estructuras de ingeniería civil, tales como puentes o

edificios, la costumbre es diseñar tomando como base la comparación de las intensidades de esfuerzo admisible con las producidas por las cargas de servicio y demás condiciones de diseño. Esta base de cálculo tradicional constituye el llamado diseño elástico, pues se adoptan unas tensiones de trabajo de acuerdo con el concepto de que en los puntos de la estructura, sometidos al máximo esfuerzo, no debe sobrepasarse la tensión o la deformación correspondientes al límite elástico aparente del material. Puede también modificarse la elección de la tensión admisible, considerando la posibilidad de rotura debida a la fatiga, al pandeo o a rotura frágil, o considerando las flechas admisibles para la estructura.

Según el tipo de estructura, las tensiones de trabajo calculadas para las solicitaciones supuestas puede coincidir o no con las condiciones reales a las que está sometida. El grado de coincidencia no es importante, siempre que las tensiones calculadas puedan compararse con experiencias previas. Mediante la elección de las condiciones de servicio y de las tensiones admisibles, se consigue un margen de seguridad contra la rotura. La elección de la magnitud de este margen depende del grado de incertidumbre con respecto a las cargas, el análisis, el diseño, los materiales, la construcción y las consecuencias de la rotura.

El método de tensión admisibles adolece de una desventaja importante, consiste en que no proporciona una capacidad de sobrecargo uniforme a todas las partes y todos los tipos de estructuras. Por esta razón cuando se diseñan estructuras de concreto armado hay actualmente una creciente tendencia que responde al antiguo método de la tensión admisible como una base alternativa para el diseño. En la literatura del concreto armado, esta tendencia responde al nombre de análisis a la rotura o cálculo de la rotura y en la del acero, a cálculo de la rotura o cálculo plástico. Cuando se ha hecho el dimensionado con esta base, la carga de servicio prevista se multiplica primero por un coeficiente de incremento de carga apropiado, cuya magnitud depende de las mismas consideraciones enumeradas para el margen de seguridad. A veces, los diversos componentes de la carga de servicio prevista se multiplican por coeficientes distintos de carga, que dependen de la certeza con que se conoce dicho componente, la frecuencia con que actúa sobre la estructura. Entonces se dimensiona la estructura de forma que, según las condiciones predominantes, un aumento de carga:

- causaría rotura por fatiga,
- produciría el cedimiento de una sección interna,
- causaría un desplazamiento elasto-plástico de la estructura, o,
- llevaría a toda la estructura al punto de desmoronamiento.

Los partidarios de este último modo de proceder, que realmente constituye un análisis de los estados límite, opinan que conduce a un diseño más real, con un margen de seguridad conseguido con más precisión, sobre las condiciones de servicio previstas.

Estas ventajas son consecuencia del hecho de poderse tener en cuenta los efectos no elásticos ni lineales que llegan a ser apreciados en la proximidad del momento de la destrucción de la estructura.

El ingeniero de estructuras debe diseñar sus estructuras para obtener una probabilidad conveniente de que no v a fallar, ni a resultar inservible. Debe estar preparado para analizar el comportamiento de las diversas formas estructurales que utiliza, de modo que pueda estimar las posibilidades de falla mal resultado bajo las cargas y ambiente a que están sometidas. Si la teoría es inadecuada para tales predicciones, debe hacer sus cálculos y tomar sus decisiones de diseño en base a su experiencia y ensayos, de modelos y/o piezas reales.

La decisión más importante que debe tomar un ingeniero de estructuras en relación con un diseño es la elección de la forma estructural más conveniente para satisfacer las diversas necesidades y objetivos de un diseño en particular. La mayoría de las veces no puede conocer inmediatamente la mejor solución y debe seguir considerando varios tipos de estructuras posibles en todas las fases de planteamiento y diseño hasta que pueda saber cual es la mejor de ellas. La forma estructural más conveniente es la que satisface las necesidades funcionales, económicas, sociológicas y estéticas en mayor grado y la que pueda construirse económica y fácilmente utilizando los materiales y métodos constructivos más apropiados entre los disponibles.

En las últimas décadas el diseño de estructuras se ha caracterizado por una serie de avances, entre los principales tenemos:

- La publicación de libros que tratan de las teorías de la elasticidad, plasticidad, pandeo, placas, membranas y vibraciones.
- El desarrollo de máquinas perfeccionadas, instrumentos y técnicas para ensayar materiales y estructuras, y el creciente uso del análisis experimental de las estructuras en la investigación.
- El desarrollo del método de distribución de momentos y el relacionado con él, pero generalizado, procedimiento de relajamiento.

- El renovado interés en la resistencia de rotura y el comportamiento plástico de las estructuras y elementos estructurales, y la incorporación de estas en los métodos de diseños estructurales.
- La aplicación de la teoría de probabilidades y los métodos estadísticos a la reevaluación de la probabilidad de fallo o la probabilidad de quedar fuera de servicio, y una comparación de estas ideas con el coeficiente de seguridad clásico.
- La aparición de las calculadoras analógicas y digitales y la aplicación de los métodos y procedimientos modernos de cálculo para el diseño y análisis de estructuras.
- El conocimiento más profundo del comportamiento del concreto armado, el desarrollo del concreto pretensado y postensado y la aplicación de estas ideas al diseño.
- La construcción de membranas pánels y láminas, desarrollada principalmente por los ingenieros aeronáuticos de estructuras, y la incorporación de estas ideas al diseño de estructuras de ingeniería civil, no solo metálicas sino también de concreto armado.
- El desarrollo de materiales estructurales perfeccionados tales como aceros, aluminios, plásticos, concretos, maderas y materiales cerámicos.
- El continuo desarrollo de nuevo y perfeccionado equipo de construcción, métodos y técnicas de fabricación, transporte, montaje y mantenimiento de las estructuras.

1.4 Procesos constructivos

La forma y materiales de las estructuras, depende de el lugar en que deben construirse, porque naturalmente es el medio el que determina las condiciones para que las estructuras subsistan, sean funcionales y económicas.

Se deben analizar los aspectos geográficos, demográficos, sociales y económicos y a la vez realizar estudios de mecánica de suelos, topografía y de vialidad, principalmente. En las construcciones de gran magnitud lo referente a mecánica de suelos es un factor del que depende directamente la toma de decisiones en cuanto a materiales y procesos constructivos; cuando las construcciones se localizan en zonas urbanas se ven aumentadas las restricciones en cuanto a espacio para maniobras, almacenamiento y transporte de materiales; por lo que se deben optimizar los procesos de

ejecución de los trabajos requeridos a fin de minimizar el tiempo de realización y los costos de construcción.

Por ejemplo en la ciudad de México, catalogada como la más grande del mundo, la construcción de estructuras se debe realizar en un mínimo de espacio, y aunado a ésto el particular tipo de suelo con que cuenta, el cual se ha dividido en tres zonas, desde el punto de vista geotécnico: zona de lomas, zona de transición y zona de lago, ver figura 1.4, y el hecho de encontrarse en una zona altamente sísmica, en este punto cabe hacer notar que después de los sismos de septiembre de 1985 se hizo una evaluación cuantitativa de los daños producidos, y como resultado se propuso una nueva zonificación sísmica de la que se definen dos nuevas zonas de alta intensidad, independientes de la zonificación geotécnica. ver figura 1.5.

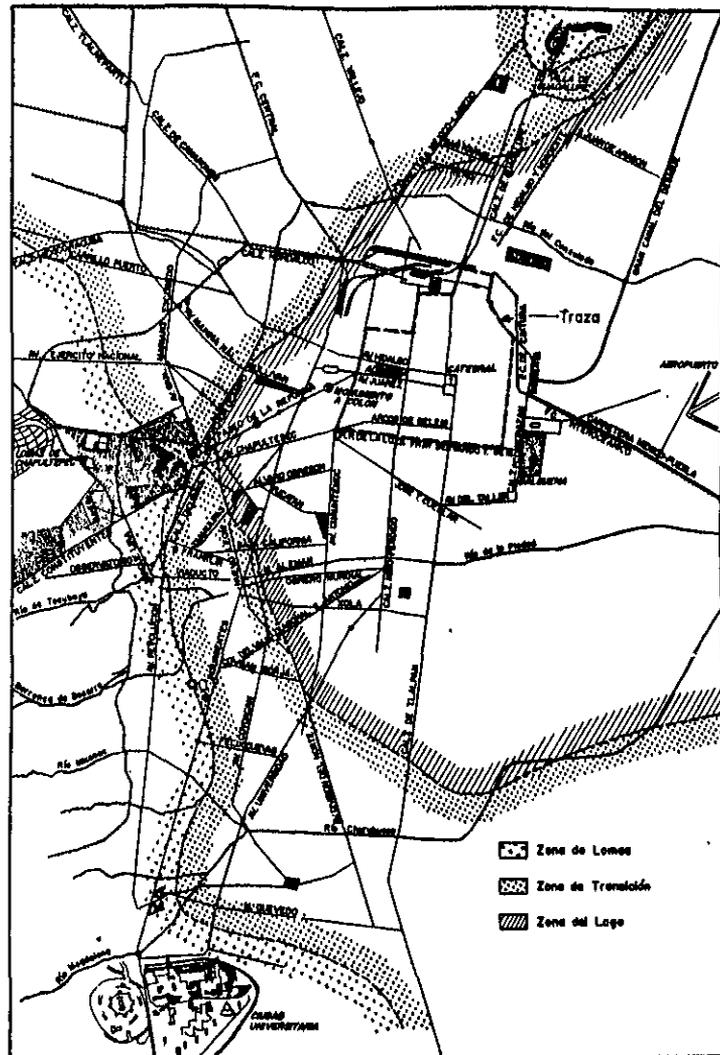


Figura 1.4 Zonificación de la ciudad desde el punto de vista estratigráfico.

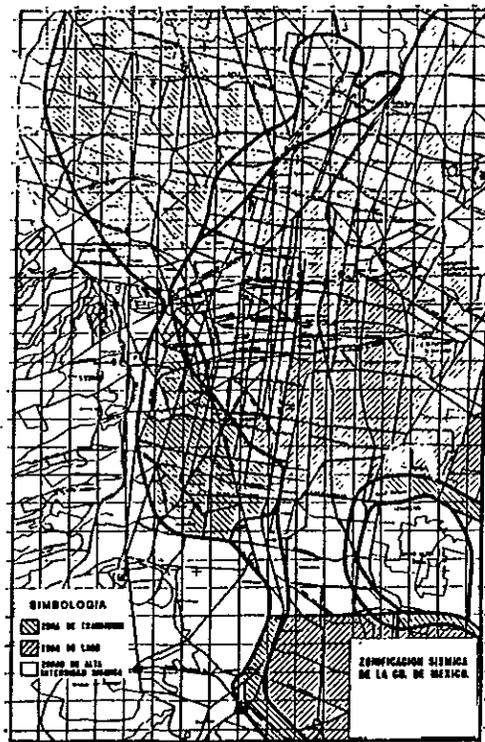


Figura 1.5 Zonificación sísmica de la ciudad de México.

De acuerdo con lo mencionado en los capítulos anteriores, los principales materiales utilizados para la fabricación de estructuras son el concreto armado, y un sistema compuesto de concreto armado y acero estructural. A continuación se describen en forma breve las etapas de que constan cada uno de estos procesos constructivos.

Antes de describir en forma particular cada proceso se hará lo propio con un proceso constructivo en forma general.

El proceso constructivo lo podemos dividir en cuatro grandes etapas:

- Diseño y planeación
- Construcción de subestructura
- Construcción de la superestructura
- Acabados

El diseño de una estructura como se mencionó en el subcapítulo 1.3 depende de una serie de factores que no son controlados por el diseñador, pero que afectan directa o indirectamente los derroteros de dicho diseño. La planeación es en sí la previsión de los trabajos de que consta cada una de las etapas del proceso constructivo, y en ella se determinan principalmente el tiempo y el costo que acarrea la construcción de la estructura. Este primer punto depende en gran medida de la función a que se destinará la estructura y de la ubicación de la misma.

La subestructura está compuesta por los cimientos, los que se fabrican, en su gran mayoría de concreto armado, ya sean zapatas aisladas, zapatas corridas, pilas, pilotes o losas de cimentación. Entendiendo por cimentación los elementos usuales de transmisión de carga de las partes estructurales de un edificio al suelo. ver figura 1.6

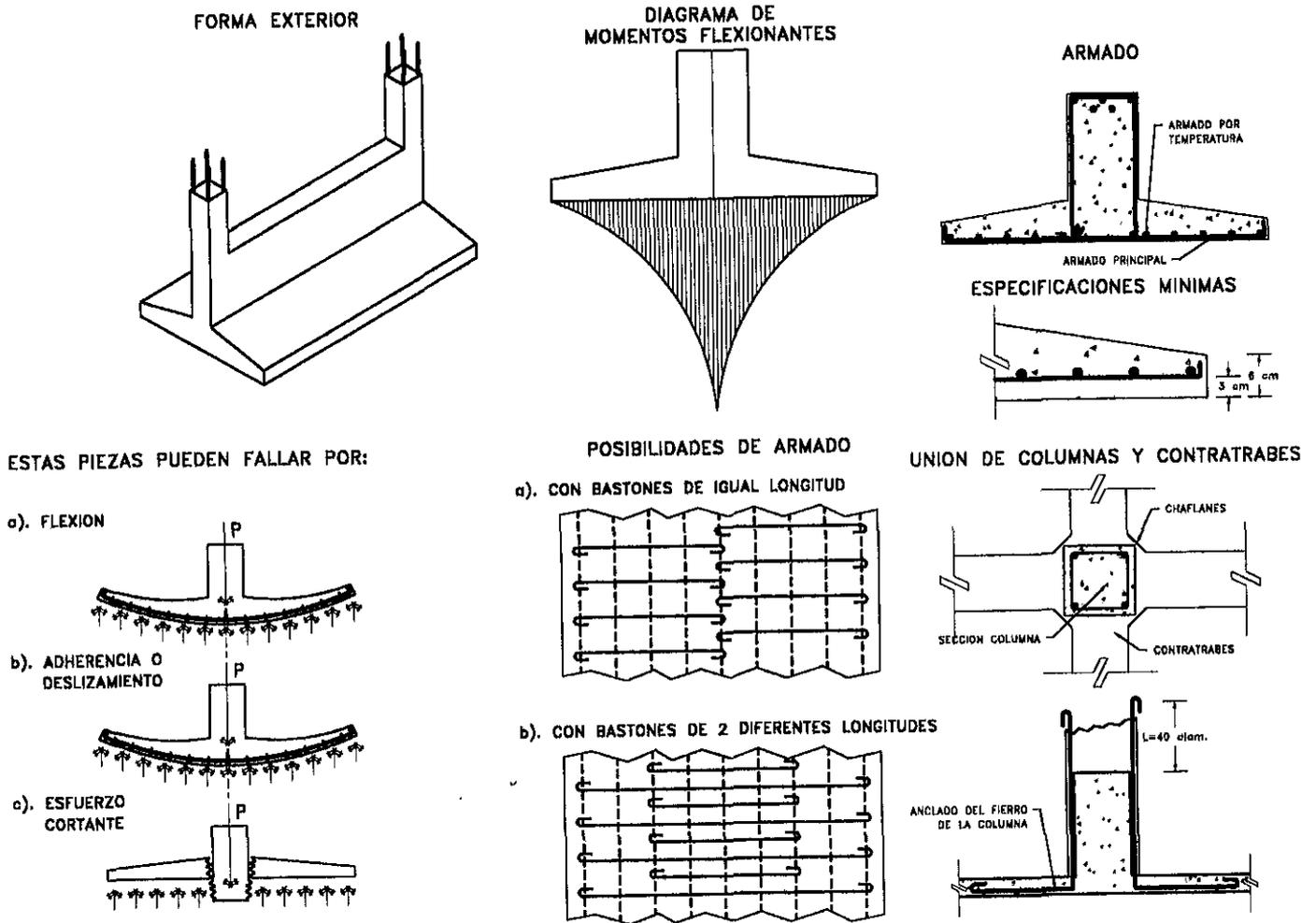


Figura 1.6 Cimientos de Zapata corrida en concreto armado.

La superestructura esta formada por columnas, traveses, vigas y sistemas de piso que van a soportar los componentes no estructurales que dan acabado y funcionalidad a la estructura. Estos elementos no estructurales son a los que se refiere el punto denominado acabados.

Cualquiera que sea el proceso constructivo a emplear, consta de varias fases. La primera fase, que comprende el diseño, nos va a proporcionar: planos detallados, lista de materiales e instrucciones especiales de fabricación; en la segunda fase, se consideran los trabajos preliminares dentro de los cuales se encuentran: los trámites administrativos, la limpieza y trazo en el terreno, la instalación de protecciones en colindancias y vía pública, las adecuaciones para el ingreso de materiales y equipo, y los trabajos de excavación.

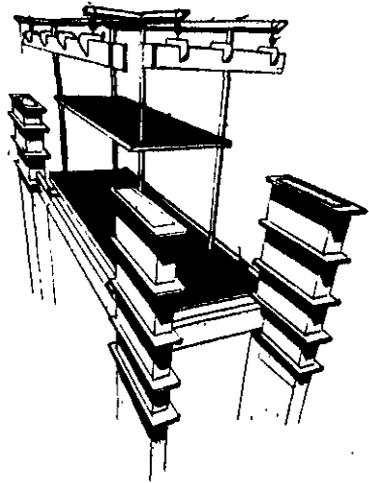
Por lo que respecta a la superestructura de un edificio de concreto, se pueden enumerar diferentes tipos de construcción; el más común es la estructura constituida a base de columnas, traveses y losas, formando tableros horizontales de secciones rectangulares, las cuales cubren claros relativamente pequeños en ambos sentidos. Otro sistema usado es el llamado de losas planas, en el cual las traveses se eliminan soportándose las losas sobre las columnas por medio de capiteles o ampliaciones en las cabezas de las mismas y armando la losa por medio de varillas transversales al armado ortogonal comúnmente empleado en el tipo común de losas. En la zona donde debería quedar situada la traves, la losa lleva una ampliación en el peralte y su refuerzo es más pesado en esta zona. La losa reticular, es una losa liviana de espesor uniforme que se apoya directamente en las columnas, la losa reticular se forma mediante la combinación de elementos prefabricados de concreto simple y más comúnmente con módulos de poliestireno, con nervaduras de concreto reforzado. En este tipo de losa los esfuerzos de flexión y corte son relativamente bajos y repartidos en áreas grandes; la losa reticular tiene un esquema estático semejante al de la losa plana y en realidad puede considerarse como un derivado y perfeccionado de dicho tipo de losa.

Cuando se utiliza el concreto reforzado como principal material en los elementos estructurales, el proceso constante de tres trabajos principales:

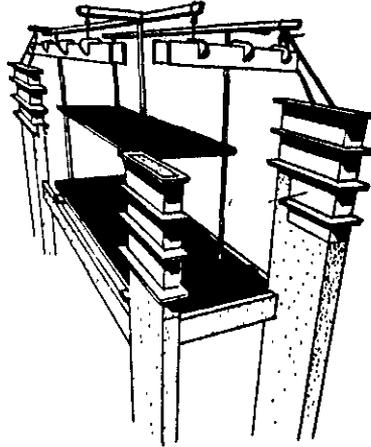
- habilitado y armado de acero
- cimbrado y
- colado

El habilitado y armado del acero de refuerzo se refiere a preparar los elementos de acero que se van a confinar en el concreto. Este refuerzo puede ser habilitado y armado en obra o adquirirse en piezas prefabricadas. El detallado de estos elementos consiste en la preparación de las piezas de acuerdo con las especificaciones contenidas como detalles en los planos estructurales, ver figura 1.7, donde se da la disposición y características del acero de refuerzo. El detallado de elementos estructurales de concreto armado incorpora todo un proceso de razonamiento por el cual el diseñador permite que cada parte de la estructura funcione con seguridad bajo las

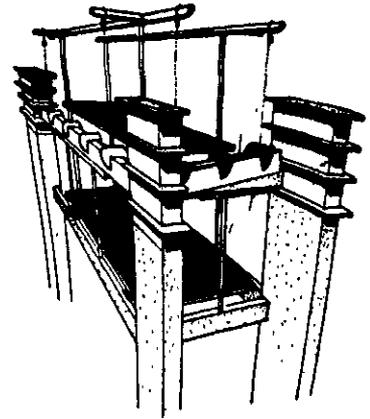
condiciones de servicio y con eficiencia cuando se sujeta a la carga última o deformaciones.



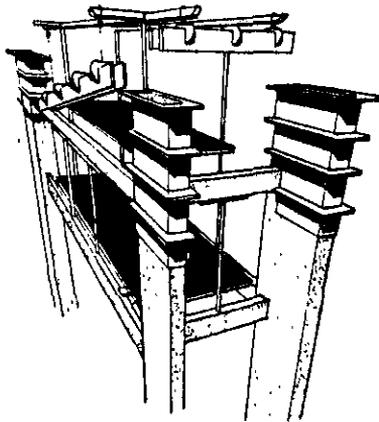
COŁAR COLUMNAS



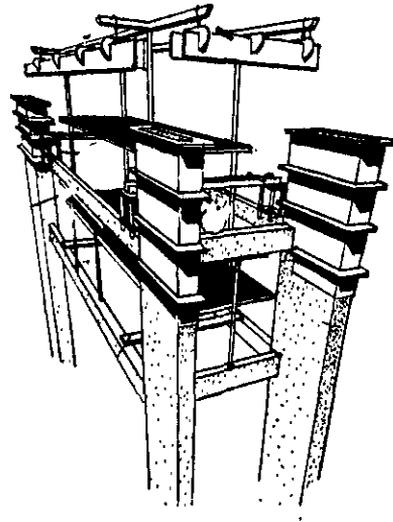
DESCIMBRAR Y CIMBRAR COLUMNAS



CIMBRAR TRABES



DESCIMBRAR TRABES.



SUBIR LITERAS.

Figura 1.7 Proceso de construcción con concreto armado.

Para reforzar correctamente una estructura de concreto, el diseñador debe poseer un conocimiento profundo de su comportamiento, más allá de la demostración de las ecuaciones de equilibrio y compatibilidad de deformación, basándose en un conocimiento total de las propiedades de los materiales y el comportamiento estructural que evidencian las pruebas, mas que en los resultados obtenidos en los modelos matemáticos.

Para reforzar correctamente una estructura de concreto, el diseñador debe poseer un conocimiento profundo de su comportamiento, más allá de la demostración de las ecuaciones de equilibrio y compatibilidad de deformación, basándose en un conocimiento total de las propiedades de los materiales y el comportamiento estructural que evidencian las pruebas, más que en los resultados obtenidos en los modelos matemáticos.

El cimbrado no es otra cosa que preparar el molde para recibir el concreto y permitir su fraguado manteniendo la forma requerida. Ha sido la madera el material más usado para la fabricación de cimbras y la mayoría de ellas se construye basándose en la experiencia, lo que para las obras ordinarias es el sistema más adecuado. Más no así para otro tipo de diseños en que no es posible hacerlas empíricamente, sino que es necesario el proyectarlas y calcularlas estáticamente en todos los diversos miembros que la constituyen, tomando en cuenta las fatigas ordinarias de trabajo y de seguridad, factores que se traducen en economía al haber resuelto correctamente el problema.

Existen otros materiales que se utilizan para la fabricación de cimbras, como son los tipo metálico, con el que se evita totalmente el uso de madera, ya que los pies derechos, postes y tornapuntas son sustituidos por elementos metálicos telescópicos, cuya vida útil es muy grande y la colocación y ensamblado es sumamente sencillo.

El acabado que toman las piezas coladas con este procedimiento es perfecto en su apariencia, quedando las superficies libres de toda irregularidad, por lo que es posible dejar el concreto aparente sin la necesidad de aplicar un recubrimiento posterior.

Se cuenta con cimbras de otros materiales como el cartón o fibra (sonotubo) la cual solo es posible usarse una vez, pero que ofrece grandes ventajas en lo que respecta a su costo y el acabado que dan a las piezas. Otros materiales que se utilizan para fabricar cimbras son: láminas hechas con fibracel, y asbesto-cemento.

Cuando tiene que efectuarse en una obra el colado de una serie de elementos iguales, tanto en sección como en longitud se utilizan comúnmente cimbras de tipo rodante o deslizante.

La cimbra rodante es muy útil en la ejecución de una serie de trabajos, durante la construcción de obras como túneles y otros casos especiales en los que amerite el estudio, proyecto y ejecución de este tipo de cimbras.

Las cimbras deslizantes tienen su mejor exponente en la cimbra utilizada para la construcción de silos o chimeneas, para la cual se habilita un juego completo de cimbra, de aproximadamente 1.5 m de altura para todo el perímetro, y se efectúa el colado continuo sosteniendo y elevando la cimbra por medio de gatos de tornillo, ya sean manuales o eléctricos, los cuales se apoyan sobre barras de acero duro empotradas en la cimentación y que quedan unidos a la cimbra por medio de puentes convenientemente colocados. Las cimbras deslizantes también se utilizan de una manera análoga para la ejecución de colados de losas, trabes y columnas.

El colado se compone de tres partes de suma importancia, la primera es la elaboración del concreto en la que se debe tener un estricto control de calidad para proporcionar adecuadamente los materiales, a fin de obtener las características deseadas de resistencia y trabajabilidad. Para que la construcción con este material resulte económica, se deben tomar en cuenta diversos factores para ayudar a lograr el mayor rendimiento de los materiales y el mejor aprovechamiento de sus cualidades, a través de un cuidadoso diseño y una ejecución lo más apegado a lo recomendado en las normas y manuales vigentes.

Es bien conocido que un concreto es más resistente cuanto mas baja es su relación agua-cemento, siempre y cuando los materiales inertes tengan una resistencia unitaria mayor que la requerida para el concreto, estén libres de polvo y materia orgánica y sean dosificados convenientemente para lograr el mejor acomodamiento o lo que es lo mismo, dosificando granulométricamente la mezcla seca de agregados para obtener así las proporciones de mas alta densidad volumétrica.

En la actualidad existen empresas que se dedican exclusivamente a la elaboración de concreto, donde las mismas empresas son responsables de la calidad de las materias primas y del producto que ponen en obra.

El colado como se le conoce también a la colocación de concreto en los moldes previamente preparados y lubricados, donde se encuentra el acero de refuerzo, requiere de una supervisión adecuada y se le debe proporcionar un vibrado uniforme en grado suficiente para que elimine la porosidad, pero que no vaya a ocasionar el asentamiento del agregado grueso lo que le restaría cualidades al concreto.

Por último se le debe de proporcionar , durante el fraguado, lo que se conoce como curado, esto se logra manteniendo una humedad tal que la deshidratación que se presenta durante el proceso de fraguado no afecte el producto terminado. La resistencia máxima del concreto se obtiene a los 28 días aproximadamente.

La construcción de estructuras a base de concreto armado tiene grandes ventajas, como es el bajo costo en cuanto a su ejecución por mano de obra no especializada, y la gran versatilidad que presenta para adoptar las más diversas formas mediante el empleo adecuado de cimbras de madera, metálicas u otros materiales; pero a la vez, el concreto armado presenta graves inconvenientes, sobre todo en la ejecución de estructuras de gran altura o proyectadas para soportar grandes cargas, debido a su alto peso volumétrico y a la necesidad de utilizar mezclas científicamente diseñadas, las cuales requieren de la más estricta supervisión para poder obtener concretos de alta resistencia y reducir así las secciones resultantes para los diferentes miembros de la estructura.

Los acabados con que se recubren las estructuras de concreto son de diversos tipos, encontramos desde recubrimientos pétreos, metálicos, plásticos, vidrios y cristales, encontrando en el mercado una serie de productos prefabricados que son relativamente fáciles de colocar ahorrando mucho en cuanto a tiempo se refiere; desempeñando funciones de ornato, divisorias o de un servicio específico dentro de la parte no estructural de la edificación. Los acabados comprenden todo lo referente a fachadas, pisos, muros, plafones, herrería y carpintería. Dentro de los elementos no estructurales también se encuentran las instalaciones de que debe estar provisto el inmueble como son instalación hidráulica, sanitaria, aire acondicionado, iluminación, comunicación, intercomunicación y elevadores.

La construcción de estructuras de acero, además de las etapas de diseño, cimentación y acabados, que no varían con respecto a lo descrito en este subcapítulo para las construcciones de concreto reforzado, consta también de una etapa de fabricación de los elementos, la cual se hace en instalaciones especialmente diseñadas para dicha labor, esto preferentemente se lleva a cabo en talleres fijos, pero cuando las circunstancias lo ameritan se puede montar el equipo en el lugar de la obra.

La fabricación de los elementos estructurales de acero cuentan con un estricto control de calidad para evitar al máximo problemas en la etapa de montaje, que es la siguiente etapa a la de fabricación.

El transporte de los elementos estructurales puede hacerse por vías marítimas, por ferrocarril o carretera. Las partes que forman parte de una estructura deben entregarse en el área donde trabajan las plumas o las grúas,

y cuando sea posible dividiendo los lotes en subdivisiones más pequeñas, o en las secciones adecuadas para un edificio que se montará con grúa.

Después que se ha revisado el avance de las obras de cimentación, bases o pilas, para asegurarse de que el lugar de la obra estará listo para la iniciación de los trabajos de montaje, debe ordenarse la estructura para tenerla lista en el momento adecuado. Si se utiliza un patio para la descarga y almacenamiento de las piezas antes de que se monten. El montador puede necesitar un patio para seleccionar los elementos estructurales por áreas o entregas menores que los que hizo el fabricante.

El acero se monta uniendo los elementos por medio de tornillos, soldadura y en ocasiones mediante remachado; auxiliados por dispositivos para elevación manual o mecánica; estos dispositivos, comúnmente conocidos como plumas, pueden moverse mediante electricidad, combustibles fósiles o una combinación de ambos.

Las grúas son equipos mecánicos que constan principalmente de una cabina rotatoria con un contrapeso y una pluma móvil, y pueden estar montadas a su vez en un camión o plataforma móvil. ver figura 1.8



Figura 1.8 Grúa sobre plataforma móvil.

Dentro del montaje también se considera la colocación de los elementos no estructurales que forma el acabado de la construcción y las instalaciones necesarias para su funcionamiento como son las instalaciones: eléctrica, hidráulica, sanitaria o las especiales como elevadores, grúas viajeras o equipo industrial según sea el caso.

No se cuenta con una regla general para la elección de un dispositivo de montaje para una obra en particular, el requerimiento principal es comúnmente la rapidez de montaje, pero se debe atender otros factores, como el costo de la maquinaria, la mano de obra, el seguro y el costo de la energía.

El acero como elemento constructivo permite algo difícil de lograr con otros materiales, posibilidades de ampliación en todas direcciones, vertical y horizontalmente, su relación resistencia-peso elevada, su recuperación mecánica, su valor de salvamento, hacen de una estructura metálica una inversión siempre recuperable, más afín a las transformaciones urbanísticas en las antiguas ciudades. Para realizarla no hay que romper, ni ahogar, solo hay que atornillar, remachar o soldar.

Dentro de lo mencionado anteriormente, se pueden deducir algunas diferencias entre la utilización de concreto y de acero estructural en edificaciones. La construcción en concreto, requiere de más tiempo que la de acero, considerando los tiempos de preparación de cimbras y de fraguado en el concreto, la utilización del acero, proporciona mayor rapidez en el proceso de edificación, debido a que en su mayoría los elementos utilizados son fabricados en talleres especiales y su aplicación es relativamente más rápida debido a que por lo general no se tienen que hacer ajustes importantes en su colocación. Las estructuras de acero son mas ligeras que las de concreto además de que se pueden mediante un buen diseño, eliminar al máximo sus deformaciones aunque si se requiere de un estricto control de calidad en dichas estructuras, sobre todo en lo que respecta a soldaduras en el lugar, mismas que deben ser realizadas por personal calificado por las instituciones que para este fin existen.

Otra particularidad de la construcción con acero es la adaptabilidad con la que se cuenta para satisfacer los diseños arquitectónicos por muy rebuscados que éstos sean, situación que con concreto es mas difícil y costosa por el proceso constructivo mencionado anteriormente.

El trabajar con acero conlleva a otras actividades importantes y necesarias, sin las cuales no se podría garantizar la durabilidad del mismo y las cuales se mencionan enseguida. Las estructuras de acero deben tener recubrimientos especiales para evitar la corrosión y su debilitamiento cuando son atacadas por el fuego o por congelamiento; dichos recubrimientos son de diversas sustancias que van desde los recubrimientos por zinc

(galvanizado), hasta las espumas o materiales sintéticos que le brindan una protección por un determinado número de horas a los elementos cuando estos son atacados por el fuego.

En cuanto al mantenimiento, el reglamento de construcciones para el Distrito Federal en sus normas técnicas complementarias nos dice que después de inspeccionada y aprobada y antes de salir del taller, todas las piezas que deban pintarse se limpiaran vigorosamente, a mano, con un cepillo de alambre, o con un chorro de arena, para eliminar escamas de laminado, óxido, escoria de soldadura, basura y en general, toda materia extraña. Los depósitos de aceite y grasa se quitaran por medio de solventes. Las piezas que no requieran de pintura de taller se deben limpiar también de la forma descrita anteriormente.

A menos que se especifique lo contrario, las piezas de acero que vayan a quedar cubiertas por acabados interiores del edificio no necesitan pintarse, y las que vayan a quedar ahogadas en concreto no deben pintarse.

En forma general los elementos de acero que estén expuestos a la intemperie deberán contar con una protección adecuada, por medio de pinturas o galvanizado.

En la actualidad, el acero está tomando un importante lugar dentro de la industria de la construcción, situación que se puede constatar en cualquier punto de la ciudad en que haya construcciones; como es el caso de las edificaciones que se reestructuraron por sufrir daños en los macrosismo de 1985, edificaciones que en su mayoría se reforzaron con elementos de acero.

El acero estructural es el material ideal para la construcción, especialmente para estructuras ubicadas en zonas de alta sismicidad debido entre otras ventajas, a las siguientes:

El acero es un material homogéneo que tiene magnificas propiedades de resistencia, ductilidad, tenacidad, capacidad de absorber energía, alta resistencia a la fatiga y soldabilidad. De acuerdo con su alta resistencia, dentro de ciertos límites, el acero se comporta de manera satisfactoria cuando está sometido a diversos tipos de esfuerzo, tensión, compresión, flexión, torsión o flexocompresión. Estas propiedades le dan mayores niveles de seguridad a una estructura sobre todo cuando esta sujeta a esfuerzos causados por cargas accidentales, principalmente sismo o viento, ya que estas fuerzas pueden causar inversión de esfuerzos. La estructura metálica

pesa considerablemente menos que una estructura de concreto para la misma geometría y cargas.

Las fuerzas sísmicas que actúan en la estructura de un edificio se determinan multiplicando la masa de éste por su aceleración de respuesta, por lo que se desprende que mientras más pequeña se la masa del inmueble, menor será la vulnerabilidad al daño por sismo. El acero es apropiado para reducir la carga muerta. Gracias a su elevada resistencia se puede aumentar el número de pisos con un incremento relativamente pequeño de la carga muerta.

La construcción en acero se basa en procesos constructivos simples y modernos, utilizando técnicas industriales que no requieren equipos sofisticados, lo que lo hace eficiente. En general el trabajo de construcción de una obra resuelta con acero debe representar un porcentaje importante de los procesos que se llevan a cabo en el taller de fabricación de estructuras, quedando pendiente un porcentaje mínimo de trabajo para el proceso de montaje.

La rapidez en la construcción probablemente sea otra de las ventajas importantes de la estructura de acero, ya que mientras en el lugar de la obra se está construyendo la cimentación, al mismo tiempo en taller se fabrica la estructura, quedando pendiente únicamente el montaje.

A partir del diseño arquitectónico, la modulación y estructuración con base en estructura metálica permite manejar elementos estructurales con mayores claros y dimensiones menores, libres de columnas, logrando un espacio interior más aprovechable en las plantas de un edificio, lo que nos da una área rentable mayor.

Debido a la gran resistencia del acero, los peraltes de las vigas, trabes y armaduras de los marcos rígidos que forman parte de una estructura metálica son menores que los de concreto, logrando con ésto la reducción de la altura total del edificio, es decir, los edificios metálicos tienen una altura menor con el mismo número de pisos que los de concreto, por lo que se obtiene mayor economía en los acabados y revestimientos de los muros y fachadas.

Limpieza en obra, prefabricación, dimensiones menores de los miembros estructurales de acero con respecto al concreto, métodos de reestructuración rápidos en estructuras dañadas por sismo, recuperación, facilidad de ampliación o adaptación de la estructura, menor peso y por consiguiente economía en la cimentación y gran rapidez en la etapa de montaje son ventajas que hacen muy conveniente el uso de acero en la construcción de estructuras y en especial las sismoresistentes.

Cabe hacer mención que no se afirma que el acero sea el material perfecto de construcción, ya que cada proyecto requiere un cuidadoso estudio económico para determinar la solución definitiva de la estructura que se utilizará; pero sí se resalta que las propiedades y ventajas del acero son favorables para la construcción de estructuras principalmente ubicadas en zonas de alta sismisidad, en las que se debe aprovechar al máximo las características de los materiales.

CAPITULO II CONSTRUCCION DE ESTRUCTURAS DE ACERO EN ZONAS URBANAS

La construcción con acero en nuestro país ha tenido un aumento especial en los últimos años, aumento que ha alcanzado en comparación con la del concreto por las diversas ventajas que ofrece este tipo de alternativa; que si bien es cierto que es más caro en lo que a materiales se refiere, se compensa con el tiempo de ejecución de las obras.

Ente otras bondades que presenta este tipo de alternativa es que el proceso constructivo de cualquier estructura de acero ofrece gran manejabilidad, ya que pudiera ser que parte de esa estructura se construyera dentro de un taller, factor importante dentro de una zona urbana donde los espacios de trabajo son reducidos.

La ingeniería de estructuras comprende el planeamiento, el diseño y la construcción de edificios, puentes y otras estructuras, como son los caballetes de extracción, los silos de carbón y de grano, así como plumas de grúas, depósitos de agua, revestimientos de túneles, muelles, torres de distribución eléctrica, chimeneas y torres de destilación para refinerías.

2.1 Estructuras de acero en zonas urbanas.

Una estructura metálica, es toda aquella estructura de dos dimensiones constituida por columnas y vigas dispuestas en cuadrícula que sirven generalmente como soporte a un relleno de mampostería o a un revestimiento ligero, la cual puede estar aislada, pero casi siempre forma parte de un armazón tridimensional del que constituye uno de los extremos.

Las estructuras metálicas pesan considerablemente menos que las estructuras de concreto para la misma geometría y cargas. Este aspecto es muy importante ya que mientras más pequeña sea la masa del inmueble (carga muerta), menor será la vulnerabilidad al daño por los sismos.

Los edificios de acero pueden subdividirse en tres categorías: edificios de un sólo nivel, edificios comerciales de varios niveles y edificios especiales caracterizados por claros muy grandes.

Los edificios industriales de un sólo nivel en la actualidad se constituyen del tipo de marco rígido.

Los edificios comerciales de varios niveles se caracterizan por una estructuración uniforme en plata, con crujías rectangulares; entre los cuales tenemos: los edificios de departamentos, edificios de oficinas, hoteles, edificios públicos y otros similares. El piso o las losas de piso son soportadas en cada nivel sobre vigas (o largueros de celosía) y trabes; las trabes y

algunas de las vigas son apoyadas sobre columnas, las cuales generalmente son continuas a través de los pisos.

Como estructuras urbanas para efectos de este trabajo se hace referencia principalmente a los edificios de departamentos y oficinas, y hangares o naves industriales.

Los edificios especiales tales como gimnasios, auditorios, terminales de transporte y hangares requieren a menudo áreas grandes sin obstrucciones causadas por columnas, éstas estructuras pueden realizarse a base de arcos, armaduras de claros grandes, marcos rígidos, trabes, o bien sistemas suspendidos.

El uso del acero estructural es, además de utilizado en edificios, aplicado en otro tipo de estructuras como son las de comunicaciones y transportes, en especial los puentes; en industrias como las de extracción de petróleo, en plataformas marítimas, torres de refinamiento; la industria eléctrica, en líneas de transmisión y subestaciones.

-Estructuras metálicas de acero.- Son aquellas que están esencialmente constituidas por columnas que reciben el nombre de montantes y por vigas horizontales llamados travesaños. Según la altura de la cerca el espaciamiento de los montantes varía de dos a tres metros, por lo que el número de travesaños varía también de la altura de la cerca.

Para los cercados de gran altura, se disponen además del coronamiento, uno o dos travesaños intermedios que aumentan la unión de los montantes y arman el relleno.

Los montantes son comúnmente perfiles "I". Sus características dependen a la vez del espesor que se requiere dar al relleno y a la altura de la cerca, y deben anclarse en los cimientos a fin de que permanezcan estables bajo las diferentes cargas a que va a estar expuesta, como son el viento o los sismos.

Los travesaños en el coronamiento están constituidos por un perfil, de la misma anchura o un poco más ancho que el perfil del montante, a fin de facilitar la unión, el coronamiento puede estar también constituido por un perfil "C"; mientras que los travesaños intermedios de la altura de la cerca, que rara vez pasan de dos, pueden ser perfiles "I" o "C".

-Estructuras metálicas de edificios que sirven de soporte a un revestimiento ligero. Se debe precisar que este tipo de revestimiento solo se

usa para los hangares ya que no aseguraría un aislamiento suficiente para edificios destinados a vivienda.

Este tipo de estructura es también utilizado en hangares industriales, los destinados a almacenes y los agrícolas. Según el uso a que se destine el hangar el revestimiento ligero cubre la fachada en toda su altura o por lo contrario, se detiene aproximadamente a dos metros del suelo a fin de *permitir el paso y la ventilación del edificio.*

-Estructuras metálicas de edificios que sirven de soporte a un relleno de mampostería. Este tipo de estructuras se encuentran por lo general en edificios destinados a uso industrial, sin embargo; se utilizan en algunos edificios destinado a viviendas.

Está compuesta principalmente de:

- a) Montantes principales o columnas principales, en los ángulos toman el nombre de columnas de ángulo.
- b) Las vigas llamadas carreras; de armazón ligero.
- c) Los montantes intermedios, que están fijados a las carreras y cuyo número depende de la anchura del rectángulo elemental de la estructura así como de la presencia eventual de aberturas, puertas y ventanas.
- d) Los travesaños que están fijados a la vez sobre los montantes principales y los montantes intermedios.

-Estructuras metálicas en edificios destinado a viviendas. En estructuras de poca o media altura, son los muros de carga quienes llevan estructuras metálicas destinadas a armar ciertas partes de la obra: como los muros divisorios, tabique de escaleras o ascensores, afín de suprimir los muros espesos y utilizar mejor la superficie del edificio.

En edificios cuyo armazón son conjuntos complejos, cuyos elementos constitutivos no pueden estudiarse independientemente unos de otros. En efecto, sobre el plano técnico, las secciones elegidas deben permitir juntas y uniones, simples y robustas.

La función de un edificio industrial moderno es proporcionar soporte y alojamiento a un proceso de manufactura o almacenar materias primas o producto terminado del mismo proceso.

Para estructurar una nave industrial, los ejes de columnas se colocan de manera que proporcionen los espacios libres adecuados para el arreglo general del proceso de producción. La altura del edificio se determina en

parte por la separación económica de los ejes de las columnas, ya que varias columnas altas colocadas muy cerca entre sí, con armaduras de claros pequeños, pueden requerir más acero que un número menor de columnas con araduras de claro mayor.

Las naves de mayor ancho permiten además contar con más flexibilidad en las futuras modificaciones del arreglo de las plantas. Las columnas de cada eje deben distribuirse de manera que las interferencias con el arreglo mecánico sean mínimas.

Para claros cortos el sistema estructural puede consistir en traveses libres apoyadas, continuas o en doble voladizo, apoyadas sobre las columnas en una dirección y de largueros de alma abierta libremente apoyados en la otra dirección. Si se piensa colgar cargas pesadas en el techo, los largueros de alma abierta se pueden sustituir por perfiles laminados cuando los claros en ambas direcciones de la cruzía son muy grandes debe considerarse usar armaduras principales en una dirección y armaduras secundarias apoyadas en las anteriores en la otra dirección. Las armaduras secundarias se deben colocar con una separación de 6 a 9 m para permitir un claro económico de los largueros.

Después de determinar el arreglo general de las armaduras se puede definir la longitud de los tableros de las mismas, así como la localización de los largueros.

El marco rígido se puede utilizar como elemento principal soportante en la estructuración de edificios industriales, auditorios, gimnasios, iglesias y otras estructuras que requieran grandes áreas sin la obstrucción de columnas.

La estructura en sí es de fácil montaje de apariencia agradable. En un sentido limitado, marco rígido se refiere usualmente a un marco de un solo nivel y un solo claro, los claros económicos para marco rígido de un solo nivel y un solo claro pueden variar desde nueve hasta 60 m, ver figura 2.1

Los marcos rígidos pueden hacerse de perfiles laminados o de miembros armados, con conexiones atornilladas, soldadas o remachadas.

Las fuerzas que pueden desarrollarse en la base de una columna son las reacciones de cortante, fuerza axial y momento. Los marcos rígidos se pueden diseñar como un marco con columnas con restricción al giro en la base, o con giro libre. Las bases conectadas a la columna con pasadores se usan rara vez; en su lugar por lo común se utiliza una placa de base con una sola línea de tornillos de anclaje en el eje neutro de la columna, la cual por

lo general se considera que actúa como una articulación. La reacción horizontal de los marcos pequeños puede ser resistida por la zapata, pero en claros mayores de 18 a 24 m puede ser necesario usar un tirante entre las bases de las columnas y las zapatas.

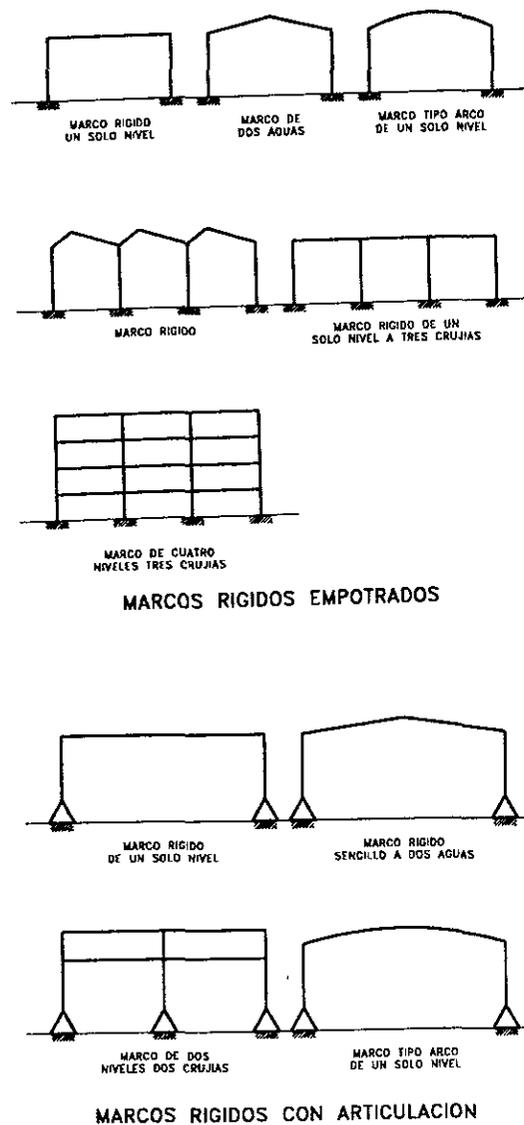


Figura 2.1 Tipos de marcos rígidos.

Aunque la mayoría de los edificios industriales son estructuras de un solo piso, la parte dedicada a oficinas puede constar de dos o más niveles.

Para seleccionar el tipo de piso se debe considerar el claro, el peso y la resistencia al fuego, su capacidad de aislamiento, sus propiedades acústicas y mantenimiento requerido.

La losa de concreto reforzado que trabaja en un solo sentido es uno de los sistemas de piso más pesados, pero constituye un piso rígido con buena resistencia al fuego, el espesor mínimo de la losa es de 8 a 10 cm. Se pueden usar agregados ligeros para reducir peso.

La construcción compuesta, en la cual una viga de acero se ahoga en el concreto o bien se une a la losa por medio de conectores de cortante, puede ser ventajosa para pisos de cargas pesadas.

En los sistemas de techo podemos considerar las cubiertas de lámina corrugada de asbesto-cemento, lámina corrugada de acero y tableros de acero. La lámina corrugada de asbesto-cemento esta cubierta con un material aislante rígido, y consta de varias capas de fieltro para techo cementadas entre sí con alquitrán de hulla o asfalto y escoria o grava en su parte superior.

Una gran variedad de piezas precoladas en forma de losas planas y secciones en canal y losetas con o sin insertos de fibra de vidrio se utilizan para cubiertas inclinadas, así como para techos planos.

Las láminas metálicas corrugadas, las láminas de asbesto-cemento y las de vidrio alambrado son particularmente adecuadas para edificios industriales.

Las paredes deben ser estructuralmente fuerte y deben tener propiedades adecuadas de aislamiento y resistencia al fuego, ofrecer protección contra la consideración del vapor de agua, ser durables, de fácil mantenimiento y apariencia agradable.

Los muros de carga deben ser lo suficientemente fuertes para soportar, además de su propio peso, cualquier carga que les transmita el piso y el techo que se apoyan en ellos.

Las láminas corrugadas de asbesto-cemento y las cubiertas de metal corrugado se usan con profusión en los muros laterales de los edificios industriales.

Tienen también una amplia aceptación los muros prefabricados que consisten en dos láminas de acero con una capa de material aislante en medio. Se logran efectos arquitectónicos atractivos con muros metálicos a base de tableros con estrías que pueden ser de aluminio, acero inoxidable, acero galvanizado con apariencia de cobre, hierro o acero con barniz porcelanizado.

Los bloques huecos de vidrio de tipo estructural sin color y translúcidos, son apropiados para muros exteriores cuando no se requiere ventilas para aire acondicionado o ventilación natural, o cuando no se necesitan vidrios comunes para visibilidad al exterior. Los bloques de vidrio no deberán quedar sometidos a otra carga vertical que no sea su propio peso.

Algunas de los factores que deben considerarse al hacer la selección de los muros divisorios son la apariencia, el peso, las propiedades acústicas y la facilidad de instalación.

Aunque por lo común no soportan otra carga que su propio peso, los muros divisorios de un edificio de unos cuantos pisos se pueden diseñar como muros de carga.

Las losetas de barro, los bloques de concreto o las losetas de yeso se usan con mucha frecuencia, pero para ciertos tipos de ocupación, como en el caso de las áreas de oficinas, es más popular el uso de muros divisorios huecos y otro tipo de muros ligeros.

Las trabes carril para grúas de los edificios industriales se pueden apoyar sobre ménsulas en las columnas. La trabe carril puede ser de un perfil laminado o bien de un perfil de tres placas, dependiendo del claro y de la carga.

Los rieles para las grúas se unen a la trabe con abrazaderas atornilladas, pero con los rieles más ligeros se usan tornillos en forma de gancho si los patines de la trabe resultan muy angostos para alojar las abrazaderas.

Los edificios industriales grandes requieren algunas grúas localizadas en dos o tres niveles de la misma nave, o una o más grúas en naves adyacentes.

Las trabes carril en naves adyacentes se pueden apoyar sobre ménsulas conectadas a una sola hilera de columnas para grúas ligeras, para el caso de grúas pesadas se necesitan columnas separadas. ver figura 2.2

El diseño más simple de un sistema de contraventeo para fuerzas transversales consiste en arriostrar cada marco independientemente de los restantes.

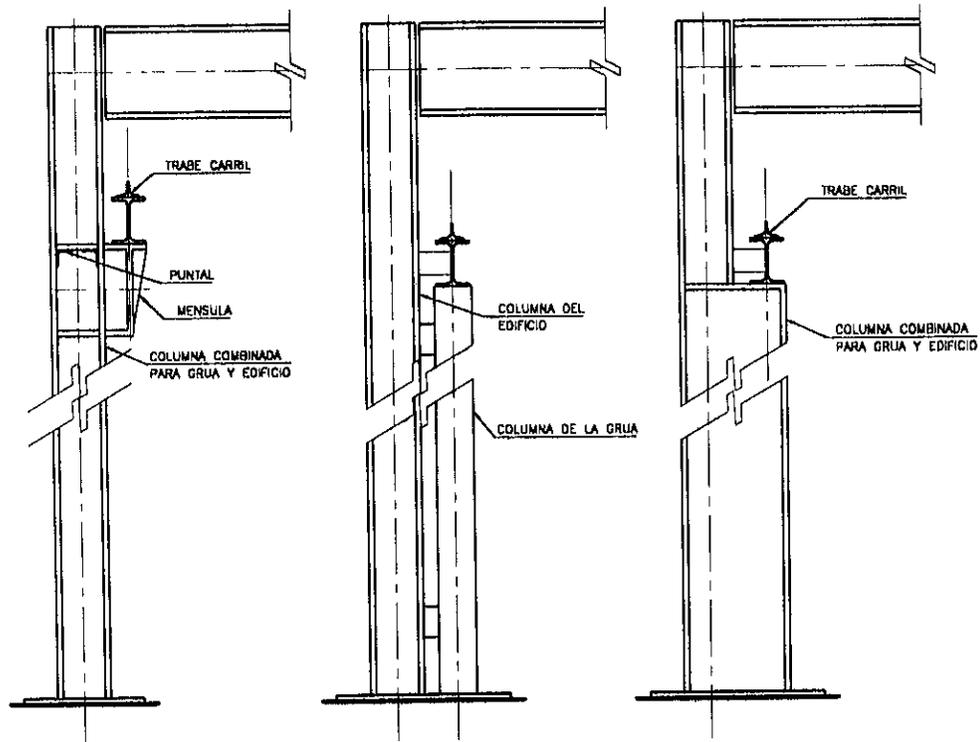


Figura 2.2 Columnas para trabe carril.

Dos marcos adyacentes y su arriostramiento respectivo forman una cruzía contraventeada que a través de los largueros y puntales de acero soportan los marcos adyacentes. El número de la separación de marcos contraventeados depende hasta cierto grado de la magnitud de las fuerzas horizontales por resistir.

El arriostramiento de edificios de acero más sencillos formados por vigas continuas sobre columnas conectadas entre sí con largueros de cubierta de perfiles laminados o de largueros de alma abierta por lo común cuentan con un sistema de contraventeo secundario entre largueros, para rigidizar la cubierta y conexiones pata de gallo o resistentes a momentos entre viga y columna.

El sistema de soporte de las grúas debe arriostrarse para resistir las fuerzas longitudinales ocasionadas por el arranque y frenado de la grúa.

Las armaduras pueden definirse como vigas de acero grandes, de gran peralte y de alma abierta, siendo el alma la parte vertical de la viga. En general están constituidas por miembros que forman triángulos o grupos de triángulos, el propósito de las armaduras para techos es servir de apoyo a una cubierta que protegerá una obra contra los elementos naturales, a la vez que sirve de apoyo y soporte para su propio peso, ver figura 2.3

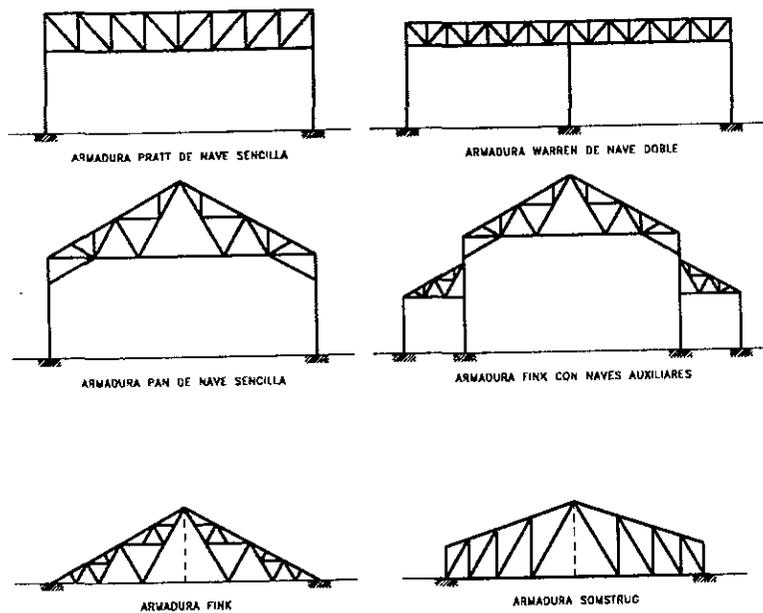


Figura 2.3 Tipos de armaduras.

Al cubrir un techo con armaduras, casi siempre se utilizarán menor cantidad de materiales; sin embargo, el costo de fabricación y montaje de las armaduras será probablemente mayor que el requerido para las vigas, pero a medida que el claro aumenta, los costos de fabricación y montaje de las armaduras se van acumulando, en virtud de ahorro de material.

Con respecto al peralte de las armaduras se debe considerar que, para claros y cargas dadas, a medida que una armadura se incrementa en su peralte, los elementos de las cuerdas se van haciendo menores, pero los miembros del alma se van haciendo más largos, influyendo esto en la relación de esbeltez y en el peso por soportar las cuerdas de la misma, que son las parte superiores e inferiores de estas.

Las armaduras pueden ser de cuerdas paralelas o de cuerdas a dos aguas, anteriormente las armaduras a dos aguas eran más usadas para claros cortos y las armaduras de cuerdas paralelas eran usadas para claros mayores. Sin embargo, actualmente son más usuales las armaduras de cuerdas paralelas por la apariencia, por su facilidad de fabricación y por tener un costo menor de cubierta.

La elección de un tipo particular de armadura depende de varios puntos que influyen en cuanto a su forma y entre ellos se encuentran los siguientes: claro, carga, tipo preferido de cubierta desde el punto de vista arquitectónico, clima iluminación, aislamiento y ventilación.

Otro punto que influye dentro del perfil que se usa, es el tipo de conexión que se realiza en los extremos o el tipo de anclaje siendo los más viables para cubrir esta serie de necesidades los ángulos, pares o grupos de ángulos y secciones compuestas.

Aparte de las propiedades y tipo de perfiles de acero que existen, las armaduras se proyectan y se fabrican tomando en cuenta los siguientes puntos:

- Selección de placas y perfiles de laminación comercial.
- Uniformidad de dimensiones (miembros de dimensiones similares).
- Perfiles de peralte máximo, para aumentar el momento de inercia y por lo tanto resistencia.
- Transporte de perfiles.
- Diseño para facilidad de montaje.
- Vista arquitectónica.

Para describir la fabricación de una armadura primeramente se tienen que identificar las partes que las forman, y son las siguientes:

- Cuerdas.
- Largueros.
- Anclajes.
- Arriostramientos.
- Contraventeos.
- Atiesadores.

Las cuerdas son las partes superiores e inferiores de una armadura y son las partes principales de las mismas.

Los largueros se dividen en principales y secundarios; y también se pueden dividir en largueros verticales o postes, y largueros diagonales o tensores, pero su funcionamiento es el mismo, esto es, dar rigidez y fuerza, porque se encuentran en el alma de la armadura.

Los anclajes son las partes o elementos mediante los cuales la armadura se une de una manera adecuada y correcta a las estructuras de apoyo.

Los atiesadores son también armaduras del mismo peralte que las principales, pero que se colocan entre ellas para unirlas y servir de liga para aumentar la rigidez y resistencia del sistema de armaduras.

No todas las armaduras se colocan y apoyan igual, algunas se colocan en los espolones de las columnas y otras solamente sobre las placas previamente instaladas.

Al tener dos tipos de colocación, también se tienen dos tipos diferentes de anclajes en las armaduras. El anclaje de una armadura es la manera en que ésta se une o se empotra a la estructura sobre la cual se apoya; para trabajar de una manera continua y correcta, dando una seguridad a la unión, aún cuando no sean del mismo material los dos elementos. La mayoría de las armaduras se anclan sobre placas previamente colocadas.

La estructuración de un edificio de varios niveles consta de columnas, trabes y vigas, las cuales soportan las cargas de piso y de techo. Generalmente las columnas de piso a piso y las trabes y vigas se conectan a ellas.

Los exteriores e interiores pueden ser de mampostería o de concreto, y a menudo se recubren con acabados decorativos, tales como mármol, metal o paneles de madera; la tendencia moderna es colocar cristales en áreas de los muros exteriores.

Aunque esto reduce el peso de los muros y puede tener una apariencia agradable, presenta problemas para la transmisión de fuerzas laterales y para el aislamiento térmico, además de que aumenta el costo de mantenimiento.

En edificios de menos de 10 niveles pueden utilizarse muros de carga, en cuyo caso pueden omitirse algunas vigas o trabes. Por lo general, se usan muros de relleno (no de carga), y se soportan estos en vigas, las cuales se llaman vigas soporte de muro. Cuando están localizadas en el perímetro de un piso, estas vigas se denominan también vigas de borde.

Los muros divisorios se hacen a veces de mampostería hueca o de paneles de diferentes materiales, utilizando metal, madera, yeso o aplanados.

Los pisos se hacen por lo general de losa de concreto, y pueden utilizarse económicamente muchos materiales especiales, como cubiertas metálicas o concreto ligero.

Las vigas y trabes que se usan en edificios de varios niveles dependen en gran parte del tipo de sistema de piso empleado. Las vigas de acero pueden reemplazarse económicamente por vigas secundarias de concreto, coladas monolíticamente con la losa, o por unidades de piso de concreto, preesforzadas y precoladas.

Las columnas de acero que se utilizan en los edificios de varios niveles tienen por lo general una relación de esbeltez pequeña, porque las distancias entre pisos son relativamente reducidas y las cargas son usualmente altas; en la figura 2.4 se muestran varias secciones armadas para columnas típicas.

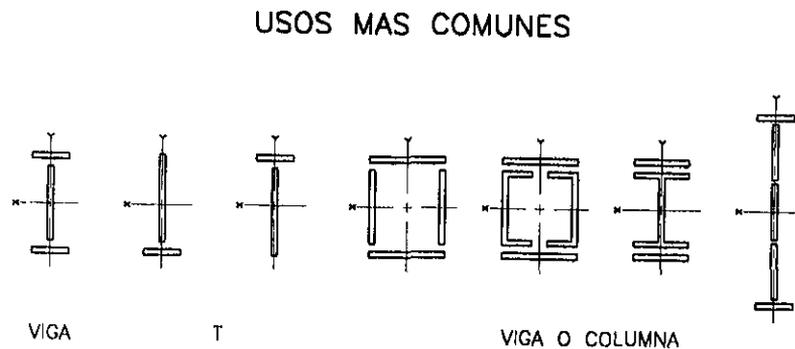


Figura 2.4 Secciones en trabes y columnas.

2.2 Clasificación del acero

Clasificación del acero de acuerdo a diferentes asociaciones. Las especificaciones que norman la composición de los metales han sido publicadas por varias asociaciones clasificadoras. Estas especificaciones sirven como guía de selección y proporcionan un medio para que el

comprador y el diseñador determine convenientemente ciertas condiciones. Estas asociaciones son las siguientes:

- ▶ **A.S.T.M.-** American Society for Testing Materials. Esta asociación se encarga de la normatividad de los aceros para placas aceros estructurales, para calderas, así como los métodos y procedimientos de prueba de los mismos.

- ▶ **A.I.S.I.-** American Iron and Steel Institute. Esta especificación es utilizada para barras de acero en la fabricación de automóviles, camiones, equipos agrícolas.

- ▶ **A.S.M.E.-** American Society of Mechanical Engineers. Esta asociación presenta especial interés en los aceros para calderas y aceros estructurales basando su clasificación en función de sus propiedades físicas.

- ▶ **S.A.E.-** Society Automotive Engineers. Esta asociación basa su clasificación mediante el tipo de composición química.

- ▶ **N.M.X.-** Normas Mexicanas. Esta asociación está encargada de las especificaciones, normas, métodos y procedimientos de prueba de los aceros utilizados en nuestro país y, está basada principalmente en las normas de EE.UU. (A.S.T.M.)

Las anteriores asociaciones también clasifican el acero en función de sus propiedades físicas tales como la resistencia máxima a la tensión, el límite de fluencia y el alargamiento, proporcionando también el rango de la composición química y los campos de aplicación.

Clasificación de aceros estructurales por número A.S.T.M. y resistencia al límite de cedencia:

Clasificación general	N° A.S.T.M.	Resistencia al límite de cedencia (ksi).
Aceros estructurales al carbono	A36	36
Aceros de alta resistencia y bajo contenido de aleación	A440 A441 A242 A588	42.50
Aceros al columbio-vanadio	A572	42-65
Aceros al carbono con tratamiento	No hay	50-80
Aceros de aleación con tratamiento térmico para construcción	A514 A517 A633	90-100

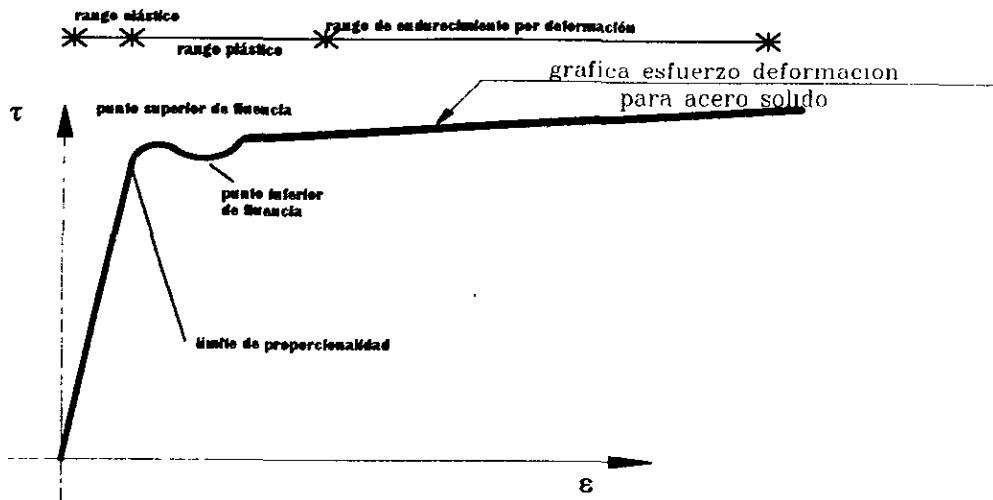
Propiedades mecánicas:

En algunas normas de productos, los requisitos de las propiedades de tensión varían por los diferentes tamaños de los perfiles debido al efecto de masa.

Por conveniencia, los diferentes tamaños de perfiles han sido divididos en grupos basándose en el espesor de la sección, en la localización de la probeta estándar para la prueba de tensión (alma de las vigas, canales y zeta, piernas de los ángulos y perfiles T) ver figura 1.2. Las normas del material designan el tamaño del perfil por referencia al grupo.

Las propiedades mecánicas dependen principalmente de la composición química, los procesos de laminación y el tratamiento térmico de los aceros; otros factores que pueden afectar estas propiedades son las técnicas empleadas en las pruebas, tales como la rapidez de carga de la muestra, las condiciones y geometría de la muestra, el trabajo en frío y la temperatura existente para llevarse a cabo la prueba. Dado que es más sencillo llevar a cabo la prueba de tensión, la mayoría de las propiedades mecánicas se toman del diagrama esfuerzo deformación a tensión.

Un diagrama típico esfuerzo deformación en un acero estructural al carbón, se caracteriza por una zona inicial en la que los esfuerzos y deformaciones están relacionados entre sí linealmente; seguida por la llamada región plástica; donde tienen lugar deformaciones considerables sin incrementos apreciables de esfuerzos y termina en una región de endurecimiento por deformación, en la cuál un incremento de deformación es acompañado por un incremento de esfuerzo, como se ve en la siguiente figura:



$$E = \frac{\tau}{\epsilon} \text{ modulo de elasticidad}$$

La deformación unitaria plástica que precede al endurecimiento por deformación es de 10 a 20 veces mayor que la deformación unitaria correspondiente a la iniciación del flujo plástico y por lo tanto un miembro que desarrolle esta deformación plástica desarrollará grandes deformaciones.

La fluencia inicial no es necesariamente una indicación de falla por el contrario, la capacidad de fluir es una característica importante de los elementos de acero.

El punto de fluencia, es el esfuerzo en el material para el cual la deformación presenta un gran incremento sin que haya un incremento correspondiente en el esfuerzo. Este punto queda indicado por la porción plana del diagrama esfuerzo-deformación, denominada rango plástico ó inelástico. Algunos aceros presentan inicialmente un punto superior de fluencia, pero el esfuerzo se reduce después hasta llegar a una parte plana, a la cual se le denomina *esfuerzo inferior de fluencia*.

El punto superior de fluencia es el que aparece en las especificaciones de diseño de todos los aceros.

En la resistencia de fluencia los diagramas de esfuerzo-deformación de los aceros de alta resistencia tratados térmicamente indican que estos aceros no tienen una amplia parte plana correspondiente al flujo plástico sino que en lugar de ella muestran una curva ascendente continua, hasta llegar al punto de resistencia máxima a la tensión; por tanto, la resistencia a la fluencia en estos aceros se define como un punto específico de la curva; que se establece trazando una paralela a la parte inicial elástica de la curva, desfasada a una cantidad igual a 0.2% de la deformación unitaria. El punto

en que se intercepta esta línea y la curva esfuerzo-deformación se toma como resistencia de fluencia.

La resistencia a la tensión o a la tracción es el esfuerzo máximo de tensión que puede resistir un material antes de romperse, cuando se estira una muestra empieza por alargarse proporcionalmente al esfuerzo aplicado (Ley de Hooke), si dejamos de aplicar el esfuerzo el material recobrará rápidamente su forma primitiva.

Se denomina relación de Poisson a la relación entre la deformación unitaria transversal y la deformación unitaria longitudinal bajo una carga axial dada. Este valor varía para el acero de 0.25 a 0.33 del rango elástico.

La relación del esfuerzo cortante a la deformación unitaria por cortante, dentro del rango elástico se denomina g (módulo de elasticidad al esfuerzo cortante) y puede determinarse mediante la siguiente expresión:

$$g = e/2 (1 + m)$$

La cuál para aceros estructurales tiene un valor aproximado de 845,000 kg/cm².

La resistencia a la fatiga es la reducción de resistencia que experimenta un metal cuando es sometido a una serie de esfuerzos repetidos y se define como el esfuerzo que un material puede resistir sin romperse; por muchas veces que se repita dicho esfuerzo.

La resistencia al impacto e la propiedad contraria a la fragilidad, es decir; es la propiedad por la que los cuerpos se oponen a la ruptura por choque o percusión, se puede decir que es la capacidad de absorber energía en el intervalo elástico de esfuerzos.

La carga máxima que puede resistir un material sin que llegue a romperse, aunque algunas veces éste se deforma produciéndose una estricción o estrangulamiento se conoce como resistencia a la ruptura.

La tenacidad es la capacidad de absorber energía en el intervalo inelástico de esfuerzo y es sinónimo de carga de ruptura a la tensión, siendo lo opuesto a la fragilidad y es cuando estos tienen una zona plástica muy grande.

Con objeto de comprender las variaciones en las propiedades mecánicas de los diversos aceros estructurales disponibles en la actualidad, se le puede agrupar por tipos y resistencias y para facilitar su estudio, se mencionan a continuación:

- ▶ a) Aceros estructurales al carbón. Estos aceros dependen de la cantidad de carbono usado para desarrollar su resistencia a través de un amplio rango de espesores. El primer tipo dentro de esa categoría, el A-7; fue por muchos años el principal acero empleado para la construcción de puentes y edificios, aunque se desarrolló principalmente para usarse en construcciones remachadas y atornilladas; también se le usó en edificios empleando soldadura, en lo que las cargas podrían considerarse estáticas.

Los diseñadores de puentes prefirieron un acero más estrictamente controlado en cuanto al contenido de carbono y la industria metalúrgica desarrolló un tipo de acero designado A-373 con la característica de una mejor soldabilidad.

En 1960 la industria del acero anunció un acero al carbono mejorado el cual tiene la designación A.S.T.M. A-36, con un punto de fluencia un poco más elevado y un contenido de carbono adecuado para propósitos de soldadura. Desde el advenimiento de este tipo de acero, los aceros A-7 y A-373 fueron cancelados por la A.S.T.M. y por tanto ya no se especifican en el diseño de estructuras.

- ▶ b) Aceros de alta resistencia y baja aleación. Este tipo de aceros incluye varios niveles de resistencia y también aceros cuya composición química varía para adaptarse a los diferentes requisitos de construcción. La resistencia deseada se obtiene por medio de elementos de aleación según el caso; puede existir una necesidad específica de un acero para construcción remachada, atornillada o soldada. Y para mayor resistencia a la corrosión la cual tenga al mismo tiempo características de soldabilidad adecuadas. El punto de fluencia de estos aceros varía de acuerdo con los diferentes espesores del material como se ve en la siguiente tabla.

Tipo A.S.T.M	Espesor en pulgadas	Punto de Fluencia mín. kg/cm ²	Resistencia a la tensión kg/cm ²
A242, 440 y 441	¾ y menores	3,515	4,920
	¾ a 1 1/2	3,235	4,710
	de 1 ½ a 4	2,955	4,430
A572-42	hasta 4	2,955	4,220
A572-45	hasta 1 1/2	3,165	4,220
A572-50	hasta 1 1/2	3,515	4,570
A572-55	hasta 1 1/2	3,865	4,920
A572-60	hasta 1	4,220	5,275
A572-65	hasta 1 1/2	4,570	5.625

- ▶ c) Aceros al carbono tratados y templados. Se ha introducido un nuevo tipo de acero estructural desarrollado para cubrir los requisitos de resistencia comprendida entre los 3,515 y los 7,030 kg/cm². Algunos de estos aceros son propiedad de empresas fundidoras y hasta la fecha no se le han asignado una clasificación en la A.S.T.M.; se puede obtener de condición normalizada, templados y tratados por lo que su resistencia depende de la cantidad de carbono a través de un proceso de templado y tratamiento térmico. Su resistencia mínima de fluencia medida por efecto de su alargamiento bajo carga es de 5,625 kg/cm² y su resistencia mínima a la tensión es de 7,030 kg/cm² para placas de espesores de hasta 3/4".
- ▶ d) Aceros de aleación tratados y templados. Estos aceros requieren además del carbono de varios elementos de aleación y de tratamientos térmicos para la obtención de sus elevadas resistencias de fluencia y de tensión. De manera similar a los aceros de alta resistencia y baja aleación, estos aceros tienen diferentes niveles de resistencia para distintos espesores. Los aceros de aleación templados y tratados son soldables y tienen una resistencia a la corrosión atmosférica equivalente al doble de la del acero estructural al carbón. Estos aceros se pueden conseguir comercialmente en placas, perfiles y barras; ver la siguiente tabla.

Tipo A.S.T.M	Espesor en pulgadas	Punto de Fluencia mín. kg/cm ²	Resistencia a la tensión kg/cm ²
A-514	¾ y menores	7,030	8,085 - 9,490
A-514	de ¾ a 2 1/2	7,030	8,085 - 9,490
A-514	de 2 ½ a 4	6,330	7,385 - 9,940

Existen literalmente miles de aceros diferentes que se producen todos los días para servir a diversas necesidades especiales de la industria manufacturera y de la construcción. Se han desarrollado algunos tipos de aceros para aplicaciones específicas tales como el Hy para casos de submarinos, proyectiles, equipo espacial y aplicaciones ferroviarias, estos aceros son para propósitos específicos por lo que el diseñador debe estar consiente de su existencia.

- ▶ e) Aceros de calibre delgado. La adopción de especificaciones A.I.S.I. para el diseño de miembros estructurales de lámina delgada formada en frío, introdujo otro tipo de aceros en el diseño de estructuras. Estos aceros se presentan en láminas y tiras de calidad estructural los cuales son definidos en general por las especificaciones de A.S.T.M. el uso de aceros de calibres delgados en miembros rolados en frío depende de la ductilidad del acero expresada por su elongación mínima. Como resultado de la operación de rolado en frío las propiedades mecánicas del producto terminado pueden ser substancialmente diferentes de la lámina original; el proceso de rolado en frío aumenta la resistencia de fluencia y de tensión pero disminuye la ductilidad. Dadas las diferentes composiciones de formado en las esquinas, las propiedades no son uniformes en toda la sección, por ejemplo en una sección en canal.
- ▶ f) Alambres y cables. Los alambres y los cables están siendo usados para aplicaciones estructurales en edificios, soportes de piso y techos suspendidos. Los cables se definen como miembros flexibles a tensión, consistentes de uno o más grupos de alambre, torones o cuerdas. Un torón es un arreglo de alambres colocados helicoidalmente al rededor de un núcleo formado a su vez, ya sea por un torón o por otro cable de alambres o en su defecto por un cable de fibra. Estos cables de alambre con núcleo de fibra se emplean casi para propósitos de izaje, los torones y cables son los que se utilizan para aplicaciones estructurales.

Un alambre se define como una extensión simple y continua de metal obtenida por estirado en frío o a partir de varillas de acero de alto contenido de carbono laminadas en caliente y cuya composición química es estrictamente controlada. Los alambres se recubren con zinc, ya sea mediante procesos de inmersión en caliente o electrolítica.

Aunque pueden usarse varios tipos de acero, el más común para aplicaciones estructurales es el alambre galvanizado para puentes; el cual se usa también para hacer tirantes y cables para puentes.

- ▶ g) Acero para tornillos. Existen cuatro tipos de acero para tornillos que se usan con propósitos estructurales designados por la A.S.T.M.:

- A-325. Para tornillos de alta resistencia empleados para juntas estructurales.
- A-354. Para tornillos y vástagos con tuercas adecuadas de acero de aleación templado y tratado. En este tipo de tornillos existen los grados b y c.
- A-307. Empleado para sujetadores de acero al bajo carbono roscados interna y externamente.
- A-490. Se utiliza en tornillos de acero de aleación templado y tratado para juntas estructurales.

Las especificaciones anteriores incluyen los requisitos de tensión para tornillos de diámetros comprendidos entre 1/2" y 1 1/2" así como también las tuercas y rondanas que deben usarse para cada tornillo. Las propiedades de resistencia de estos son iguales o mayores que las del tipo de acero estructural para el cual se recomiendan.

2.3 Diseño de estructuras de acero

El acero es un material dúctil por naturaleza, que tiene, además un comportamiento muy estable bajo inversiones de carga, trabaja igual a tensión que a compresión, y tiene una relación resistencia/peso favorable; es, por todo ello, adecuado para construcciones sismo-resistentes. Sin embargo, la ductilidad del material no garantiza la de la estructura, que puede perderse por prácticas inadecuadas de diseño o construcción; las recomendaciones para diseño de estructuras de acero en zonas sísmicas están encaminadas, principalmente, a conservar en la estructura la ductilidad propia del material.

La ductilidad de un miembro estructural esta relacionada con el tipo de deformación que experimenta bajo carga. Los elementos que trabajan en flexión o en tensión pueden desarrollar ductilidades mucho mayores que los sometidos a compresión, de manera que los marcos rígidos, que usan la resistencia a la flexión para soportar las cargas laterales, y en los que puede haber plastificación completa de miembros y conexiones, tienen una gran capacidad de disipación de energía, y son muy apropiados para construcciones en zonas sísmicas, sin embargo, son sistemas flexibles, antieconómicos en edificaciones de cierta altura. La rigidez de los miembros en tensión o compresión es mucho mayor por lo que se emplean en marcos contraventados, pero su uso implica reducciones importantes de ductilidad.

En el diseño en zonas sísmicas se busca, entre otras cosas, encontrar sistemas estructurales de rigidez lateral adecuada que tengan, al mismo tiempo, ductilidad suficiente.

La pérdida de ductilidad de las estructuras de acero suele estar asociada con algún tipo de inestabilidad local, de miembro o de conjunto, o con alguna forma de fractura frágil, casi siempre en las conexiones; deben evitarse fallas prematuras de estos tipos, pues harían que la estructura no pudiese desarrollar la ductilidad asociada con el valor escogido de las fuerzas sísmicas de diseño.

Dentro de los fenómenos de inestabilidad debe incluirse el pandeo local de los elementos planos que forman los perfiles estructurales, el pandeo por flexión de columnas largas y de contravientos, el pandeo lateral por flexotorsión de vigas, la inestabilidad de elementos flexocomprimidos, y el efecto P Δ en marcos esbeltos con carga vertical importante. Las fracturas frágiles pueden deberse a fallas en tensión en las áreas netas de conexiones atornilladas o remachadas, fractura de soldaduras en zonas de concentración de esfuerzos, desgarramiento laminar en placas que no admiten las deformaciones a través del grueso ocasionadas por contracciones del metal de soldadura; fractura de placas debida a deformaciones grandes, producidas por pandeo local o por flexión, y fatiga con pocos ciclos de carga y deformaciones importantes. Si el diseñador controla todos estos problemas, la estructura resultante tendrá una ductilidad y capacidad de energía suficientes.

Puede obtenerse una seguridad adecuada contra el colapso, dando a la estructura una resistencia suficiente para que su respuesta sea básicamente elástica, haciéndola muy dúctil, o combinando la manera económica las dos propiedades; este es el camino que se sigue en los reglamentos modernos de diseño sísmico.

Para obtener un comportamiento dúctil se identifican los modos de falla posibles, se determinan los que se caracterizan por una respuesta dúctil, y se escoge un conjunto de factores de seguridad que reduzca a un valor suficientemente bajo la posibilidad de que se alcance primero algún estado límite asociado con una forma de falla frágil.

Las pequeñas regiones de las que depende la ductilidad global de la estructura se diseñan y detallan de manera muy cuidadosa para obtener las ductilidades locales necesarias.

En la última década, el diseño de estructuras ha tenido una notable evolución, donde ha influido factores como las modificaciones al reglamento para las construcciones del Distrito Federal (R.C.D.F.), esto a raíz de los sismos que tuvieron efecto en septiembre de 1985, en el reglamento de 1993,

se especifican coeficientes sísmicos de diseño mucho mayores que los de 1976, se reducen los factores de comportamiento sísmico y se imponen condiciones más severas para utilizar valores determinados de ese factor; además se reduce en 20% si no se satisfacen requisitos especificados de regularidad; en consecuencia, las acciones horizontales de diseño han crecido considerablemente y, aunque no han cambiado los límites admisibles de los desplazamientos laterales de entrepiso, se han vuelto mucho más restrictivos, pues deben satisfacerse para fuerzas horizontales más intensas. Esto influye en las separaciones que han de dejarse entre construcciones adyacentes, para evitar que se golpeen durante sismos intensos.

Las recomendaciones del capítulo 11 de las normas técnicas complementarias del reglamento del D.F. (N.T.C.) están encaminadas a obtener estructuras cuya respuesta ante sismos sea dúctil, y que no sufra deterioro significativo aunque el temblor sea de larga duración, de manera que los daños localizados que experimenten puedan repararse después del evento; al mismo tiempo se procura que tengan una sobre resistencia del orden de la supuesta implícitamente al escoger las sollicitaciones de diseño. Se buscan márgenes de seguridad más elevados contra las fallas frágiles que contra las dúctiles, y el diseño se hace de manera que las articulaciones plásticas asociadas con el mecanismo eventual de colapso se formen, predominantemente, en las vigas.

En los últimos 10 años ha aumentado enormemente la capacidad de las computadoras personales, al mismo tiempo su precio ha disminuido de manera significativa; además, se han multiplicado los programas comerciales de análisis y diseño, nacionales y extranjeros, elaborados para computadoras personales, de manera que hoy en día cualquier empresa de ingeniería estructural, por pequeña que sea, y aún los ingenieros individuales, tienen una capacidad de análisis y diseño mucho mayor.

La mayor parte de los programas son de carácter general, aunque algunos se han elaborado específicamente, para edificios urbanos, utilizando características propias de éstos para simplificarlos; principalmente, tienen en cuenta el efecto de los pisos, que actúan como diafragmas horizontales rígidos.

Con las computadoras el ingeniero puede analizar y diseñar cualquier estructura; sin embargo, al mismo tiempo que son cada vez más poderosos, los programas se vuelven más complicados, tanto para preparar la información con la que se les alimenta como para interpretar sus resultados. Esto, combinado con la complejidad de los proyectos arquitectónicos contemporáneos, ha creado una situación que no existía

antes, pues, al abandonar los métodos manuales, con los que se tiene un control de los parámetros más importantes del diseño, se corre el peligro de cometer graves errores, por ignorancia o por descuido.

Los programas comerciales para el análisis elástico lineal de marcos de tres dimensiones y de medios continuos se utilizan hoy en día de manera rutinaria; muchos de ellos incluyen la posibilidad de considerar efectos geométricos de segundo orden. Se cuenta también con programas comerciales que integran el análisis y el diseño, y aunque pueden obtenerse programas para realizar análisis inelásticos, en la práctica usual éstos se utilizan principalmente para investigaciones o estudios especiales.

Una buena educación en análisis y diseño estructural es un requisito indispensable para el uso de los poderosos y complicados programas de computación contemporáneos.

Aunque el método de diseño preferido por el reglamento de 1976 era ya el basado en estados límite, ha sido en los últimos 10 años en los que se ha extendido su uso, en la actualidad los métodos tradicionales, por esfuerzos permisibles, se utilizan cada vez menos. En esta evolución ha influido marcadamente las normas técnicas complementarias del reglamento del D.F., para diseño y construcción de estructuras metálicas, publicadas en 1987, y la aparición, en 1986 de la primera edición de las especificaciones del Instituto Americano de la Construcción en Acero (AISC) para diseño por factores de carga y resistencia en la mayoría de los casos, las estructuras de acero se diseñan con los mismos métodos que se han utilizado desde hace algún tiempo, para las de concreto: se hace un análisis elástico, y los miembros que componen la estructura se dimensionan para que su resistencia máxima iguale las acciones obtenidas en el multiplicadas por un factor de carga mayor que 1 y, a veces, redistribuidas de manera parcial y más o menos arbitraria para tener en cuenta, aproximadamente, el comportamiento que precede al colapso. Este procedimiento no es del todo racional, pues compara solicitaciones correspondientes a una respuesta elástica con resistencia basadas en el comportamiento, hasta la falla de los miembros de la estructura, sin considerar los muy importantes cambios en la distribución de acciones internas que se presentan al pasar de una etapa a otra.

En las columnas de edificios aparecen dos efectos geométricos de segundo orden, los efectos $P\delta$ y $P\Delta$, que provienen de la interacción de la fuerza vertical de compresión con los desplazamientos del eje de la columna deformada; al dejar de actuar a lo largo del eje, la fuerza ocasiona momentos que se suman con los producidos por la continuidad con las vigas. Los momentos $P\delta$ se deben a la deformación del eje entre los extremos de la columna, y los $P\Delta$ a los desplazamientos horizontales relativos de uno de sus extremos respecto al otro.

El efecto $P\Delta$ no era significativo en los edificios construidos hasta principios de la segunda mitad de éste siglo, pues poseían gran cantidad de muros divisorios que, aunque no se consideraban explícitamente en el diseño, proporcionaban gran rigidez lateral y reducían los desplazamientos; empezó a tenerse en cuenta al comenzar la década de los 60, pues, por requisitos arquitectónicos y de funcionamiento, desaparecieron casi por completo los muros divisorios, al menos en edificios para oficina, lo que hizo que su rigidez lateral dependiese, casi exclusivamente, de la estructura.

A partir de entonces, se complican las ecuaciones para diseño de columnas flexocomprimidas al incluir en ellas de manera aproximada, los efectos de segundo orden, que no se consideran en el análisis. Se definen dos tipos de marcos rígidos, con contraventeo y sin él, y se considera que en los primeros no hay efecto $P\Delta$. En las fórmulas se incluyen factores de amplificación y se usan longitudes efectivas, menores o mayores que la real, según que los marcos tengan o no contraventeo; los factores de longitud efectiva se determinan con monogramas que se aplican a las columnas aisladas sin tener en cuenta que una columna no puede desplazarse lateralmente si no lo hacen todas las del entrepiso.

Cuando los efectos de segundo orden se incluyen en el análisis, se obtienen directamente de los elementos mecánicos amplificados; los programas comerciales influyen en efecto $P\Delta$, pero no el $P\delta$, que sigue considerándose en las ecuaciones de diseño. Estas se simplifican y, además, ya no importa que el edificio este o no contraventeado, o tenga muros de rigidez, pues incluyéndolos en el análisis se obtienen los momentos amplificados, que tienen en cuenta el trabajo de conjunto de todo el sistema destinado a soportar las fuerzas laterales. El diseño puede hacerse con factores de longitud efectiva iguales a uno.

En diseño sísmico con fuerzas reducidas, por ductilidad, debe considerarse al calcular los efectos de segundo orden.

Los reglamentos proporcionan, además fórmulas aproximadas para calcular los factores de amplificación, que se utilizan en combinación con las acciones obtenidas con un análisis de primer orden; se distinguen los efectos de las cargas verticales, que en general no ocasionan efectos $P\Delta$, como los que producen el viento o sismo.

El efecto $P\delta$ se evalúa para cada columna individual; al obtener los factores de amplificación correspondientes al efecto $P\Delta$, se tiene en cuenta que es un fenómeno en el que intervienen todos los elementos verticales resistentes de cada entrepiso.

También ha mejorado el diseño de las estructuras en otros aspectos, al combinarse el diseño al límite con el empleo, de computadoras; las ecuaciones que proporcionan la resistencia de vigas que fallan por pandeo individual en el intervalo elástico contienen dos términos, que corresponden a la resistencia del perfil a la torsión y a la torsión por alabeo, lo que las hace relativamente complejas.

En las normas actuales se incluyen los dos efectos, pues la mayor complicación de las ecuaciones deja de ser un problema cuando se usan computadoras o aun calculadoras electrónicas de bolsillo, lo que lleva a resistencias mayores y economías que pueden ser importantes.

El diseño por estados límite se ha calibrado, para los casos mas comunes con los resultados que proporcionan los métodos tradicionales de diseño por esfuerzos permisibles; sin embargo, como se utilizan fórmulas mas precisas para evaluar las resistencias, y se divide el factor de seguridad en dos partes, correspondientes a las acciones y a las resistencias, se obtienen con él estructuras que tienen una seguridad más uniforme y son, en general, más económicas.

En el diseño por capacidad de estructuras resistentes a temblores, se escogen los elementos resistentes primarios, que se diseñan y detallan adecuadamente para que puedan disipar energía durante deformaciones inelásticas severas. A los elementos estructurales restantes se les proporciona la resistencia suficiente para que se conserven los medios de disipación de energía elegidos.

Para asegurar una respuesta inelástica satisfactoria durante un evento sísmico extremo, el diseñador debe depender de mecanismos disipadores de energía confiables, que formen parte de la estructura, que proporcionaran el amortiguamiento histerético necesario. Por consiguiente, una parte importante del esfuerzo de diseño debe destinarse a detallar adecuadamente las regiones de las articulaciones plásticas potenciales, en las que la demanda de ductilidad será máxima.

El análisis directo es el procedimiento más racional para tener en cuenta los efectos no lineales en el comportamiento de conjunto de los sistemas estructurales. El análisis inelástico de segundo orden, incluyendo los estados límite de vigas y columnas, era imposible hasta hace unos cuantos años. Como consecuencia, las especificaciones contemporáneas se basan en métodos elásticos de análisis y en ecuaciones semi empíricas para dimensionar los miembros, y tratan de tener en cuenta, las complejas interacciones de los efectos de plasticidad e inelasticidad al nivel de miembro y de sistema, incluyendo las interdependencias de las resistencias de unos y otros.

Cuando se aplican correctamente, éstos métodos producen estructuras seguras y económicas. Sin embargo, el desarrollo de las computadoras personales y de las estaciones de trabajo está haciendo posible el uso, en la práctica ingenieril, de los métodos directos de análisis inelástico de segundo orden, que consideran los efectos acoplados, de la plasticidad del material y la estabilidad de la estructura. Si el comportamiento asociado con el estado límite que se revisa con una ecuación de diseño particular se representa con precisión suficiente en el análisis, la revisión de esa ecuación, por separado, deja de ser necesaria.

Los métodos de análisis que tienen en cuenta adecuadamente los efectos asociados con los estados límite de los miembros, de manera que la revisión de su resistencia por medio de las ecuaciones incluidas en los códigos se hace innecesaria, se denominan métodos avanzados de análisis-diseño.

En la actualidad se trabaja intensamente en el desarrollo de estos métodos, basados en la respuesta elástica de las estructuras, bajo cargas de servicio, y en su comportamiento elastoplástico en la cercanía del colapso, seguramente sustituirán, en un futuro no lejano, a los métodos que se emplean ahora, aunque no serán aplicables siempre, pues algunas estructuras, por sus características geométricas, el material con el que están hechas, o el tipo de acciones que han de resistir, llegan a la falla sin salir del intervalo elástico.

La tendencia actual es usar aceros de resistencia más alta que los que se utilizaban en el pasado; el acero estructural básico, al A 36, con límite de fluencia de 2530 kg/cm² (36ksi), está siendo sustituido por aceros grado 50, con $f_y = 3515$ kg/cm² (50ksi), y en ocasiones se emplean resistencias todavía mayores.

En el diseño sísmico debe cuidarse que la resistencia real del acero no sea mayor que la supuesta, puesto, que es ventajosa para cargas estáticas, puede no serlo si cambian las secciones donde se formaran las articulaciones plásticas correspondientes al mecanismo que se tomó como base para el diseño o crecen, por ejemplo, los momentos que transmiten las vigas a las columnas. Además, los aumentos de resistencia están acompañados, con frecuencia, por pérdidas de ductilidad.

Para que las resistencias más elevadas contribuyan a estructuras más económicas, han de combinarse con sistemas estructurales adecuados, pues de nada servirán si el diseño queda regido por el control de deformaciones.

Los sistemas de piso formados por vigas de acero que trabajan en construcción compuesta con la losa de concreto que se apoyan en ellas se han usado desde hace varias décadas; sin embargo, el empleo de columnas y de estructuras completas en las que se utiliza el trabajo combinado de los dos materiales es mucho más reciente. En las normas de 1976 no se proporcionaba ningún método para diseñar columnas compuestas, mientras que en 1987 sí aparecen fórmulas para ello.

El uso de sistemas compuestos tiene como principio básico la combinación de dos materiales de características muy diferentes, de manera que se utilicen las ventajas de ambos: la masa, rigidez y economía del concreto reforzado, y la velocidad de construcción, resistencia y posibilidad de salvar grandes claros, con poco peso del acero.

El concreto se utiliza ventajosamente, para soportar las grandes cargas verticales de columnas y muros de cortante, con un costo mucho menor que se obtendría con acero, y el sistema de piso de losacero transmite las cargas a los elementos resistentes y verticales de manera económica al mismo tiempo que por su ligereza disminuyen las solicitaciones, especialmente las sísmicas y se obtienen cimentaciones menos costosas. Además, las estructuras compuestas se montan rápidamente pues durante el proceso pueden realizarse varias actividades simultáneas.

La construcción compuesta es conveniente en zonas sísmicas, pues combina la rigidez más elevada y el mayor amortiguamiento de los elementos estructurales de concreto con la ductilidad del acero.

En la construcción compuesta más común se utiliza una estructura de acero ligera, diseñada para que soporte solo su propio peso, las cargas verticales de construcción y los efectos sísmicos correspondientes, hasta que se colocan las barras de refuerzo y los recubrimientos de concreto, con lo que se obtiene la estructura definitiva. Este sistema permite una secuencia de montaje que disminuye apreciablemente los tiempos de construcción, pues al mismo tiempo que se monta la estructura, se coloca la lámina de acero en pisos inferiores, mientras que más abajo, se ponen los conectores de cortante, se cuelan las losas y se colocan los moldes de las columnas y más abajo todavía, se cuele el concreto de éstas.

El primer paso en el diseño de un edificio que se construirá en una zona sísmica debe ser la planeación cuidadosa del sistema estructural que resistirá las acciones producidas por los temblores. Ha de cuidarse su configuración en planta y elevación, y la distribución de masas y rigideces a lo alto del edificio.

Algunas de las reglas mas importantes son:

- Son deseables configuraciones sencillas en planta, como círculos o rectángulos no muy alargados, para evitar concentraciones de fuerzas en zonas localizadas, y lograr un trabajo de conjunto adecuado de la estructura.
- Los centros de rigidez de los diversos niveles deben estar cerca de los centros de masa, para minimizar las deformaciones y esfuerzos producidos por la torsión.
- Se recomienda que el diseño se haga con columnas mas resistentes que las vigas adyacentes, pues la capacidad de deformación inelástica es mayor en las vigas, que tienen fuerzas axiales mínimas y además, la falla de una columna es mas crítica que la de una viga.

Desde el punto de vista de condiciones como las que se acaban de mencionar, las estructuras actuales presentan, con frecuencia, problemas que no había antes de 1985, pues la arquitectura de entonces se basaba entonces, principalmente, en formas prismáticas, mientras que los edificios actuales suelen ser muy irregulares, tanto en planta como en elevación.

Sin embargo, la tendencia arquitectónica actual, en edificios altos o de altura media, es hacia la obtención de formas libres, que satisfagan la doble función de crear un exterior llamativo y proporcionar espacios interiores y regulares, atractivos para los ocupantes del inmueble. El ingeniero estructural no juega ya un papel predominante en la determinación de la forma del edificio; el arquitecto se siente libre de restricciones estructurales de todo tipo, y el ingeniero tiene que buscar donde colocar los elementos que resisten las cargas gravitacionales y las acciones sísmicas, sin interferir en la forma y funcionamiento del edificio, y sin preocuparse demasiado de los que hay encima o debajo de ellos, y como interconectarlos, para obtener la continuidad necesaria a lo alto de la construcción; se obtienen así soluciones híbridas, no siempre convenientes desde el punto de vista del diseño sísmico, que solo pueden analizarse gracias al enorme poder de las computadoras electrónicas. Las estructuras se han convertido, con frecuencia, en un conjunto de piezas o partes de sistemas conocidos, que se combinan entre sí para crear un sistema estructural compatible con la peculiaridad de una forma preestablecida.

El sistema que resiste la fuerzas horizontales producidas por viento o sismo, está compuesto por una combinación de vigas, columnas, contraventeos en diagonal y muros de rigidez. Debe diseñarse para que soporte la mayor

cantidad posible de carga vertical, de manera que se eviten, o se reduzcan a un mínimo, las tensiones transmitidas a la cimentación durante un sismo, y para que proporcionen soporte lateral a subsistemas diseñados solo para carga vertical.

En edificios de cierta altura el diseño suele quedar regido por la necesidad de proporcionar rigidez lateral suficiente para mantener los desplazamientos relativos de entrepiso dentro de límites aceptables, no por la capacidad del sistema para resistir las fuerzas cortantes horizontales y los momentos de volteo. Esto ha hecho que en las últimas tres décadas se hayan desarrollado diversos sistemas estructurales, buscando satisfacer la demanda de rigidez lateral de una manera económica.

Los marcos rígidos constituyen una solución adecuada en edificios de poca o mediana altura que se van a construir en zonas sísmicas porque, además de proporcionar la resistencia necesaria ante cargas verticales y horizontales de una manera económica, permiten obtener estructuras de ductilidad elevada, capaces de incursionar en el intervalo inelástico bajo sollicitaciones sísmicas intensas, disipando una parte de la energía que les transmite el terreno sin sufrir daños, o experimentando desperfectos locales, de pequeña cuantía y fácil reparación.

Una estructura bien diseñada, detallada y construida tiene un comportamiento dúctil estable bajo cargas cíclicas fuera del intervalo elástico y la mayor parte de los códigos de construcción los consideran sistemas estructurales preferenciales, para los que especifican cargas laterales menores que para otros sistemas.

Es una práctica aceptada generalmente que el dimensionamiento de los miembros que componen los marcos rígidos se haga de manera que las articulaciones plásticas se formen en las vigas antes que en las columnas, con lo que se logra que las deformaciones plásticas más importantes se concentren en zonas que pueden aceptarlas con poca o ninguna pérdida de resistencia. Esta es la filosofía de diseño conocida como columnas resistentes-vigas débiles.

La ductilidad se convierte en la principal desventaja de los marcos rígidos cuando se pretende utilizarlos en edificios altos carentes de elementos estructurales adicionales que contribuyan a la resistencia y rigidez lateral del conjunto, pues se hace necesario aumentar las dimensiones de vigas y columnas, muy por encima de las requeridas para soportar las cargas verticales, primero para obtener la resistencia necesaria ante cargas horizontales y después, cuando crece el número de pisos, para controlar los desplazamientos laterales y mantenerlos dentro de los límites adecuados.

En esos casos conviene utilizar elementos estructurales adicionales, muros de rigidez o contraventeos, que resistan las fuerzas horizontales más eficiente y económicamente.

Las solicitaciones sísmicas de diseño del RCDF93 obligan a emplear esos elementos auxiliares en la mayor parte de las construcciones de mas de tres o cuatro niveles.

Bajo cargas horizontales, las armaduras verticales formadas por vigas, columnas y diagonales trabajan como elementos en cantiliver; los momentos de volteo son equilibrados por fuerzas normales, de tensión y compresión, que aparecen en las columnas, y las fuerzas cortantes son resistidas por las diagonales.

Las armaduras de cortante pueden, por si solas, proporcionar toda la resistencia y rigidez requeridas en edificios de altura media; se emplean con frecuencia para resistir los efectos del viento, pero en zonas sísmicas suelen combinarse con marcos rígidos, con lo que se obtiene un sistema de marcos y armaduras que interactúan entre sí. Cuando se combina la deformación por cortante de los marcos con la de las armaduras, en flexión, se obtiene un sistema de gran rigidez lateral, mucho mayor que la suma de las rigideces de unos y otros.

Las armaduras verticales se colocan alrededor del núcleo de servicios que incluye elevadores, escaleras, sanitarios, ductos y cuartos para equipo mecánico, eléctrico y de teléfonos, y en los muros de lindero del edificio.

La capacidad de los marcos contraventeados para resistir deformaciones inelásticas reversibles está severamente limitada. El alargamiento y el acortamiento axial de miembros esbeltos no son reversibles, y el de elementos comprimidos mas robustos es posible solo hasta que se presenta un pandeo significativo; se ha encontrado, de manera experimental, que la resistencia de miembros bajo carga axial disminuye rápidamente cuando se le somete a cargas cíclicas después de que se inicia el pandeo; además, no recupera su forma recta original.

Por las razones anteriores, los cotraventeos solo se permiten cuando están acompañados por marcos rígidos que pueden soportar una parte sustancial de la fuerza sísmica total. En esas condiciones, el RCDF93 permite que se diseñen con un factor de comportamiento sísmico igual al de marcos rígidos sin contraventeo.

El comportamiento durante temblores, de los marcos contraventeados, es aceptable mientras conserva una configuración estable; en general, su respuesta en el intervalo elástico es excelente, pero puede no serlo fuera de él; las recomendaciones para el diseño buscan evitar fallas frágiles y elevar el nivel de respuestas estable.

Los marcos contraventeados excéntricamente son estructuras dúctiles en las que las deformaciones inelásticas se confinan a regiones en las que no afectan de manera adversa la resistencia y estabilidad de conjunto de la estructura. Las fuerzas axiales que aparecen en las diagonales, como un resultado de las fuerzas sísmicas, se transmiten a las columnas o a otras diagonales a través de un tramo corto de viga, llamado eslabón activo, que trabaja en flexión y cortante. Escogiendo adecuadamente su geometría puede lograrse que un marco contraventeado excéntricamente tenga una rigidez elástica muy cercana a la de los marcos similares provistos de contraventeos concéntricos y que, por otro lado, los eslabones activos se deformen inelásticamente durante temblores severos, absorbiendo y disipando energía de una manera análoga a la de los marcos rígidos no contraventeados. Se obtiene así un sistema estructural que posee características favorables de los dos sistemas, y que puede satisfacer, en forma eficiente, los dos requisitos de rigidez y ductilidad característicos del diseño sísmico.

La capacidad de los eslabones activos de disipar grandes cantidades de energía durante sobrecargas extremas es de importancia crítica para la ductilidad de conjunto del sistema estructural.

La elección de las excentricidades constituye uno de los pasos más importantes en el diseño de marcos contraventeados excéntricamente, pues de sus valores depende tanto la rigidez del marco como la demanda de ductilidad de los eslabones activos.

Los contraventeos, las columnas y las vigas, éstas últimas en las zonas que no forman parte de los eslabones activos, se diseñan para que permanezcan en el intervalo elástico, y no se pandeen; prácticamente toda la actividad inelástica se concentra en zonas escogidas, diseñadas y detalladas especialmente. El resto de la estructura se dimensiona para que resista, trabajando elásticamente, las sollicitaciones que aparecen en ella mientras los eslabones activos fluyen plásticamente, las que se determinan estudiando el mecanismo de colapso del marco; posteriormente se revisa su comportamiento bajo cargas de trabajo, utilizando métodos elásticos.

Son muchos los parámetros de diseño que, en la práctica, afectan el comportamiento de los sistemas que resisten las fuerzas laterales en los edificios y determinan su elección; algunos de los más importantes son:

- Deflexiones laterales de entrepiso;
- Aceleraciones;
- Efectos de segundo orden;
- Fuerzas netas hacia arriba;
- Hiperestaticidad del sistema;
- Frecuencias de vibración y,
- Continuidad de los diafragmas de los pisos.

Los desplazamientos laterales, producidos por viento o sismo, son importantes desde tres puntos de vista diferentes: estabilidad estructural, integridad arquitectónica y posibles daños a elementos no estructurales, y confort de los ocupantes durante y después del evento. El último aspecto es importante en el diseño por viento, pero deja de serlo en diseño sísmico, donde el objetivo principal es reducir los daños y evitar la pérdida de vidas. En estructuras esenciales, que deben seguir operando durante y después de temblores, se hace un diseño más conservador que en las ordinarias, limitando las deformaciones inelásticas, o se utilizan técnicas especiales como los disipadores de energía o el aislamiento sísmico. Sin embargo, aún en estos casos el objetivo principal sigue siendo conservar el sistema operando y evitar los daños durante los terremotos intensos, más que la comodidad de los ocupantes.

El efecto $P\Delta$ puede ocasionar la falla por inestabilidad lateral en edificios altos y esbeltos; el problema se evita proporcionando la rigidez lateral necesaria para mantener los desplazamientos por debajo de los límites cuantificados. Si aún así, los elementos aumentan en más de un 15 o 20 % por efecto P , conviene aumentar la rigidez lateral del edificio.

Un parámetro de gran importancia para determinar los límites de utilidad de un sistema estructural es la aparición de fuerzas netas hacia arriba en la cimentación, o de tensiones en las columnas. Las deformaciones de entrepiso pueden reducirse a límites colocando contraventeos verticales en unas cuantas crujías, pero al hacerlo es posible que la resistencia a las fuerzas horizontales se concentren en tan pocos elementos que los momentos de volteo produzcan tensiones netas en la base de la estructura como las cimentaciones suelen tener una baja capacidad para resistir fuerzas hacia arriba, esto puede limitar el uso de un sistema determinado de rigidización. En edificios muy esbeltos, es con frecuencia necesario transferir cargas gravitacionales de las columnas interiores a las perimetrales, para eliminar las fuerzas hacia arriba.

La primera frecuencia traslacional en cada dirección, y la frecuencia torsional, tienen un impacto importante en el comportamiento de edificios de

varios niveles. Es preferible que los períodos correspondientes estén separados, uno de otro, por lo menos en 15%, y que el torsional sea el tercero; se evita así el acoplamiento dinámico de modos y el indeseable comportamiento asociado con él.

Una suposición básica en el análisis y diseño sísmico de edificios altos es que los sistemas de piso, actuando como diafragmas rígidos, transfieren las fuerzas horizontales a los elementos resistentes y las distribuyen entre ellos en proporción a sus rigideces laterales. Los esfuerzos en los diafragmas de edificios normalmente son pequeños, y pueden ser resistidos, sin problemas, por el sistema de piso. Sin embargo, deben revisarse las zonas en que hay cambios bruscos de rigidez lateral, y cuando las cortantes horizontales se transfieren de un elemento a otro que no se encuentra en el mismo plano vertical. Los esfuerzos en los diafragmas pueden ser también críticos cuando hay e ellos aberturas de dimensiones considerables.

El comportamiento dúctil y la absorción inelástica de energía pueden presentarse en tres elementos de las uniones de los marcos rígidos: los extremos de las vigas y columnas, en los que pueden formarse articulaciones plásticas por flexión, y la zona común a vigas y columnas, que pueden fluir por cortante. Dentro de ciertos límites, se permite el comportamiento inelástico de cualquiera de esos elementos o de una combinación de dos o mas de ellos. La elección final queda en manos del ingeniero estructural. Los problemas que han de resolverse en el diseño, dependen, en buena parte, de cual de las tres áreas se escoge para que tenga el umbral de inelasticidad mas bajo.

La preocupación principal al diseñar un marco que debe ser capaz de responder inelásticamente es evitar fracturas frágiles y pandeo severo en las zonas inelásticas.

Aunque puede permitirse el flujo plástico en las columnas, la mayoría de los ingenieros considera que es el menos deseable; cuando se diseña para que se presente, se limita la fuerza axial en la columna y se toman medidas especiales para contraventearla. Cuando el comportamiento inelástico se inicia por flujo plástico por cortante en la punta, su flexibilidad contribuye significativamente a los desplazamientos totales de entrepiso, por lo que debe considerarse en el diseño. Si se escoge evitar el comportamiento inelástico en las dos zonas anteriores, las articulaciones plásticas se formaran en los extremos de las vigas y los aspectos críticos del diseño son la conexión viga columna y la estabilidad de la viga.

Los requisitos que deben satisfacerse en el diseño de las uniones tiene por objeto asegurar que las deformaciones plásticas que puedan presentarse en ellas durante la respuesta a sismos severos no tendrán lugar en los elementos de conexión, sino en alguna de las zonas adyacentes, la viga o la

junta. El diseño no se hace para las fuerzas obtenidas en el análisis, sino para las resistencias nominales de los miembros que se emplean realmente en la estructura, evitando así que las uniones fallen antes de que se presenten las deformaciones inelásticas necesarias; esto es cierto aún cuando los miembros estén sobrediseñados por resistencia, por ejemplo, cuando se aumentan sus dimensiones para reducir los desplazamientos de entrepiso.

Existen cinco problemas de los cuales más frecuentemente se hace referencia como las causas posibles del pobre comportamiento de las conexiones, y dichos problemas son:

- Ejecución incorrecta de las soldaduras,
- grietas preexistentes en las soldaduras o en el metal base adyacente,
- esfuerzos residuales en las juntas, generados durante la construcción de la estructura, incluyendo la ejecución de las soldaduras,
- falla del patín de la columna, ocasionada por tensiones en la dirección del grueso y,
- problemas básicos de consideración de las juntas.

2.4 Construcción con acero

Las estructuras de acero son muy rápidas en su construcción, ya que mientras en el lugar de la obra se construye la cimentación al mismo tiempo en el taller se fabrica la estructura, quedando pendiente únicamente el montaje. Se puede decir que es de gran eficiencia constructiva ya que se basa en procesos simples y modernos utilizando técnicas industriales que no requieren de equipos sofisticados, lo que las hace más eficientes.

Como se menciona en los subcapítulos anteriores, el acero tiene alta resistencia, tiene un módulo de elasticidad muy alto, de manera que las deformaciones bajo carga son muy pequeñas, y el módulo es el mismo en tensión y en compresión, los aceros estructurales también tienen alta ductilidad, y para esfuerzos relativamente grandes, tiene una relación esfuerzo deformación unitaria en forma lineal o aproximadamente lineal. Por tanto, su comportamiento bajo cargas de trabajo puede predecirse con exactitud mediante la teoría elástica. Todavía más, los aceros estructurales se fabrican en condiciones sujetas a control, de manera que la calidad uniformemente alta queda asegurada a los compradores.

Las estructuras metálicas las podemos clasificar como sigue:

- Ligeras o pesadas, por su longitud o volumen,
- Por su ubicación, en climas extremos, en contacto permanente con el agua, en zonas salitrosas,
- Por su función o servicio, edificios, puentes, naves industriales, plataformas marinas, estructuras de ornato, ductos,
- Por los elementos que la integran, perfiles laminados, perfiles formados por placa, aceros especiales, y,
- Por su unión, atornilladas, soldadas.

Esta clasificación es en función de su fabricación, ya que dependiendo del tipo de estructura, requiere un cierto proceso para su elaboración, de lo que se deduce que se requiere de un tipo de equipamiento de taller y equipos especiales y también procesos de inspección de control de calidad.

Especificaciones generales de la construcción de estructuras de acero:

Estas especificaciones son enunciativas pero no limitativas, describen los requisitos mínimos, para la fabricación, inspección, transporte y montaje de estructuras metálicas en general, cualquier parte omitida por ellas para la ejecución correcta del trabajo, deberá ser cubierta por el contratista.

Estas especificaciones se complementan con las siguientes normas:

-Diseño y construcción de estructuras metálicas, normas técnicas complementarias del reglamento de construcciones del Distrito Federal.

-Manual de construcciones en acero del Instituto Mexicano de Construcción en acero.

-Especificaciones para el diseño, fabricación y montaje de acero estructural para edificios A.I.S.C.

-Código para seguridad estructural, A.W.S.

-Especificaciones para juntas estructurales usando pernos de alta resistencia, A.I.S.I.

Los materiales cuyo uso está cubierto por estas especificaciones son:

-Acero estructural A-36

-Tubería de acero soldada y sin costura tipo A-53 grado B.

-Pernos de alta resistencia incluyendo tuercas y rondanas endurecidas tipo A-35 y A-490.

-Pernos comunes, incluyendo tuercas y rondanas tipo A-307.

-Electrodos desnudos de acero dulce y fundente para soldadura de arco sumergido, designación A.W.S. A5.17.

Toda la fabricación se hará con base en dibujos de taller elaborados por el contratista, tomando en cuenta los planos estructurales que se le proporcionen. Los dibujos de taller serán responsabilidad total del contratista y deberán enviarse para revisión y aprobación, en caso necesario los dibujos en cuestión serán corregidos y enviados nuevamente para aprobación final.

Deberán incluirse en los dibujos de taller, como mínimo los siguientes conceptos:

- Sistema de ejes generales.
- Dimensiones generales de las piezas por fabricar tomando en cuenta su transporte y montaje.
- Dimensiones detalladas de cada pieza, mostrando cortes, taladros y preparaciones.
- Nomenclatura de cada pieza.
- Lista de materiales con el peso teórico de los elementos mostrados en los dibujos.
- Todas las acotaciones en milímetros.

La cantidad del material por usar, deberá cumplir con las especificaciones de control, debiendo efectuar las verificaciones que en dicho control se consigna, antes de usar dicho material.

Todo el material aprobado deberá estar limpio y recto conforme a la especificación mexicana NOM-B-38. Si el enderezado es necesario, debe hacerse de preferencia en frío por métodos que no perjudiquen el material.

Todos los cortes en taller se harán con máquina o con soplete guiado mecánicamente, debiendo quedar el corte libre de rebabas, podrán admitirse muescas o depresiones ocasionales no mayores de 5 mm; en caso de defectos mayores deberán esmerilarse los cortes realizados.

Las superficies que se vayan a soldar, deberán estar libres de costras, escorias, grasa, pintura o cualquier materia extraña que pudiera impedir una soldadura apropiada. Pueden dejarse las escamas de laminación que resistan un cepillado vigoroso con cepillo de alambre, excepto la zona de unión entre los patines y el alma de travesaños armados.

Los elementos que se unan con soldadura de filete, de preferencia estarán en contacto; si ello no es posible, su separación no excederá de 5 mm, si la separación es de 1.5 mm o mayor el tamaño de filete se aumentará en una cantidad igual a la separación.

Los miembros en compresión no podrán tener una desviación mayor de 1/1000 de la distancia entre los puntos que quedan lateralmente soportados.

La variación máxima con respecto a la longitud de proyecto será como sigue:

- Piezas con extremos cepillados 1 mm.
- Piezas no cepilladas con longitud menor de 10 m 1.6 mm.
- Piezas no cepilladas con longitud mayor de 10 m 3.2 mm.

La tolerancia para la construcción soldada y para la construcción atornillada se ajustaran a las especificaciones de las normas A.W.S. y A.I.S.C.

A menos que se especifique lo contrario en los planos de diseño, todas las superficies de las piezas que no estén en contacto con concreto, deberán recibir una pintura primaria; la calidad de pintura por usar; así como la aplicación y control estará de acuerdo con estas especificaciones.

Las superficies que no requieran pintura de taller deberán limpiarse de forma semejante a la que se utilice para las zonas que recibirán pintura.

Las superficies que sean inaccesibles después del montaje de las piezas, recibirán además del primario, la pintura de acabado antes de salir del taller.

Las superficies en que se especifique "acabado maquinado", deberán protegerse con pintura anticorrosiva que se pueda remover fácilmente antes del montaje.

Después de aplicada la pintura de taller, todas las piezas deberán estar debidamente marcadas de acuerdo con los planos de montaje, utilizando una pintura fácil de identificación.

Adicionalmente a los controles que realice el fabricante, se podrá verificar la calidad de los materiales y mano de obra en cualquier etapa de la fabricación, a través de inspectores calificados, toda la inspección se hará en la planta de fabricación ya que no podrá salir ninguna pieza de taller sin la autorización del inspector.

El fabricante proporcionará todas las facilidades, con el fin de que se pueda realizar la inspección antes mencionada. Las visitas al taller se programarán de común acuerdo entre el fabricante y el contratante, de tal manera que se ocasione las mínimas interrupciones en la fabricación.

Durante el trabajo, el contratante podrá aceptar o rechazar el material o la mano de obra que no cumpla con estas especificaciones.

La inspección de la soldadura se realizará de acuerdo con la sección 6 del código de soldadura estructural A.W.S. designación D1.1.

La inspección de la construcción atornillada se efectuará de acuerdo con la sección 6 de las especificaciones para juntas estructurales usando pernos de alta resistencia del consejo de investigación de conexiones estructurales del A.I.S.C.

El fabricante entregará todas las piezas en el lugar de la obra, deberá proporcionar todos los elementos que juzgue necesarios para evitar daños a la pieza durante su embarque, transportación y desembarque.

La erección de los diferentes miembros estructurales se hará con base en planos de montaje elaborados por el contratista, en dichos planos se indicaran todos los elementos provisionales que se requieran para lograr un montaje adecuado, como puntales, calzas, contraventeos y tornillos, especificando su secuencia de colocación retiro.

Los planos de montaje deberán ser revisados y aprobados, antes de su uso, la aprobación mencionada no libera al contratista de su responsabilidad en cuanto a la exactitud y la veracidad de los datos contenidos en ellos.

El montaje de una estructura lo efectuará el contratista cumpliendo con los datos de montaje aprobados, así como con estas especificaciones.

A menos que se especifique lo contrario, la colocación de las anclas para los diferentes elementos estructurales será efectuada por el contratante, el contratista deberá acudir a verificar la posición de dichos elementos con anticipación al inicio del montaje.

Todos los elementos estructurales se montarán en la posición mostrada en planos, se considerará que se encuentran a plomo, a nivel y alineados, si la tangente del ángulo que forme la recta que une los extremos de una pieza con el eje del proyecto no exceda de 1/500.

Terminado el alineamiento y el plomeo, podrá fijarse en forma definitiva las conexiones y recibirse las placas de apoyo de la estructura, esta operación podrá efectuarse en etapas, las que deberán ser aprobadas previamente.

La colocación, inspección y verificación de tolerancia de los tornillos se hará cumpliendo con las especificaciones para juntas estructurales usando pernos de alta resistencia elaborados por el consejo de investigación de conexiones estructurales del A.I.S.C.

La tolerancia de coincidencia entre agujeros de una junta, deberán ser tal, que los tornillos puedan instalarse a mano sin usar ningún tipo de herramienta, excepto martillos ligeros de bola.

En el caso de que la instalación de un tornillo no pueda efectuarse en forzarlo, podrá permitirse un limado del agujero con lima 3.2 mm. mayor que el diámetro nominal del tornillo.

No se permitirá efectuar los agujeros de las juntas en obra.

Excepto indicación en contrato, únicamente se efectuará en obra la pintura de las zonas de las juntas, así como los resanes de la pintura de taller, que durante el transporte y montaje se haya deteriorado.

La fabricación y montaje de estructuras y herrajes de acero, se medirán en toneladas tomando como base los planos de taller y considerando como densidad del acero 7.8 toneladas por metro cúbico para el caso de fabricación y el peso real de la estructura cuando se trate de montaje.

En el cálculo del peso teórico para la fabricación de piezas, se deberá considerar la mínima dimensión rectangular si se trata de placas, y la longitud especificada en el caso de perfiles, sin descontar taladros, despatinamiento o recortes.

El peso teórico de tornillos, rondanas y tuercas se tomará de las tablas contenidas en el manual de construcción en acero del I.M.C.A.

En las zonas urbanas la utilización de sistemas constructivos con acero presentan características que brindan grandes beneficios, ya que: la fabricación de los elementos se puede realizar en talleres especializados, o cuando lo requiera se puede instalar el taller en campo con la mayoría de las ventajas de un fijo; la versatilidad con que se pueden manejar los elementos estructurales para obtener formas caprichosas, ya sean funcionales o de ornato, es algo que se puede aprovechar en los más diversos tipos de proyectos, de manera que proporciona una holgura mayor tanto al diseñador de espacios como al de estructuras.

En ciudades como el Distrito Federal el uso de estructuras de acero se esta volviendo una práctica común debido a los beneficios que de ella se obtienen, entre ellos podemos mencionar:

- Su alta resistencia a los movimientos sísmicos, aumentado por el tipo de suelo, lo que da una mayor seguridad.
- La rapidez de construcción con relación a las estructuras de concreto, por las condiciones de construcción que se han mencionado con anterioridad, donde influye la ligereza que se obtiene al verse reflejada en la cimentación. Aunado a las ventajas que se han mencionado tanto en el primer capítulo como en este segundo.

CAPITULO III FABRICACION DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES EN TALLER

Una de las etapas más significativas en el proceso constructivo de estructuras de acero, es sin duda alguna la de la fabricación de los elementos o piezas de la estructura dentro de un taller, donde se requiere de un estricto control de calidad, para evitar fallas o contratiempos tanto en el montaje como en la vida útil de la estructura.

Es importante señalar que en la construcción de estructuras de acero, la participación de propietarios, proyectistas, fabricantes, transportistas, montadores, constructores, en sí todos los que intervienen, deben estar perfectamente coordinados y programados para evitar al máximo errores y atrasos que con frecuencia suelen presentarse en proyectos estructurales; principalmente cuando se habla de la construcción de estructuras en zonas urbanas.

El fabricante debe contar con toda la información aprobada, para poder ordenar los materiales y elaborar los planos de taller y de montaje.

Cuando se preparen los dibujos de taller, deben someterse a revisión y aprobación por parte del propietario o la firma de ingeniería de diseño y cuando sean aprobados para su fabricación, se procede a llevar a cabo todos los procesos necesarios.

En la actualidad, existe una gran variedad de talleres fabricantes de estructuras de acero, por lo cual es muy importante tener conocimiento del tipo de estructura que se va a fabricar ya que esto influye directamente en sus procesos de fabricación, en su acabados, en la forma de su inspección de calidad, en su transporte y en su proceso de montaje.

Dependiendo del tipo de estructura, requiere un determinado proceso para su elaboración, y por consiguiente se requiere de un tipo de equipamiento de taller y equipos especiales con los que se debe de contar porque también se incide en los procesos de inspección de control de calidad.

3.1 Taller fabricante de estructuras metálicas

Existe una gran variedad de talleres fabricantes de estructuras metálicas, de los cuales de acuerdo con su estructuración administrativa y sus procesos de producción, tienen una gran diferencia en su volumen de producción. Se puede tomar como base para la diferenciación de talleres fabricantes de estructuras de acero su volumen de producción mensual, y se pueden clasificar como grandes, medianos y pequeños, de los cuales, los pequeños tienen una capacidad de hasta 200 toneladas por mes, los medianos, entre 200 y 500 toneladas mes y los talleres grandes son aquellos que tienen una capacidad de volumen de producción mayor de 500 toneladas por mes.

Organización general de un taller

El aspecto fundamental para el buen funcionamiento de un taller de estructuras de acero, consiste en su administración y organización, puntos de por si interesantes, debido a que son los ejes alrededor de los cuales gira la capacidad de producción. Seguido a la administración y organización, en orden de importancia, se encuentra la planeación de los departamentos con los que debe de contar un taller para que su funcionalidad sea adecuada para lo que se pretende. Es importante señalar, que todo está en función de tener una buena dirección y administración de los recursos económicos, materiales y humanos.

En relación de las actividades de cada departamento, se requiere de una perfecta coordinación en base a la política interna que se maneje, dándose en algunas ocasiones el caso de fusionar secciones diferentes en una sola, como el caso de gerencia de ventas, producción, compras, o algún otro en particular.

A continuación se mencionan los departamentos con los que debe de contar un taller fabricante de estructuras metálicas:

- 1.- Gerencia
- 2.- Ventas
- 3.- Ingeniería
- 4.- Relaciones Industriales
- 5.- Compras
- 6.- Contabilidad
- 7.- Asesoramiento laboral y legal
- 8.- Producción
 - recepción
 - habilitado
 - armado
 - soldadura
 - acabado
 - embarque
- 9.- Control de calidad
- 10.- Mantenimiento
- 11.- Control de producción.

En cuanto a la mano de obra y de acuerdo con el cumplimiento de las actividades descritas, un taller debe contar como mínimo con el personal mostrado en la figura 3.1

ORGANIZACION GENERAL DE UN TALLER

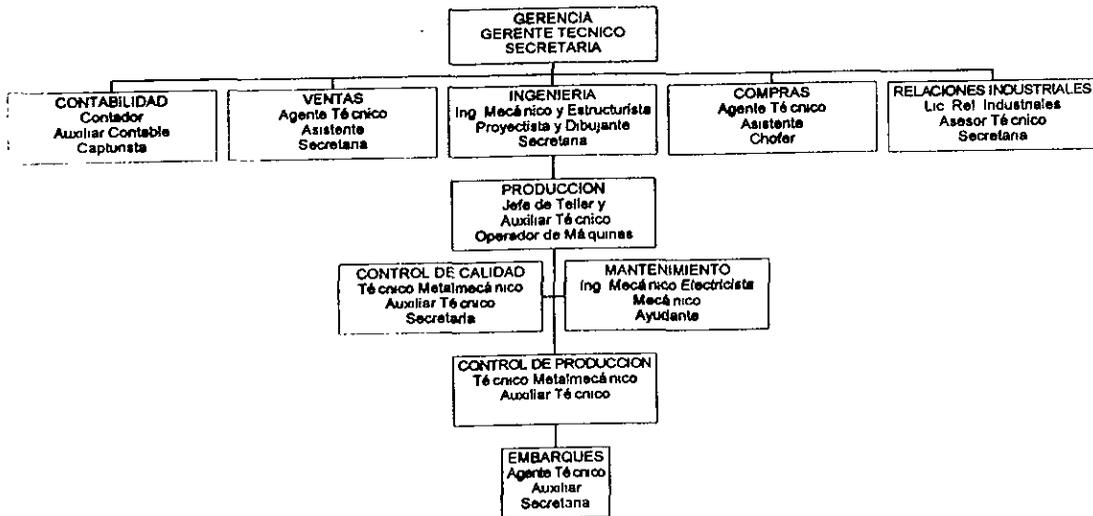


Figura 3.1 Propuesta de personal requerido en un taller fabricante de estructuras metálicas.

Como se puede observar, el recurso humano para cada departamento está en función de las actividades que llegarán a coordinar y a su campo de acción.

Dentro de un taller de estructuras metálicas, es muy importante conservar entre el personal administrativo y del área productiva una relación de uno a tres, por ejemplo: un contador le corresponden a tres oficiales de cualquier categoría, esto se puede tomar como base para definir la cantidad de personal que se debe de tener en cada departamento de la empresa que se trate.

La fabricación en un taller

Antes de iniciar la fabricación en un taller deberá de abrirse un expediente con un número de proyecto, para llevar el control de costos, cargándose todas las incidencias del costo desde horas ingeniería, materiales, mano de obra y gastos varios que origina dicho proyecto.

De tal manera que esto permita posteriormente contar con información estadística para estimaciones de diversos tipos de estructuras.

En base a las estadísticas se puede llevar una relación de costos, los cuales se generan en el área de producción y en todo lo que intervino para la realización de determinada estructura.

Lo anterior son bases que sirven para elaborar un costo preliminar de fabricación por una unidad de kilogramo, estos precios pueden ser diferentes, ya que dependen del tipo de acero a manejar y a los procesos que

va a estar sometido, lo que nos determina la mano de obra aplicable y consecuentemente la maquinaria que se utilizará en el trabajo requerido, las partes importantes del análisis de precios son:

- Materiales
- Mano de obra
- Maquinaria y/o herramienta

Existen otros cargos que se tienen que considerar, los cuales no intervienen directamente en el proceso de fabricación, pero para los precios de venta se debe de tomar en cuenta, y son los costos indirectos.

La experiencia práctica puede llevar a establecer mezclas de elementos que nos permitan considerar un criterio general, y determinar un precio global de fabricación que puede ser por kilogramo o por tonelada según como se quiera considerar la unidad y esto puede hacerse sin mucho riesgo. En la figura 3.2 se ilustra un análisis de precio unitario.

En algunas ocasiones se puede presentar en un determinado proyecto, que la unidad que se maneje en la elaboración de ciertas partes se considere en piezas, el análisis de su costo es de forma similar.

UNIDAD	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO TOTAL
MATERIALES				
M	73 18 25mm (10" x 5 3/4") x 38.5 R/M	1000000	4,400.00	4,400.00
M	219 GAS OXIGENO	15000000	30.00	450.00
M	110 GAS ACETILENO	7000000	65.00	455.00
M	100 SODIUMIA 6 7018 1/8 x 5/16	9000000	10,450.00	94,050.00
M	212 PINTURA PRIMER ANTICORROSIVO	2000000	37.00	74.00
SUBTOTAL				1,701.00
MANO DE OBRA				
M	1 OBREROS GENERALES	1040000	170.06	176.87
M	2 OFICIALS TORADOR Tra.	2000000	90.71	181.41
M	16 ALICEROS Tra.	2000000	57.16	114.31
M	17 ALICEROS Tra.	5000000	49.35	246.75
M	9 OFICIAL PRIMER Tra.	2800000	82.76	231.73
SUBTOTAL				708.19
MANTENIMIENTO				
M	16 MANEJO DE BARRAS 650 wpp	2000000	2.60	5.20
M	20 EMPUJE DE BARRAS MANUAL C/24000	2000000	31.81	63.61
M	2 OJAS PISAPLANCHAS	1000000	349.31	349.31
SUBTOTAL				418.12
Costos en Porcentaje ***				
MATERIALES COMPLETOS 3.00 x / Materiales (M) 5,701.00				
MATERIALES PERIFERICOS 3.00 x / Materiales (M) 5,701.00				
MANEJO 1.00 x / Mano de obra (M) 708.19				
MANTENIMIENTO 10.00 x / Mano de obra (M) 708.19				
COSTO DIRECTO				
1,764.00				
COSTOS INDIRECTOS				
24.00 x / 100.00 Base Indirectos (M) 7,764.00				
10.00 x / 100.00 Base Utilidad (M) 9,048.24				
PRECIO UNITARIO				10,812.24

Figura 3.2 Analisis de precio unitario.

Funciones dentro del taller

La información general en el departamento de ingeniería, que consiste en planos de detalle, lista de materiales e instrucciones especiales para la fabricación, debe de distribuirse a todos las áreas del taller principalmente en la de producción, aún cuando no toda la información se entregue a los demás departamentos. Pero si se debe entregar:

- Al departamento de ventas para las relaciones con el cliente, con quien previamente estableció un programa de fabricación y transporte de acuerdo con ingeniería y producción.
- Al departamento de compras para llevar un control previamente establecido para la adquisición de materiales y componentes.
- Al departamento de producción, quien a su vez reparte la información a sus diferentes secciones, soportado con ordenes de trabajo previamente elaborados.
- Al departamento de control de calidad, para programar las inspecciones necesarias que van desde, la revisión de las ordenes de compra de materiales hasta la inspección final del embarque.

Con la información general de fabricación y el material en planta se puede iniciar la fabricación de la estructura de que se trate.

Uno de los departamentos con mayor importancia es el de producción, ya que en él se lleva a cabo todos los procesos de fabricación.

Maquinaria, equipo y herramienta necesaria

En lo que respecta a sus instalaciones, se debe contar con una subestación eléctrica de unos 500 KVA con transformadores a 110, 220 y 440V.

También se debe tener un compresor de aire de 100 lbs/pulg² de presión y desde luego con servicios de agua potable.

En lo que respecta a maquinaria, equipos y herramientas en general se debe contar como mínimo con lo siguiente:

- Dos prensas horizontales para enderezado de perfiles
- Una cizalla cortadora de placa de hasta 25mm
- Un taladro radial de 120cm
- Dos taladros de base magnética
- Dos punzonadoras de 25mm por 19mm
- Una sierra cinta

- Una prensa hidráulica
- Cuatro equipos para oxicorte de oxígeno tipo tractor
- Cuatro multiflamas
- Seis equipos de corte manual
- Cuatro cabezales para soldadura de arco sumergido
- Cuatro cabezales para soldadura automática
- Catorce máquinas de soldar de 300 amp
- Diez esmeriles neumáticos o eléctricos
- Cuatro equipos de pintura
- Dos juegos de aparatos y de equipos de control de calidad
- Veinte lotes de herramienta menor
- Veinte lotes de equipos de seguridad

Dentro del área de producción, se debe de montar una nave dentro de la cuál se instale toda la maquinaria con una correcta distribución de tal manera que la circulación del material no se obstaculice así como del personal que labora en ciertos procesos, de acuerdo a lo comentado, ver figura 3.3

En la nave, ya con una perfecta ubicación de sus máquinas para los procesos de fabricación, es importante contar con una grúa viajera, previamente analizada su capacidad, y teniendo un lineamiento de circulación del material en todas sus etapas.

Es importante cuidar que en los trabajos a realizar requieran lo más mínimo en maniobras y así reducir tiempos muertos, en este tipo de talleres es necesario contar por lo menos con una grúa telescópica de una capacidad no muy considerable pero que nos pueda permitir hacer maniobras en la zona de embarque o sea fuera de la nave.

Todo lo que se ha mencionado del taller respecto a planeación y maquinaria, básicamente se considera para un lugar fijo, o sea que se encuentra instalado en un fraccionamiento industrial urbanizado.

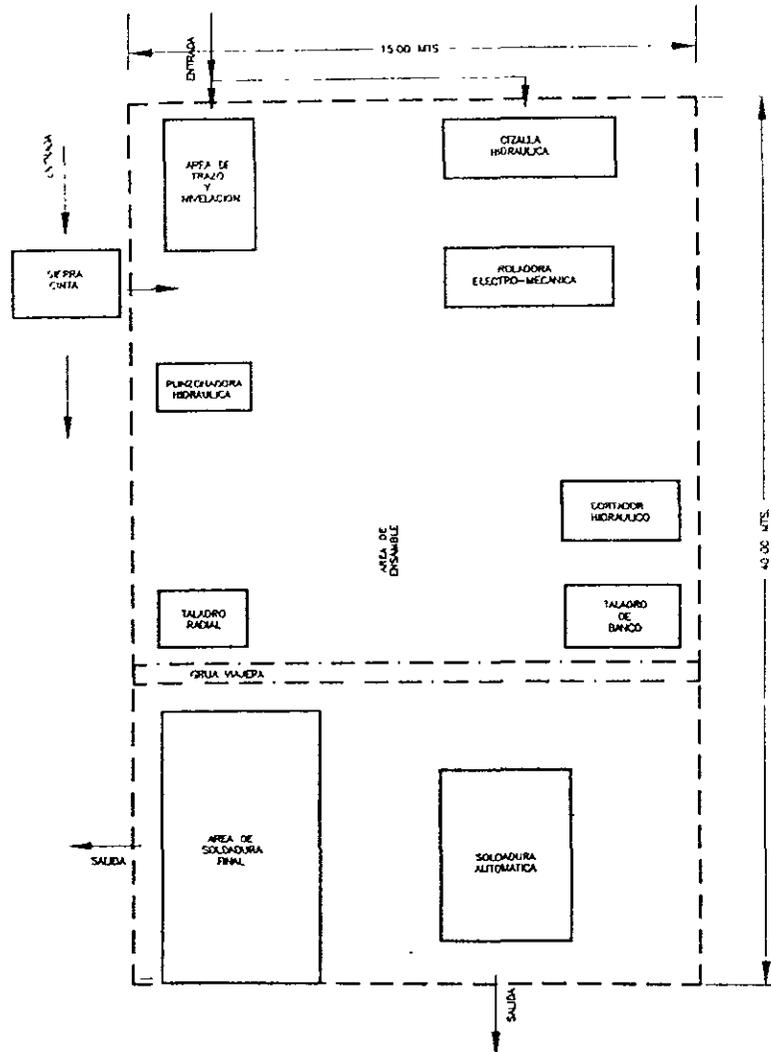


Figura 3.3 Área de producción dentro de un taller.

Consideraciones en la fabricación

En el taller se deben de fabricar y armar al máximo grado posible los elementos o conjuntos estructurales de tal manera que en campo no requiera de algún proceso adicional respecto a la fabricación, todos los procesos se deben de llevar a cabo con apego a las especificaciones A.I.S.C. y como se indique en los dibujos definitivos previamente autorizados.

Se indicarán correctamente con marcas de identificación y de ensamble cada pieza, por lo menos una marca que pueda leerse fácilmente, después de terminada su fabricación o de la aplicación de pintura o galvanizado, no

deberán de usarse pinturas adherentes que no puedan ser retiradas totalmente después del montaje.

En ocasiones cuando se requiera de un acabado, se debe de hacer el ensamble completo, inclusive toda la soldadura necesaria antes de iniciar las operaciones de aplicado del acabado.

Las uniones de taller se soldarán o atornillarán según se indique en las especificaciones; se deben de proporcionar uniones en forma completa y con cordones que garanticen un sello perfecto de acuerdo a las normas, también se deben de considerar elementos de sujeción roscados en forma temporal para facilitar el montaje.

Al instalar elementos de sujeción roscados, tornillos, deben de ser de alta resistencia de acuerdo con las especificaciones para juntas estructurales, éstas deben de ser de A.S.T.M. o de A.I.S.C.

En cuanto a procedimientos, apariencia y calidad de las soldaduras, y a los métodos que se apliquen para corregir los trabajos de soldadura se debe de cumplir con lo indicado en el código A.W.S. y además tener una supervisión adecuada de manera que no se presenten deformaciones en elementos al aplicar la soldadura.

En caso de tener una estructura que cuente con conectores a cortante, es importante preparar las superficies de acero como lo recomienda el fabricante de éste tipo de conectores.

Es importante que en un taller se coloquen la mayor parte de conectores ya que garantizan su colocación, por que generalmente se debe de usar soldadura automática, calentándolos de acuerdo con las instrucciones impresas del fabricante.

Los barrenos para tornillos en las uniones, serán de acuerdo a las prácticas normales del A.I.S.C.; se deben de considerar las sobremedidas, o sea con las tolerancias en base a diámetros, la alineación es muy importante ya que un ligero desplazamiento origina un error de gran magnitud en el montaje, esto puede originar que se repitieran los trabajos originando pérdidas en tiempo y mano de obra, por lo que es importante tener una supervisión para este tipo de trabajo.

Se taladrarán o se punzarán los barrenos perpendicularmente a las superficies metálicas, y se eliminarán las rebabas del barreno con la herramienta adecuada.

En caso de corrección de los barrenos no se agrandaran los agujeros con soplete, lo correcto es taponearlos con soldadura y volver a taladrar los corregidos.

Los materiales y procedimientos de fabricación están sujetos a inspección y pruebas por el departamento de control de calidad de la planta, de manera que se soportara, hasta cuando el cliente libere la autorización de su dependencia de inspección calificada.

Procesos de fabricación de elementos estructurales

Durante el proceso de fabricación, se llevan a cabo una serie de actividades, algunas requieren mayor atención que otras, como la soldadura y el armado.

Trazado y armado

El armado que debe dar las dimensiones finales de la pieza dentro de tolerancia requiere de personal capacitado con conocimientos de geometría y trigonometría para que pueda leer e interpretar planos y hacer cálculos, trazos de escuadramientos o triangulaciones para lograr la geometría deseada.

Es de mucha utilidad que en taller se disponga de un área con mesas niveladoras como mesas de trabajo para el armado de piezas de todo tipo; su trabajo termina al dejar los elementos debidamente punteados con soldadura y las dimensiones requeridas para que a continuación se lleven a cabo los procesos de soldadura.

Soldadura

En el taller, desde el punto de vista de fabricación, durante la aplicación de la soldadura lo que más se supervisa es que no se presenten deformaciones en la pieza en proceso, estableciendo una buena secuencia, sin descuidar la selección adecuada del electrodo o metal de aporte. Así también como la selección de amperaje en la máquina de soldar y la cadencia a seguir, es muy importante también elegir el tipo de aplicación que puede ser automática o manual. Esto se verá con más detalle en el capítulo IV.

En lo que se refiere al personal obrero es muy importante establecer procedimientos de calificación de los soldadores, los cuales deben de hacerse de acuerdo a normas que marca la A.W.S., ya que es una buena medida para la calidad de la soldadura, que depende en un 90% de la habilidad manual del soldador.

Barrenado

En el caso de estructuras atornilladas también pueden llevar partes soldadas, ya que por lo general los tornillos se colocan en el montaje, salvo algunas excepciones se arman en taller; para la actividad de perforación de perfiles y placas, entra el proceso llamado de barrenado o punzonado, que se diferencian por el tipo de maquinaria a emplear, cualquiera de los procedimientos debe hacerse con mucha precisión, tanto en diámetros como en alineamientos de ejes, para asegurar su coincidencia en campo. Esto se verá igualmente con más detalle en los capítulos siguientes.

Para asegurar el trabajo se pueden seguir varios métodos según se acuerde con el cliente y bajo un respaldo de especificaciones de contrato por que en algunos casos los procedimientos pueden resultar lentos en su producción, por lo que su costo se elevaría.

Sin embargo es conveniente analizar cada caso ya que dependiendo de las características del tipo de acero a utilizar su comportamiento, por las temperaturas, varía y podría resultar contraproducente si no se tiene la debida inspección y el método del barrenado.

Talleres ubicados en campo

En la actualidad los trabajos se pueden hacer en cualquier sitio, pero indudablemente, para tomar la decisión es importante hacer un análisis que optimice la fabricación, en obra o en un taller ya establecido o fijo.

Podemos encontrar talleres instalados en campo donde se cuente con todos los servicios como ocurre en zonas urbanas, lo que facilitaría el funcionamiento, pero, seguirán existiendo diferencias en cuanto a eficiencia al compararlos con un taller establecido en un lugar fijo.

Como se mencionó anteriormente, es muy importante tener una evaluación de todo lo que intervendrá en el proyecto, de tal manera que para tomar la decisión de fabricar una estructura en obra, o no hacerlo, se debe de tomar en cuenta lo siguiente:

- Volumen a fabricar en tonelaje
- Costo y dificultad de transporte
- Elaboración de dibujos de detalle

Ya que estas consideraciones pueden ayudar a tomar la decisión correcta, en cuanto al volumen a fabricar, es muy importante que si es un volumen considerable, que justifique hacer una inversión para el montaje del taller en campo, entonces procede; por lo que respecta al costo y dificultad de transporte, se debe considerar la cantidad de piezas, su peso y el kilometraje a recorrer, también se deben de considerar ciertas especificaciones que se indican en los planos de taller o correcciones que se deban realizar sobre la marcha y por lo tanto generarán gastos en campo, así como atrasos en la fabricación.

Aún cuando las condiciones se presentan favorables para producir estructuras en obra, lo más recomendable es acudir a un taller establecido, en donde de alguna manera su fabricación se puede garantizar en un 100%, en sus enderezados, escuadramientos, tolerancias, paralelismo, así como un acabado perfecto, de lo contrario en obra resultaría más costosa por su proceso que es tardado.

Se hace hincapié en que no quiere decir que no se pueda hacer lo mismo en un taller ubicado en obra, simplemente que resulta un tanto más difícil llevar a buen término algunos de los procesos, en algunas ocasiones podrá ser que el proyecto no permita otra alternativa, entonces se tendrá que analizar por separado todos los trabajos especiales como pueden ser reelevado de esfuerzo ó galvanizado.

Como podrá suceder que en algunos proyectos se requiera fabricar determinadas partes de la estructura en campo, por lo que será necesario montar un taller en obra, en donde su equipamiento se hará de acuerdo a las necesidades de proyecto así como los medios que nos permita el lugar; se planeará perfectamente, de manera que no pueda existir pretexto para hacer funcional el taller, considerándole una buena administración, que permita que los gastos tanto humanos como materiales se mantengan dentro de un margen previamente establecido y por tanto tener una producción óptima.

En cualquier tipo de proyecto es importante considerar un estudio de manera que tomando en cuenta diseño, transporte y montaje, se analicen todos los factores que nos afecten en obra, esto nos permitirá tener una correcta planeación en su fabricación, siendo preferible que el proceso de fabricación se lleve a cabo en un taller de estructuras metálicas que ya esté establecido.

Automatización y control numérico

La automatización es una palabra que tiene mucho significado en la industria, una producción automática continua en programación fija, puede presentarse en líneas de prensas punzonadoras, operaciones de soldadura, ensamble e inspección o para maquinados en corte.

Con el uso de máquinas el ahorro es grande en mano de obra, se puede obtener mayor producción que en forma manual, ya que se necesita un solo operador; el mismo trabajo pero en el tipo manual requeriría por lo menos ocho veces la cantidad de empleados, pueden resultar otros ahorros por calidad, menor desperdicio de material y menos espacio para maniobras.

Un robot se ha definido como un dispositivo programable capaz de realizar acciones complejas en una gran variedad de operaciones, podría ser también un manipulador que normalmente pueda programarse para efectuar diversas acciones repetitivas sin intervención humana. Los robots están dirigidos por un procesador de información que sigue las instrucciones programadas en su memoria, estos están impulsados por medios neumáticos, hidráulicos, eléctricos o mecánicos.

Un sistema de control numérico es aquel en el cual las instrucciones para realizar un trabajo se dan a una máquina con números y se llevan a cabo en forma automática y precisa, el sistema se programa fácilmente para cualquier operación dentro de su alcance, cuando se termina la orden se introduce un programa nuevo y el sistema lo lleva a cabo y así sucesivamente, también se le puede llamar programación variable.

Este tipo de control en la fabricación de estructuras de acero, se puede encontrar en las áreas de soldadura con arco, el corte con flama y mecánico, en operaciones de remachado ó punzonado; las máquinas se diseñan de manera que puedan satisfacer cada necesidad en la forma más eficiente y económica, y por lo tanto existen muchos tipos y tamaños de sistemas de control numérico, ver figura 3.4

Las máquinas de control numérico pueden clasificarse de acuerdo con el número de ejes de movimientos controlados numéricamente con respecto a las coordenadas (x, y, z); hay otros tipos de movimientos que no son controlados, por ejemplo una maquinaria de dos ejes puede mover en la mesa a lo largo y ancho en un plano horizontal, puede ser que tenga movimientos adicionales que pueden ser lineales ó rotativos, comúnmente se reconocen tres clases de sistemas de control numérico:

a) Control numérico de punto a punto o posicionamiento.- Desde una herramienta cortante y una pieza de trabajo se posicionan unas con respecto a otras antes de que se principie un corte, un ejemplo es un taladro prensa de control numérico.

b) Control numérico de corte recto.- Implica movimientos parecidos al anterior pero a lo largo de trayectorias rectas o curvas determinadas por las guías o correderas de la máquina, por ejemplo un torno revolver.

c) Control numérico de trayectoria continua.- Con más formalidad control continuo de la trayectoria de herramienta, la cual realiza contorneados o perfilados de líneas curvas o superficies de varias formas.

La principal desventaja de un sistema de control numérico es el costo inicial, cuestan de 1.5 a 5 veces más que las máquinas ordinarias de tamaño similar, dependiendo de la capacidad de control y de los accesorios. Sin embargo, este sistema, el ahorro de tiempo es bastante considerable.

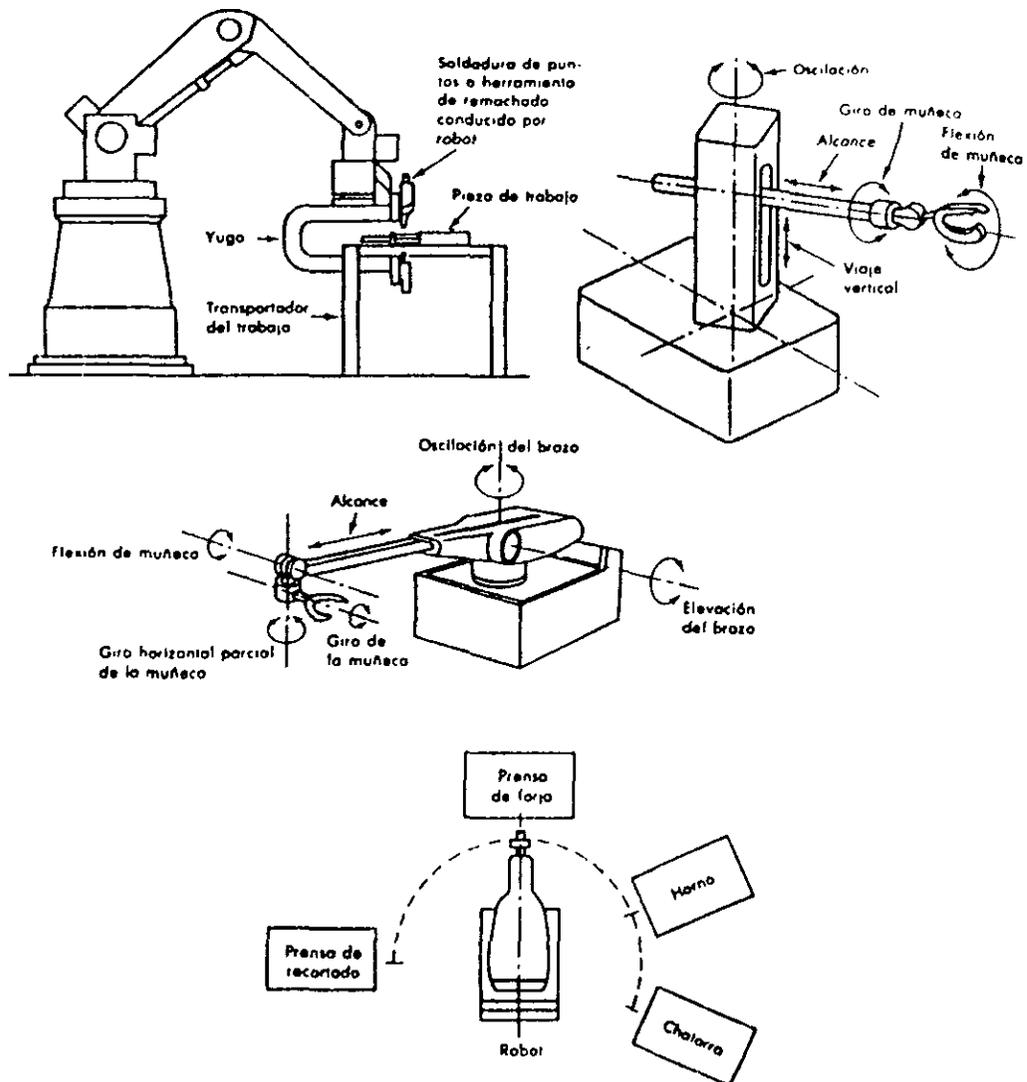


Figura 3.4 Tres modelos de robots con el trabajo que ejecutan.

3.2 Planos de taller y técnicas de trazo y dibujo

Para dibujar estructuras de acero existen varias técnicas, las cuales varían de acuerdo al equipo con que se cuente, al grado de exactitud deseado y al tipo de dibujo que se vaya a realizar, a continuación se describen estas técnicas.

Técnicas de dibujo

a) Dibujo a mano alzada.- Esta técnica es la más simple, se realiza con puntillas o minas de grafito sobre casi cualquier tipo de papel y consiste en lo siguiente:

- Auxiliado de escuadras, reglas y escalímetros se trazan líneas guías muy tenues sobre los ejes, perímetros, topes y acotaciones.
- Se procede a dar la calidad deseada a mano alzada siguiendo las guías antes mencionadas, dicha calidad deberá realizarse partiendo siempre de las líneas más delgadas hasta las líneas más gruesas.
- Todas las líneas con calidad deberán hacerse de un solo trozo despegando la mano de la superficie de contacto.
- Por último se procede a indicar las especificaciones y dimensiones de la estructura, éstas deberán ser en general del mismo tamaño y con el mismo tipo de letra, excepto en los títulos y en especificaciones especiales donde serán de mayor calidad y/o tamaño, ver figura 3.5

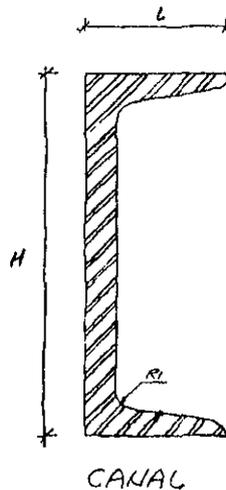


Figura 3.5 Dibujo a mano alzada.

b) Dibujo con mina plástica.- Esta técnica es muy parecida a la anteriormente descrita, solo que para este caso tanto el papel como las puntillas o minas que se emplean para dibujar son de material plástico.

En esta técnica se puede dar calidad de línea a una estructura a mano alzada o con instrumentos de precisión como escuadras, compás y regla paralela. Dicha calidad se obtiene trazando líneas firmes una a un lado de otra hasta obtener el espesor deseado, ver figura 3.6

Por último se indica que para poder borrar alguna línea o detalle, basta con pasar una goma plástica previamente humedecida sobre éste.

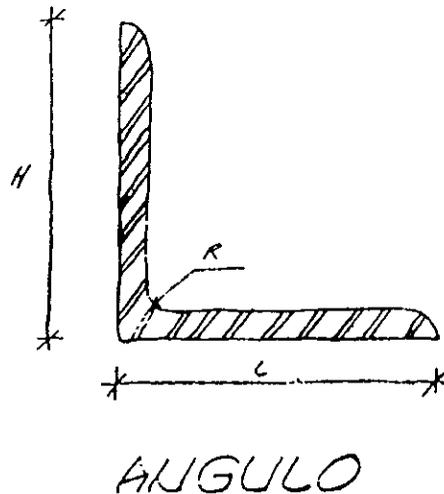


Figura 3.6 Dibujo con minas plásticas.

c) Dibujo con tinta china.- Como su nombre lo indica, la calidad de las líneas se obtiene con tinta china a través de estilógrafos, grafos, conos o tiralíneas.

El espesor de cada línea se obtiene del espesor de la punta del conductor de la tinta, y se mide en décimas de milímetro.

Cuando iniciamos un detalle estructural siempre tomamos como referencia a los ejes de éste, para después dimensionarlo.

Para indicar dimensiones y textos se utilizan regletas y cangrejo (conocido como leroy) se puede rotular con escritura recta o cursiva.

Para esta técnica se usa por lo regular papel albanene o herculene, si se emplea este último la punta del conductor de tinta deberá ser de tungsteno, esto es con el fin de evitar su desgaste rápido. Para visualizar calidad de dibujo estándar, ver figura 3.7

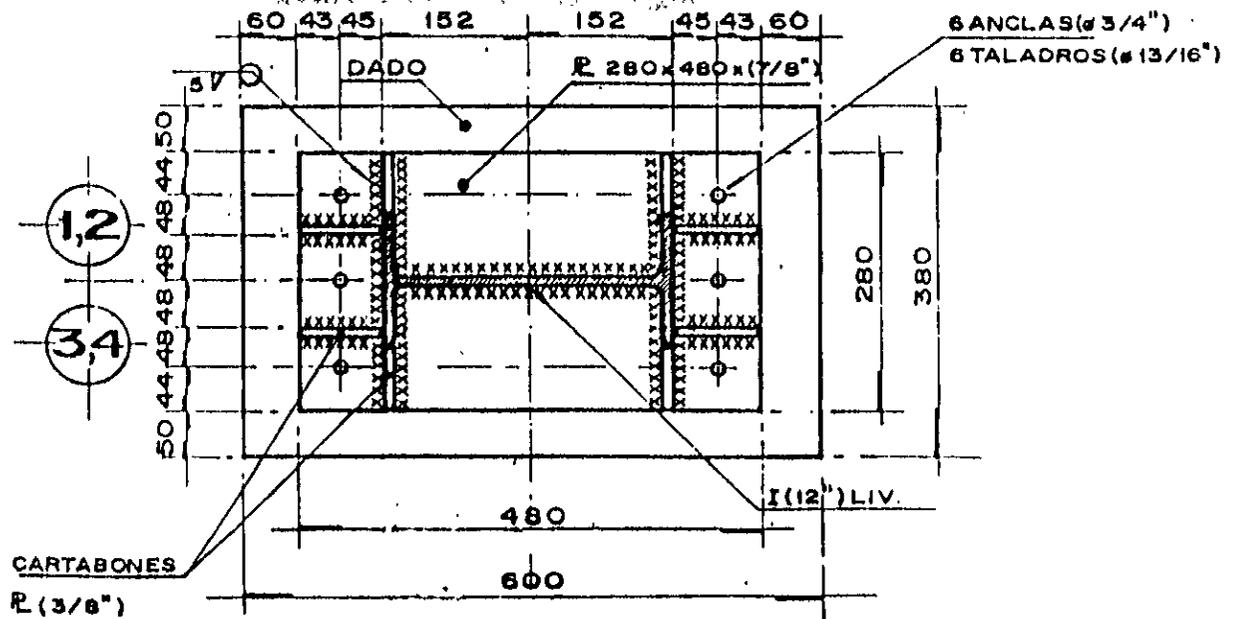


Figura 3.7 Dibujo con tinta china.

d) Dibujo elaborado en computadora.- La tecnología avanza en todos los campos que abarca la ingeniería civil, uno de estos es el dibujo estructural elaborado en computadora, para este trabajo se explicaran brevemente dos de los softwares más utilizados para tal fin, así como sus periféricos más importantes.

Corel Draw.- Este software tiene varias aplicaciones para poder dibujar estructuras metálicas, además es fácil de utilizar por ser compatible con windows. En corel draw se pueden elaborar dibujos de estructuras de acero con gran calidad y exactitud, además pueden estar en dos o tres dimensiones (teniendo la opción de darles animación para una representación visual).

Cuando se inicia un dibujo en corel draw se insertan líneas guías en todo el entorno de la estructura, para después sobre éstas dibujar las líneas definitivas y posteriormente indicar la calidad deseada. Si el dibujo lo requiere se le puede dar cualquier tipo de acabado. Cabe mencionar que las líneas guías son insertadas a la escala y unidades que requiera la estructura, y aunque se observan en el monitor no se imprimen en el dibujo definitivo.

Otra ventaja es que acepta dibujos scaneados, es decir, si tenemos una estructura ya dibujada en un plano, libro o folleto, basta con scannearla para crear el archivo correspondiente, y posteriormente importarlo al corel draw para poder editar e imprimir dicha estructura.

Además se puede resaltar que el corel draw tiene aproximadamente 800 diferentes tipografías y se puede imprimir en cualquier impresora o graficador (plotter), es decir, se puede imprimir a cualquier tamaño, ver figura 3.8

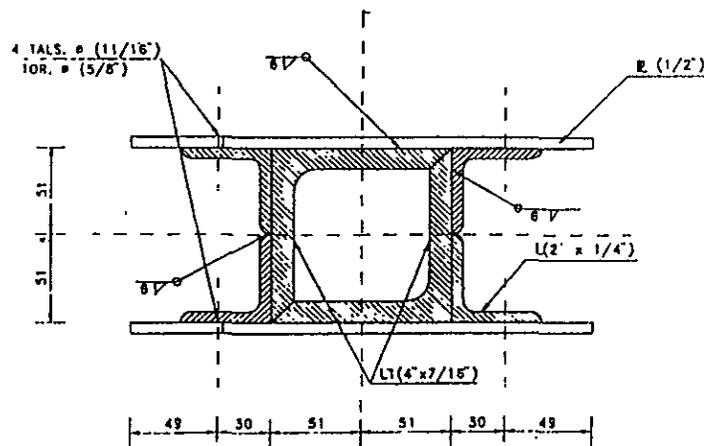


Figura 3.8 Dibujo elaborado con corel draw.

Autocad (diseño asistido por computadora).- Autocad es el software más potente y versátil que existe para dibujar proyectos de obras civiles, por lo que es ideal para dibujar todo tipo de estructuras metálicas, a continuación se describen los aspectos más importantes para el dibujo de un proyecto de estructuras metálicas.

Autocad permite dibujar a cualquier escala ya que como su lógica es adimensional, basta con manejar un factor de escala para cualquier detalle estructural, o para todo el proyecto completo, así mismo se puede tener en un mismo plano diferentes tipos de escalas según esa conveniente.

Cuando se dibuja un detalle o una planta estructural, siempre se toman como referencia los ejes de ésta con su respectiva simbología, incluida en autocad, después se trazan todas las líneas que conformaran el dibujo haciendo múltiples combinaciones de comandos, es decir; se copia, divide, corta, rota, mueve o agrupa. Además con autocad se pueden dibujar automáticamente círculos, polígonos, elipses o arcos; por lo que se facilita grandemente el trabajo.

Para representar la calidad de líneas en el dibujo de una estructura se emplean diferentes tipos de colores, y cada color representa un diferente espesor en la línea. Para poder indicar el color y el tipo de línea que se utiliza en un proyecto, se crean varias capas o layers, los cuales se pueden activar o desactivar según convenga.

Como ejemplo se puede suponer que se tienen en un proyecto varios ángulos y varias vigas "I", pero solo se quiere imprimir o visualizar las vigas "I", se procedería a "congelar" el layer de los ángulos.

Por lo anterior se debe de tener un orden al crear los layers, a los que se le dará nombres asociados con el dibujo a crear, por ejemplo al layer de acotaciones se le puede llamar "cotas", y al de ejes "E", y así sucesivamente.

Autocad ofrece una gran variedad de ashurados, para poder insertarlos en cualquier tipo de estructura, a estos ashurados se les puede aplicar cualquier factor de escala y hacerlos tan condensados o tan separados según sea necesario.

Para poder acotar cualquier detalle estructural solo se tiene que indicar su tipo de acotación, vertical horizontal o radial, e insertarlo en el detalle en cuestión.

Autocad también dibuja en tercera dimensión cualquier tipo de estructura, incluso puede darle animación y movimiento para realizar una representación visual.

Para este software existen utilerfas de estructuras de acero, las cuales se pueden aplicar directamente a la edición, además autocad permite crear programas para su optimización y aplicación.

En resumen se puede concluir: de todas las técnicas de dibujo de estructuras de acero, autocad es la ideal, ya que permite dar la mejor calidad, es relativamente fácil de usar, es programable, ahorra tiempo y costo y se puede configurar en cualquier impresora o graficador, ver figura 3.9

Planos de taller

Como se mencionó anteriormente, en el capítulo II, toda la fabricación se hace con base en planos de taller, que se elaboran tomando en cuenta los planos estructurales o de diseño que se proporcionen, por lo que primeramente se hará referencia a estos últimos.

Planos de diseño

Los planos de diseño deben contener el diseño completo con medidas, secciones y localización relativa de los diversos miembros de una estructura. Se acotarán los niveles de piso, centro de columnas y proyecciones. Deben dibujarse a una escala suficientemente grande para mostrar en forma adecuada la información. En ellos se indicará el tipo o los tipos de construcción (tipo 1, tipo 2, tipo 3) según su destino y contendrá además

los datos de las cargas supuestas, de las fuerzas cortantes, momentos y fuerzas axiales que han de ser resistidos por todos los miembros y conexiones, así mismo contendrán todos los datos requeridos para la preparación de los planos de taller.

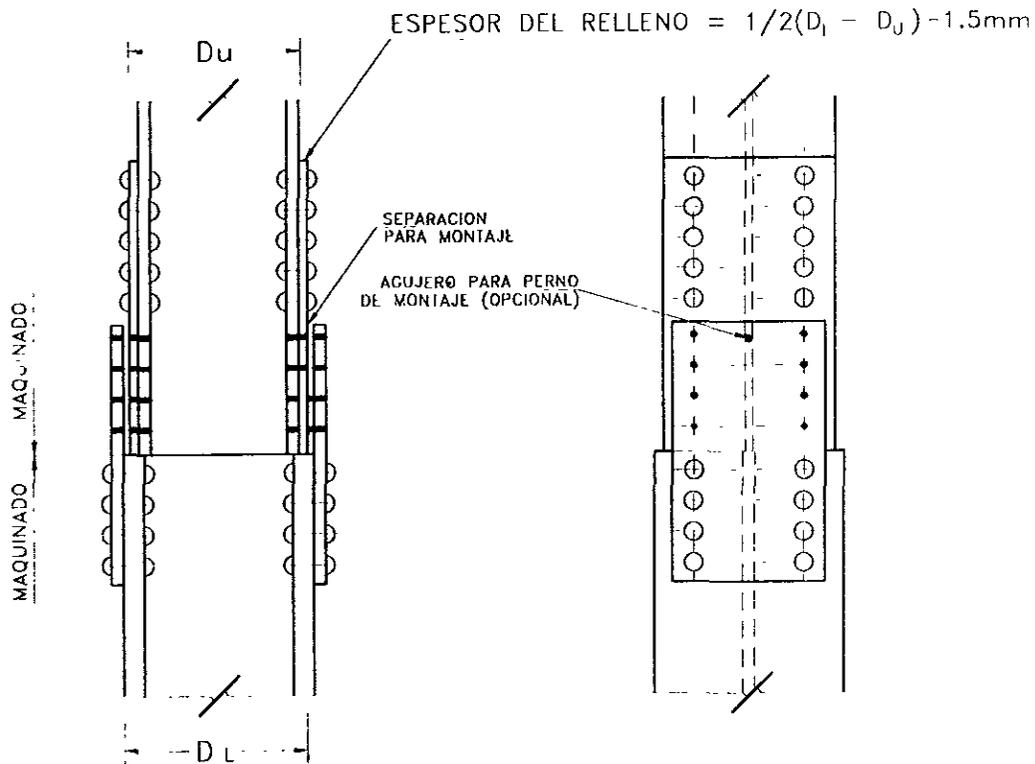


Figura 3.9 Dibujo elaborado con autocad.

En caso de juntas ensambladas con tornillos de alta resistencia requeridos para resistir esfuerzos cortantes entre las partes unidas, los planos deben precisar el tipo de conexión: de fricción o de aplastamiento.

Cuando se requiera de las armaduras y vigas con contraflecha, se indicará en los planos de diseño. También se indicarán las juntas o grupos de juntas, en las que la secuencia y técnica de aplicación de la soldadura requiera especial atención, para minimizar la soldadura con restricción a la deformación y así evitar las distorsiones excesivas. Las longitudes de soldadura indicadas en los planos de diseño y de taller serán las efectivas.

Los símbolos de soldadura empleados en los planos de diseño y de taller, de preferencia serán los de la sociedad americana de soldadura (A.W.S.). Ver

capítulo VI. Podrán emplearse otros símbolos adecuados siempre y cuando se expliquen en forma completa en los planos de diseño y taller.

Se permiten tres tipos básicos de construcción, con sus consideraciones de diseño correspondientes, bajo las condiciones de diseño que se mencionan. Cada tipo determinará específicamente el tamaño de los miembros y el tipo y capacidad de sus conexiones.

-Tipo 1: Designado comúnmente marco rígido, como ya se ha visto, supone que las juntas entre vigas y columnas son lo suficientemente rígidas como para mantener prácticamente sin cambios los ángulos originales de los miembros que se intersectan.

-Tipo 2: Designado comúnmente estructuración simple, extremos simplemente apoyados, sin empotramiento, como se ha visto, supone que, en cuanto a cargas gravitacionales se refiere, los extremos de las vigas están unidos para resistir solamente carga cortante y están libres para girar.

Tipo 3: Designado comúnmente marco semi-rígido, extremos parcialmente empotrados, que como se mencionó anteriormente supone en las conexiones de las vigas capacidad conocida y confiable de momento como intermedia entre la rigidez de tipo 1 y la flexibilidad del tipo 2.

El diseño de todas las conexiones estará de acuerdo con las consideraciones relativas al tipo de construcción indicado en los planos de diseño.

La construcción tipo 1 está incondicionalmente permitida dentro de las limitaciones formuladas, los miembros de marcos rígidos o las porciones continuas de marcos. Se diseñarán de acuerdo con sus resistencias máximas predecibles, para soportar las cargas de diseño especificadas, multiplicadas por los factores de carga recomendados.

Alternativamente, la construcción tipo 1 se diseñará dentro de las limitaciones, para resistir los esfuerzos producidos por las cargas de diseño especificadas, suponiendo la distribución de momentos de acuerdo con la teoría elástica.

La construcción tipo 2 está permitida dentro de estas especificaciones, sujeta a la estipulación del siguiente párrafo, cuando sean aplicables.

Los edificios cuya construcción sea del tipo 2, por ejemplo: conexiones entre vigas y columnas que no sean para resistir cargas de viento, supuestas como flexibles bajo cargas gravitacionales, los momentos debidos a cargas de viento podrán ser distribuidos entre las conexiones seleccionadas del marco siempre que:

- a) Las conexiones y los miembros conectados tengan la capacidad adecuada para resistir los momentos debidos a las cargas por viento.
- b) Las vigas sean capaces de soportar el total de las cargas gravitacionales, como vigas simplemente apoyadas.
- c) Las juntas tengan la capacidad adecuada de rotación inelástica, capaz de evitar los esfuerzos excesivos en los sujetadores o en las soldaduras bajo la combinación de cargas gravitacionales y de viento.

La construcción del tipo 3 solo se permitirá si se comprueba que las conexiones que se utilizan son capaces de suministrar, como mínimo, una porción predesible de la restricción total del extremo. El diseño de los miembros principales unidos por estas conexiones se basará en restricción no mayor que este mínimo.

Las construcciones tipo 2 y 3 pueden requerir algunas deformaciones inelásticas pero auto limitadas, de ciertas partes de la estructura metálica.

Los planos de diseño estructural deben mostrar claramente el trabajo por ejecutarse e indicando tamaños, perfiles, normas de materiales, localización de todos los miembros, niveles de los pisos, alineaciones y centros de columnas, contraflechas, así como las dimensiones suficientes para poder estimar correctamente las cantidades y tipo de acero estructural por suministrarse. Las especificaciones del acero estructural deben incluir cualquier requisito especial referente a la fabricación y montaje del mismo.

Los planos deben mostrar con suficiente detalle, para ser fácilmente comprendidos, los arriostramientos, contraventeos, conexiones, atezadores en columnas y vigas, refuerzos en el alma, agujeros para instalaciones y otros detalles especiales. Además deberán incluir información suficiente respecto a las cargas consideradas, las fuerzas cortantes, momentos y fuerzas axiales que deban soportar los miembros y sus conexiones, y que puedan ser necesarias para el diseño de los detalles de conexión en los dibujos de taller y para el montaje de la estructura, ver figura 3.10

Cuando se incluyan en el suministro de acero estructural placas de relleno y de nivelación y otros elementos especiales, los planos deberán mostrar los tamaños, perfiles y localización de todas las piezas.

En caso de discrepancias entre los planos y las especificaciones para edificios, regirán las especificaciones. En caso de discrepancias entre las dimensiones a escala en los planos y los números de las acotaciones, regirán los números. En caso de discrepancias entre los planos de la estructura de acero y los otros planos, regirán los planos de la estructura de acero.

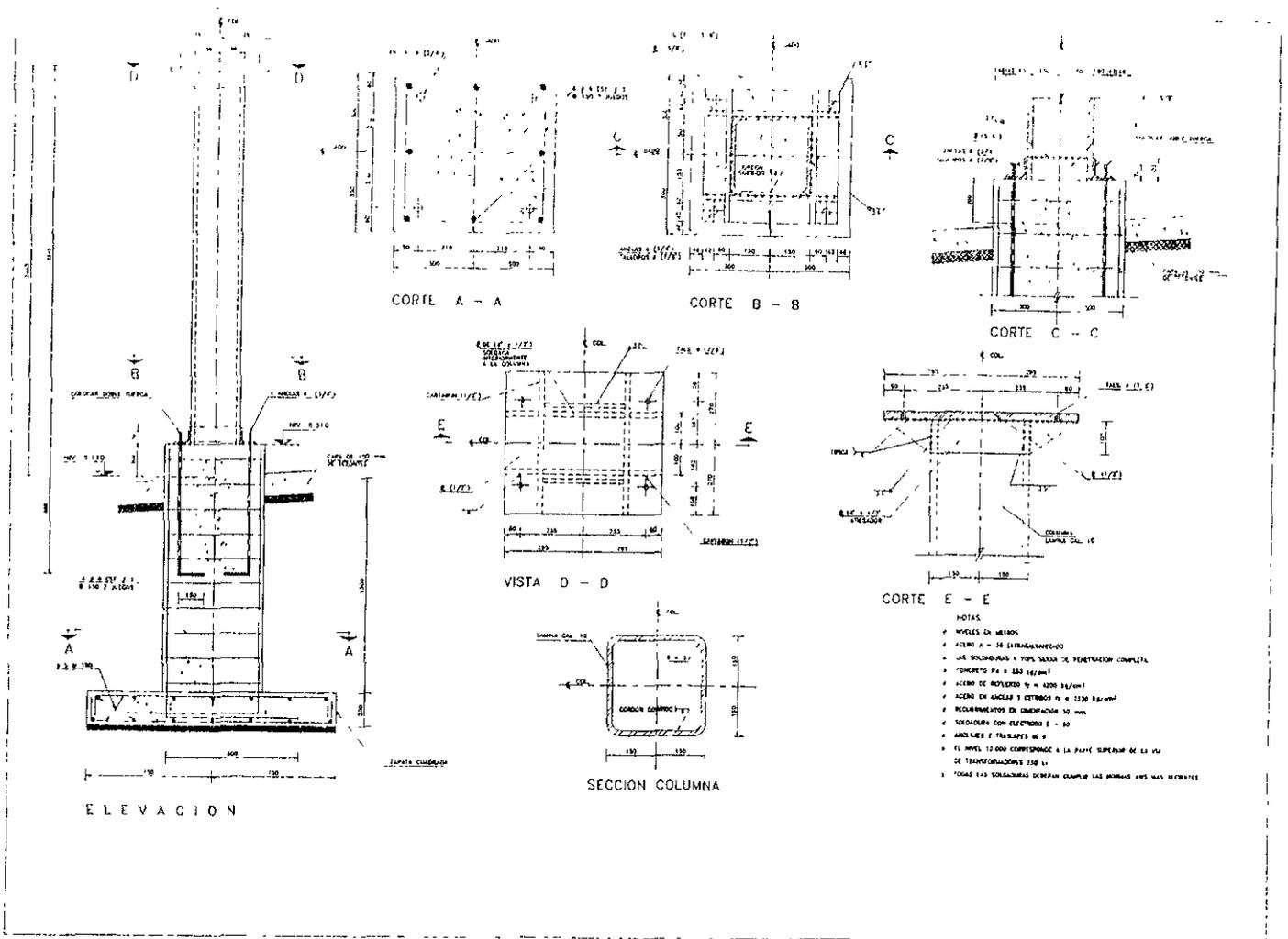


Figura 3.10 Plano de diseño.

Los planos deberán ser fácilmente legibles y estar dibujados a una escala no menor de 1: 100. La información más compleja deberá dibujarse a la escala más adecuada para su correcta interpretación.

Para la elaboración de planos de diseño se pueden seguir las siguientes recomendaciones:

Nomenclatura de ejes.- Los ejes de letras A, B,..., Z; deberán estar nomenclaturados verticalmente del sur al norte, las letras "I" y "O" deberán excluirse. Los ejes de números 1, 2,, ; deberán estar nomenclaturados de oeste a este; no se incluye el cero.

Cortes y detalles.- Los cortes deberán estar indicados con números, de izquierda a derecha o de arriba hacia abajo progresivamente. Los detalles se indicarán con letras, de izquierda a derecha o de arriba hacia abajo progresivamente, con las mismas limitaciones de no usar las letras "I", "O" y el cero. Los cortes y detalles estarán indicados ordenada y secuencial de izquierda a derecha y de arriba hacia abajo.

Acotaciones y escalas.- Todas las dimensiones deberán estar claras y suficientemente acotadas. De preferencia las acotaciones deberán estar cerradas, es decir, sin punto o cifras decimales. Los niveles deberán estar bien referidos con su respectiva acotación. Todas las plantas deberán indicar la escala a que están presentadas. En lo referente a dibujos de detalle se podrán hacer sin escala o cuando la escala esté indicada en el cuadro de encabezado solo será válida para las plantas y cortes.

Encabezado y título.- El número de plano deberá aparecer en el encabezado, en el extremo inferior derecho. El título del plano corresponderá a su contenido y con la lista de planos del proyecto. Deberán aparecer las iniciales o nombre del dibujante, así como la fecha en que se realizó el dibujo. Deberán aparecer las iniciales o el nombre y firma del calculista. También deberán aparecer las iniciales o nombre y firma del supervisor y el sello o firma del cliente. Se indicará la escala y la unidad de acotación.

Tablas.- Los perfiles indicados en las tablas deberán tener todas las dimensiones, anchos, espesores, longitudes, diámetros y soldaduras. Las tablas deberán tener una columna adicional de observaciones. También se podrán elaborar tablas de largueros, tensores y contravientos con sus respectivas indicaciones. Cualquiera de estos elementos estructurales se deberán localizar e indicar ya sea en planta o alzado, además deberán estar bien especificados en detalles.

Se verificará que ningún letrero, nota o encabezado tenga faltas de ortografía. Las notas generales y simbología de los planos estructurales pueden aparecer solo en un plano de planta universal. En los planos

complementarios se hará referencia de los planos generales excepto notas muy particulares de dichos planos de taller.

Planos de Taller:

Una vez realizados los planos de diseño, se procede a la elaboración de los planos de taller. Para la elaboración de éstos se debe realizar un estudio exhaustivo de los planos de diseño; como lo indica su nombre, su utilización está destinada a servir de guía principal en la elaboración de los trabajos que deban y puedan ser realizados en el taller.

Se podría pensar que los planos de taller tienen como objetivo agilizar y facilitar los trabajos que deban realizarse en taller, y es cierto, aunque solo en parte, pues desde la elaboración de estos planos se debe tener una visión integral del proyecto y sobre todo poner especial atención en la consideración de que, con ellos también se contribuye a agilizar y facilitar los trabajos de montaje que en la obra deban realizarse.

En la actualidad existe una tendencia hacia la construcción modulada, esto es, se pretende entre otras cosas, que con la existencia de módulos iguales en una construcción se tengan piezas idénticas en todos los detalles; de esta forma se agiliza el trabajo de taller, pues al repetir un mismo proceso una buena cantidad de veces, la persona se familiariza con él, teniendo cada vez menos necesidad de detenerse a analizar ciertas cosas que le pudieran ser de difícil comprensión, llegando incluso a que él mismo, en un momento dado, prescindiera de observar los planos, aunque tampoco es aconsejable confiar en exceso la memorización. La existencia de módulos idénticos en una construcción también agilizará los trabajos de montaje, pero sobretodo ahora se debe resaltar que con esta duplicidad se reducirá el número de planos de taller, pues al realizar el dibujo de una pieza, se pueden hacer otras que cumplan estrictamente con las mismas especificaciones sin necesidad de elaborar otros dibujos.

Los planos de taller deben contener:

- 1.- Localización, tipo y tamaño de todos los tornillos y soldadura, haciendo la distinción entre el trabajo realizado en el taller y el realizado en campo.
- 2.- Simbología de soldadura conforme a la A.W.S., o en caso de emplear otra, indicar su interpretación.

3.- Geometría detallada del elemento utilizando plantas, alzados y cortes, especificando:

- ▶ **Atiesadores**
- ▶ **Refuerzos**
- ▶ **Placas de conexión**
- ▶ **Angulos de conexión**
- ▶ **Barrenos, indicando tamaño, localización tipo estándar, sobredimensionados, alargados, cortos o largos**
- ▶ **Contraflechas**
- ▶ **Tolerancias y holguras.**

4.- Se debe de establecer una nomenclatura rigurosa para identificar a los elementos que sean estrictamente idénticos, por ejemplo: Larguero tipo uno L1.

Al realizar los planos de taller también se deben de tomar en cuenta aspectos como:

- a. **Condiciones de taller.- Su disposición en cuanto a maquinaria, equipo, herramienta y equipo disponible.**
- b. **Dimensiones máximas de las piezas, sobretodo si requieren de algún tratamiento especial como el galvanizado, pues las tinas no son de grandes dimensiones.**
- c. **Capacidad de traslado de las piezas terminadas.- Tomando en cuenta las dimensiones, peso y forma de las piezas que puedan dificultar esta operación de traslado.**

Existen ciertas ayudas que las empresas o departamentos encargados de elaborar los planos de taller realizan para agilizar, facilitar y normalizar la forma en que se hacen ciertos cortes, se distribuyen barrenos y se detallan conexiones, ver figuras 3.11 y 3.12

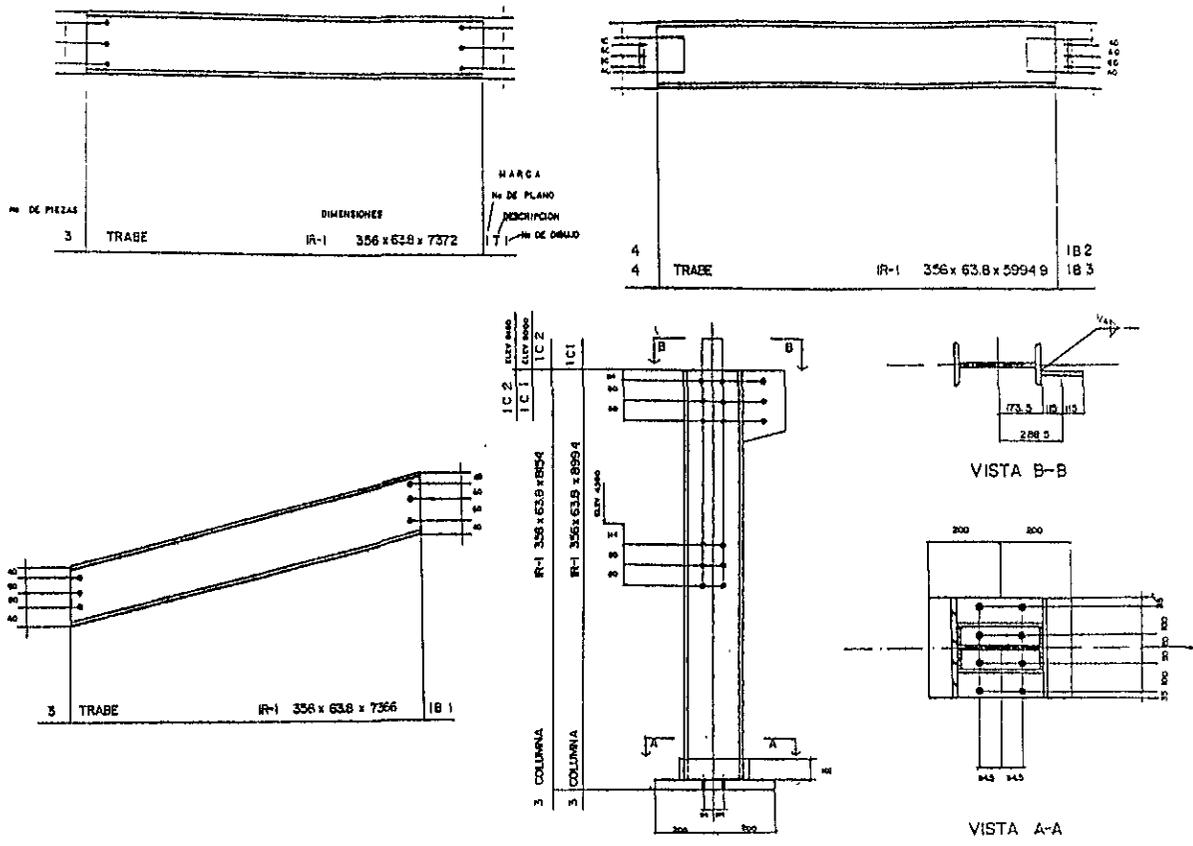
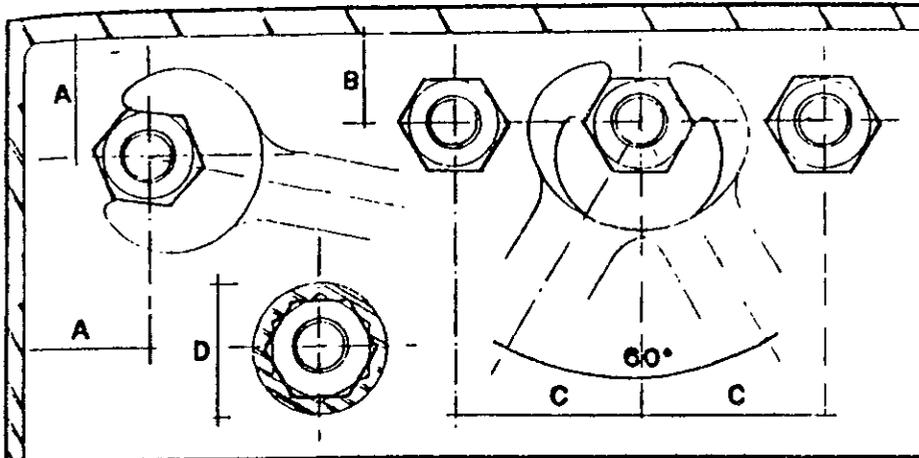


Figura 3.11 Plano de taller.

UBICACION DE TORNILLOS EN ESPACIOS REDUCIDOS



Ø TORNILLO	PARA LLAVE INGLESA ①				TALADRO	TALADRO DE IMPACTO	PARA LLAVE INGLESA ②			Ø TORNILLO
	A	B	C	D		D	A	B	C	
1/4	9/16	1/2	1	13/16			5/8	3/8	1	1/4
3/8	13/16	11/16	1 1/2	1 1/8			3/4	1/2	1 3/8	3/8
1/2	1	13/16	13/16	1 5/16			1 1/8	5/8	1 3/4	1/2
5/8	1 1/8	1	2 1/8	1 9/16	1 3/4		1 1/4	3/4	2 1/4	5/8
3/4	1 5/16	1 1/8	2 1/2	1 15/16	2 1/4		1 1/2	7/8	2 1/2	3/4
7/8	1 1/2	1 1/4	2 13/16	2 3/16	2 1/2		1 3/4	1	3	7/8
1	1 7/8	1 7/16	3 1/8	2 7/16	2 5/8		2	1 1/8	3 5/8	1
1 1/8	2	1 9/16	3 5/8	2 5/8	2 7/8		2 1/8	1 1/4	3 3/4	1 1/8
1 1/4	2 1/4	1 3/4	4 1/4	2 7/8	3 1/8		2 1/4	1 3/8	4 1/8	1 1/4
1 3/8	2 1/2	1 7/8	4 1/2	3 1/8	3 1/4		2 1/2	1 1/2	4 1/2	1 3/8
1 1/2	2 5/8	2	4 7/8	3 3/8	4 3/8		2 7/8	1 5/8	5	1 1/2
1 3/4	3	2 3/16	5 1/2		4 3/8		3 1/4	1 7/8	5 7/8	1 3/4
2	3 1/2	2 3/8	6 1/4		5		3 3/4	2 1/8	6 1/2	2

① PARA TUERCA HEXAGONAL PESADA

② PARA TUERCA HEXAGONAL ESTANDAR

	TALADRO DE IMPACTO	
	TAMAÑO DE TORNILLO	E
	5/8 — 1	2 1/8
	1 — 1 1/2	2 1/2

Figura 3.12 Tabla de ayuda.

A través del grado de detalle que se logra al realizar los planos de taller es muy fácil y más preciso determinar la cuantificación de una estructura de acero, pudiendo llegar a una determinación exacta hasta del número de tornillos a utilizar. Con los planos de taller se puede llegar a conocer el peso total de la estructura metálica con un buen grado de aproximación. Estos datos se pueden desglosar en el formato mostrado en la figura 3.13. Esta es una manera de especificar gráficamente la pieza; encontrando todos los datos de la pieza determinada, así como el proceso que se debe de seguir para su fabricación en el taller. Este formato puede pasar, junto con la pieza, a varias personas especializadas en realizar ciertas actividades específicas del proceso que se marca en el mismo hasta tener terminada la pieza y el trabajo que se deba realizar en ella en el taller.

ESTA AREA LIBRE SE DESTINARA PARA EL DIBUJO REPRESENTATIVO DE LA PIEZA QUE SE FABRICARA.

GENERALMENTE SE DIBUJA FUERA DE ESCALA Y CADA UNO DE LOS PUNTOS QUE SE REQUIERA ACOTAR, SI ES POSIBLE, TENDRA QUE REEFERENCIARSE AL EXTREMO SUPERIOR IZQUIERDO DEL DIBUJO.

P R O C E S O

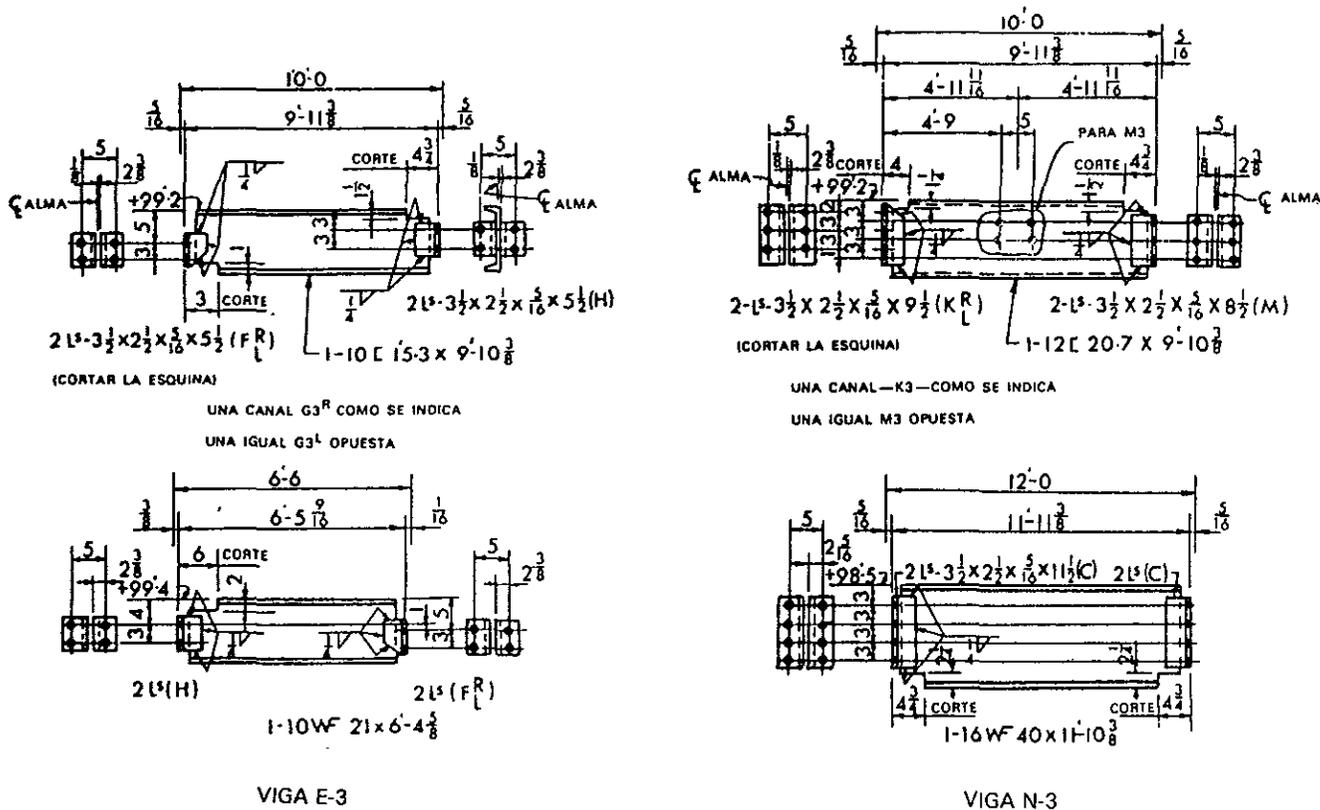
LUGAR																
FECHA	CONSUMIR	TRAZO	CORTE	PUNZON	PUNZON	CONTROL	ESTAMPADO	ESCOTEA DO	ESCOTEA DO	DOBLEZ	DOBLEZ	DESLO ME	SOLDA DO	GALVANI ZADO	ENDERE ZADO	
DIBUJO																
REVISO																
MARCA LOTE																

Figura 3.13 Formato para desglose de datos.

Como se mencionó en el capítulo II, los dibujos de taller serán responsabilidad total del contratista y deberán enviarse para revisión y aprobación, en caso necesario los dibujos en cuestión serán corregidos y enviados nuevamente para aprobación final. Un ejemplo de plano de taller se puede ver en la figura 3.14

Deberán incluirse en los dibujos de taller, como, mínimo los siguientes conceptos:

- ▶ Sistema de ejes generales
- ▶ Dimensiones generales de las piezas por fabricar tomando en cuenta su transporte y montaje
- ▶ Dimensiones detalladas de cada pieza, mostrando cortes, taladros y preparaciones.
- ▶ Nomenclatura de cada pieza
- ▶ Lista de materiales con el peso teórico de los elementos mostrados en los dibujos
- ▶ Todas las acotaciones en milímetros.



NOTAS

SOLDADURA DE LA CONEXION EN EL TALLER

HUECOS $\frac{1}{8}\phi$

PINTURA VER ESPECIFICACIONES

Figura 3.14 Dibujo de taller.

3.3 Control de calidad

La Dirección General de Normas (DGN) de la Secretaría de Comercio y Fomento Industrial, así como la Secretaría de Obras Públicas, el Departamento del Distrito Federal y la Comisión Federal de Electricidad, han traducido oficialmente y adaptado algunas normas internacionales a fin de que estas puedan ser aplicadas en las construcciones dando a las mismas la correcta interpretación que se requiere.

Los códigos fundamentales para los controles de calidad son los siguientes:

- 1.- Especificaciones y normas para los materiales de construcción.
- 2.- Especificaciones y normas para los procesos de soldar y construir, que incluyen:
 - a. Especificaciones para calificación de habilidad de los soldadores.
 - b. Especificaciones para los tipos de electrodos utilizados.
 - c. Especificaciones para los tipos de procesos de fabricar y conformar.
 - d. Especificaciones para los métodos de control tanto destructivos como no destructivos aplicables.
 - e. Especificaciones para las prácticas de ingeniería en acero, para aceptar o rechazar productos terminados.
 - f. Tolerancias y límites para aceptar o rechazar:
 - Imperfecciones
 - Desplomes
 - Descalibres

Prácticas vigentes

Las prácticas actualmente utilizadas para supervisar la construcción y erección de una estructura puede considerarse como comunes en cualquier proyecto de ingeniería. Estas abarcan una serie completa de controles que se inician desde la adquisición de los materiales.

Estos controles requieren de la solicitud por parte del proveedor, de certificados de calidad y de informes de laboratorio, señalando claramente los tipos de materiales y sus contenidos clasificados por elementos.

Asimismo debe indicarse claramente si llenan los requisitos señalados por las normas y códigos de la DGN en sus múltiples publicaciones, para cada uno de los materiales fabricados en el país.

En caso de no contarse con estos análisis o certificados de laboratorio provistos por el fabricante, es práctica común remover unas probetas, muestras, especímenes o ensayos para análisis de ingeniería experimental o de laboratorio.

Para ello, se recurre a diversos laboratorios privados y de Instituciones educativas como son: Universidad Nacional Autónoma de México, a través de su Instituto de Ingeniería, Instituto Politécnico Nacional, UPIICSA, DIRAC, Ingeniería experimental S.A., BATISA., sólo por mencionar algunos.

Como en muchos casos, las normas y códigos son una traducción y adaptación de sistemas extranjeros, algunas veces las limitaciones o requisitos de ellos, no son satisfechos por las condiciones locales.

Inspección en el taller

Es común el asignar inspector de tiempo completo a los talleres de fabricación de estructuras de acero, los cuáles están a cargo de verificar la calidad de los materiales, la habilidad de los soldadores y los procesos a los que los metales deberán ser sometidos a fin de no cambiar sus características metalúrgicas.

Los métodos de control utilizados para calificar y verificar cada uno de los procedimientos para ejercer el control de calidad dentro de un taller de estructuras de acero son los siguientes:

- 1.- Verificación de los materiales
- 2.- Calificación del equipo
- 3.- Calificación del metal de aporte
- 4.- Verificación de las dimensiones
- 5.- Inspección de líquidos penetrantes
- 6.- Ultrasonido
- 7.- Corriente magnética y de Eddy
- 8.- Radiografía.

Además de todo lo señalado, existen métodos especiales como estetoscopios industriales, y métodos de inspección visual.

Inspección del montaje

En el control de calidad del montaje de estructuras metálicas para equipos o plantas industriales, es de relevante importancia efectuar un levantamiento topográfico preciso de las condiciones que se tienen en cotas y ubicación de los dados, placas de sujeción o empotramientos que van a recibir el equipo o estructura.

Frecuentemente, en todas aquellas partes en donde interviene la obra civil para ejecutar las cimentaciones para posteriormente recibir las piezas metálicas, existe un elevado porcentaje de casos con discrepancia entre los ejes teóricos y los reales en campo.

Este levantamiento debe ser revisado tanto por el inspector de control de calidad como por el departamento de ingeniería de fabricante y del montador, ya que antes de iniciar el montaje deben resolverse los desajustes que se presentan, de lo contrario la geometría de la estructura se verá seriamente afectada.

En el control de calidad del montaje se llevan los mismos procedimientos señalados para fabricación, sin embargo, es poco común remover probetas o especímenes para laboratorios, dado lo complicado que resulta restituir estos ensayos. Todos los demás métodos de control son de uso común en los montajes.

Antes de salir del taller, todos los productos procesados deben llevar claramente colocado una identificación que señale su clave o denominación, además deben de llevar un membrete puesto por el equipo de control de calidad donde señale haber aceptado esta pieza por llenar los requisitos demandados por los códigos.

Esta práctica acelera el montaje y evita graves errores que se pueden cometer y han cometido en la transposición de elementos semejantes. En ocasiones ha sido necesario demoler y rehacer secciones completas de edificios donde ha sucedido por falta de identificación clara y visible en los elementos llevados al sitio para montaje.

Todas estas acciones en control de calidad deben ser comunicadas a las partes interesadas por medio de informes técnicos que deben de ser claros, precisos y breves, para ello existen ya diseñadas o se diseñan las formas adecuadas o necesarias para esta función.

Debe utilizarse siempre un lenguaje técnico pero entendible para que todas las personas que intervienen, tanto en el sector obrero, como en el sector técnico y administrativo.

Inspección y control de calidad

Al recibir la información de un proyecto determinado en el área de control de calidad, el personal de este departamento procede a revisar todas las especificaciones, requerimientos y pruebas de proyecto, estableciendo una relación de actividades a realizar y las fechas en que deben ejecutarse, que serán congruentes con el programa general de fabricación.

Antes de referirse a las actividades de inspección y verificación propiamente dichas, es importante resaltar, que como responsabilidades generales, control de calidad debe verificar con auxilio de mantenimiento, el buen estado de todas las instalaciones del taller como son:

- Voltajes de llegada de las máquinas
- Presión del aire de trabajo
- Geometría correcta de las máquinas y herramientas, escuadramientos, paralelismos y concentricidades.
- Verificación, y en su caso calibración periódica de los aparatos e instrumentos de medición, tanto los usados en taller como los del propio departamento, como son niveles ópticos, teodolitos, micrómetros, flexómetros aparatos de ultrasonido de partículas entre otros.

Lo referente al control de calidad y aceptación de las estructuras son aspectos de vital importancia para el fabricante y el cliente final y se deben acordar y definir desde la elaboración de las especificaciones básicas del proyecto, ya que las memorias de cálculo se ven afectadas por los factores de servicio y de seguridad que por normas deben considerarse y estos factores a su vez estarán en función del tipo de soldaduras, uniones o juntas preseleccionadas y de los niveles de inspección.

Ocurre con frecuencia que las normas de inspección no se especifican en el proyecto o en el contrato correspondiente originándose con esto muchos problemas de criterio de aceptación, por consiguiente, es muy importante establecer como referencia, los criterios de inspección a seguir, referidos siempre a una norma reconocida.

En estructuras metálicas en general, las inspecciones que deben realizar por sistemas, un departamento de control de calidad son las siguientes:

1. Revisar que las órdenes de compra de materiales incluyan los requerimientos de calidad, que son especificaciones del material y las certificaciones de colada y de inspección por parte del proveedor.
2. Recepción de los materiales, verificando dimensiones y certificados; cuando sea necesario ultrasonar placas de más de 3/4" de espesor, esto puede subcontratarse o hacerse en el propio taller o bien por el proveedor.
3. Durante el proceso de fabricación verificar en el habilitado y en el armado todas las medidas y geometría de las piezas, incluyendo las preparaciones para soldadura o los trazos para barrenado.
4. La soldadura, es sin lugar a dudas el proceso más delicado y que requiere de mayores niveles de inspección y de conocimientos por parte del inspector, como ya se ha mencionado los requerimientos de inspección de soldadura deben establecerse desde la realización del proyecto ya que de esto depende el establecer por parte del taller, los procedimientos de soldadura que deben seguirse, estos procedimientos deben ser calificados y aceptados por control de calidad.

Una vez aplicada la soldadura, los procedimientos que se siguen, de acuerdo con el diseño de la estructura, son básicamente:

- ▶ Inspección visual
- ▶ Líquidos penetrantes
- ▶ Partículas magnéticas
- ▶ Ultrasonido
- ▶ Radiografiado.

Inspección visual.- Con la inspección visual se detectan aspectos superficiales de la soldadura, como son continuidad del cordón, rechupes, escasez o exceso de material de aporte, tamaño de la corona, escoria superficial, poros superficiales y en general geometría del cordón y aspecto en general; algunos de estos defectos superficiales pueden reflejar un posible problema interno.

Líquidos penetrantes.- Los líquidos penetrantes ayudan a detectar defectos superficiales que normalmente el ojo humano no alcanza a captar

como son fracturas, microfisuras, poros y concentraciones de poros, se requiere un líquido colorante, un revelador y un removedor.

Partículas magnéticas.- La inspección por partículas magnéticas detectan el mismo tipo de defectos que los líquidos penetrantes, con la ventaja de que los puede detectar superficial y subsuperficialmente hasta 5 mm de profundidad, se requiere de un aparato conocido como magnetoscopio, que entre dos electrodos genera un campo magnético sobre la soldadura y en ese campo magnético se coloca polvo magnético, cualquier defecto de la soldadura se refleja en la discontinuidad de polvo adherido.

Ultrasonido.- Para la mayor precisión de la inspección de una soldadura se puede recurrir al ultrasonido que consiste en un aparato que emite a través de palpadores una onda sonora que atraviesa al elemento que está inspeccionando, el recorrido de la onda se registra en una pantalla a una escala preseleccionada en función del espesor de la pieza; cualquier defecto que interrumpe la onda sonora se refleja en la pantalla pudiéndose determinar localización, tamaño y tipo de falla, con el ultrasonido se puede detectar toda clase de defectos internos, como son fracturas, porosidad, inclusiones de escoria y falta de penetración que son los defectos que se presentan en las soldaduras.

Radiografiado.- Es el proceso más caro y más sofisticado, ya que requiere además de aparatos con un costo elevado, personal calificado y especializado de autorizaciones y controles de la Comisión Nacional de Energía Nuclear por el problema de radiaciones que generan, los defectos que se detectan son los mismos que en el caso anterior, con la ventaja de que se pueden analizar en conjunto tramos largos del cordón de soldadura. Los aparatos y fuentes que se utilizan son los rayos X, el iridio y el cobalto, se requiere también de un cuarto de revelado y una pantalla lectora del placas.

Independientemente del proceso de inspección que se especifique es muy importante hacer hincapié en que los resultados de la inspección, deben interpretarse por los inspectores y los que aceptarán el trabajo, jugando un papel muy importante el criterio y la experiencia de ambas partes, precisamente para normar esos criterios, se establecieron las normas o estándares y en este caso las que más se utilizan son los del A.W.S. D1.1 sección 6, que se refiere a la inspección radiográfica señalando los requerimientos para la técnica.

Cuando es necesario hacer una reparación en soldadura, el proceso de reparación paso a paso debe establecerse y calificarse también por control de calidad pasando la reparación por la inspección que se haya determinado.

Aún cuando estas son de uso común en el taller durante la fabricación, también son aplicables en el campo durante el montaje, en muchas ocasiones se especifican soldaduras y barrenados en campo que necesariamente deben pasar por algún proceso de inspección que nada impide sean los mismos que se siguen en taller.

La parte final del control de calidad en el taller lo constituye la verificación dimensional y geométrica de las piezas, así como el constatar el cumplimiento con la norma de limpieza cuando así se especifique la comprobación de la adherencia y el espesor de los recubrimientos protectores de las piezas.

Para una mayor seguridad en el transporte, debe de inspeccionarse el estado de las piezas en el medio de transporte que se haya seleccionado.

Pintura

Después de inspeccionadas y aprobadas, y antes de salir del taller, todas las piezas que deban pintarse se limpiaran cepillándolas vigorosamente, a mano, con cepillo de alambre, o con chorro de arena, para eliminar escamas de laminado, óxido, escoria de soldadura, basura y, en general, toda materia extraña. Los depósitos de aceite y grasa se quitan por medio de solventes.

Las piezas que no requieran pintura de taller se deben limpiar también siguiendo procedimientos análogos a los indicados en el párrafo anterior.

A menos que se especifique otra cosa las piezas de acero que vayan a quedar cubiertas por acabados interiores del edificio no necesitan pintarse, y las que vayan a quedar ahogadas en concreto no deben pintarse. Todo el material restante recibirá en el taller una mano de pintura anticorrosiva, aplicada cuidadosa y uniformemente sobre superficies secas y limpias, por medio de brocha, pistola de aire, rodillo o por inmersión.

El objeto de la pintura de taller es proteger el acero durante un período de tiempo corto, y puede servir como base para la pintura final, que se efectuará en obra.

Las superficies que sean inaccesibles después del armado de las piezas deben pintarse antes.

Todas las superficies que se encuentren a no más de 5 cm de distancia de las zonas en que se depositaran soldaduras de taller o de campo deben estar

libres de materiales que dificulten la obtención de soldaduras sanas o que produzcan humos perjudiciales para ellas.

Cuando un elemento estructural esté expuesto a los agentes atmosféricos, todas las partes que lo componen, deben ser accesibles de manera que puedan limpiarse y pintarse.

CAPITULO IV UNIONES Y CONEXIONES EN ELEMENTOS ESTRUCTURALES DE ACERO

En la fabricación de estructuras metálicas se requiere de uniones entre los deferentes elementos que las forman, a fin de dar la continuidad necesaria, proporcionando nudos rígidos o articulados.

Las conexiones en una estructura van a unir principalmente vigas y columnas, estas conexiones pueden ser rígidas para transmitir fuera cortante y momento flexionante, también pueden ser simples sin transferencia de momentos o semi-rígidas con características intermedias de las anteriores.

Las conexiones se realizan a base de elementos sencillos para que resulten económicos y fáciles de fabricar.

En edificios, las conexiones que se utilizan comúnmente son: entre vigas, entre vigas y columnas y entre columnas; la selección del tipo de sujetador que debe de usarse, implica la consideración de muchos factores, entre los cuales se encuentran los requisitos de las normas y códigos locales de construcción, economía relativa, preferencias del proyectista, disponibilidad de buenos soldadores o remachadores, condiciones de carga, preferencias del fabricante y equipo disponible.

4.1 Uniones y conexiones

Para el detalle en estructuras de acero, debe tenerse presente como se han de conectar los diversos elementos de la estructura para lograr una conexión simple, rígida o semirígida, según las consideraciones del diseño.

Conexiones simples

Las conexiones simples son aquellas que permiten girar los extremos de vigas y no permiten momentos flexionantes a los extremos de conexión. Esta conexión se emplea en todo tipo de elemento que requiere estar simplemente apoyado.

Una conexión simple de una viga a columna, puede hacerse con ángulos de asiento que pueden ir soldados o atornillados. El espesor del ángulo de asiento debe ser no mayor de 1/4" para que haya buena flexibilidad y permita el giro en los extremos. Nada en la conexión debe obstruir esta deformación. Si el espesor del ángulo es mayor, ocasiona una conexión semirígida, ver figura 4.1

El dimensionamiento de los ángulos de asiento, considera las fallas que se pueden presentar en el ángulo o en la viga que sostiene; como puede ser: El

aplastamiento del alma de la viga apoyada, su pandeo ó la falla por flexión del ángulo, por tener un espesor escaso.

La reacción R (de la figura), ocasiona un esfuerzo de compresión que origina el aplastamiento del alma si el ángulo de asiento es muy estrecho, ó si la reacción R es de una magnitud demasiado grande para el espesor del alma.

Se supone que el esfuerzo de compresión se distribuye en el alma de la viga sobre un ancho que queda limitado por el extremo de la viga y una línea a 45', trazada desde el extremo de la longitud de apoyo, ver figura 4.2

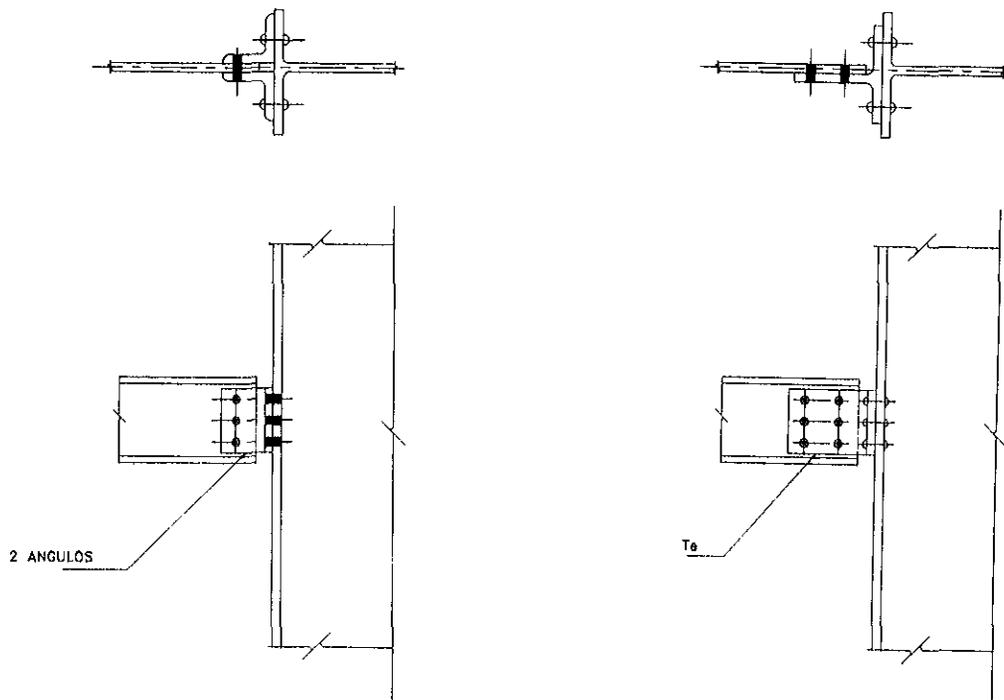


Figura 4.1 Conexión simple.

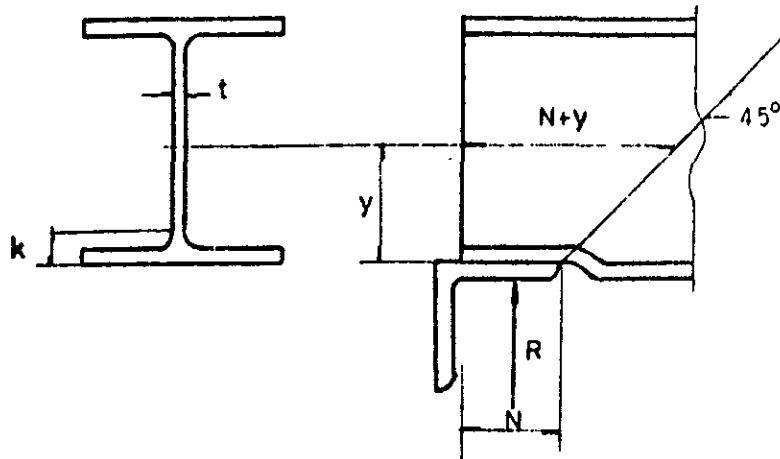


Figura 4.2 Detalle de comportamiento de una conexión simple.

Conexiones semirígidas

Las conexiones semirígidas deben su uso a que pueden lograrse módulos de sección menores respecto a una conexión simple. Resulta así una sección económica y más ligera.

La conexión semirígida transfiere parte de la capacidad total del momento desarrollado en los miembros conectados. Para el diseño de estas conexiones debe considerarse un porcentaje del momento del empotramiento total; este porcentaje se llama rigidez de la conexión.

La siguiente figura muestra dos tipos de conexiones semirígidas comunes. Para una conexión semirígida atornillada, el ángulo del alma resiste la fuerza cortante, mientras que los ángulos de unión toman el momento flexionante, ver figura 4.3

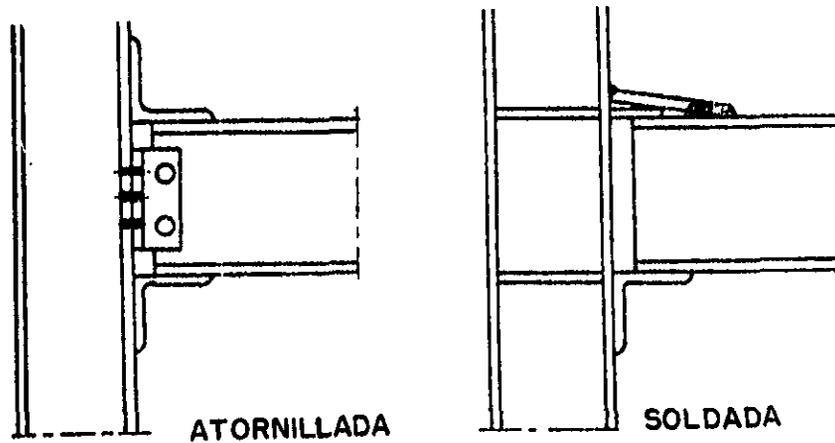


Figura 4.3 Conexiones semirígidas.

Conexiones rígidas

Las conexiones rígidas desarrollan teóricamente la capacidad total del momento de los miembros conectados. Estas conexiones al transferir el momento a la columna, ocasiona continuidad total a la estructura, ver figura 4.4

De la figura 4.4, las conexiones 1 y 3 requieren de ángulos y tes de espesores mayores que en conexiones simples; comparando con la conexión soldada es preferible a la conexión 1 y 3, si no se encuentra limitada por las condiciones de montaje. La figura 4 es una conexión rígida que utiliza una placa de empalme soldada en el extremo de la viga. Es conectada por medio de tornillos y es una conexión que puede fabricarse en el taller y montarse en el campo, con sólo utiliza el equipo de apriete para tornillos.

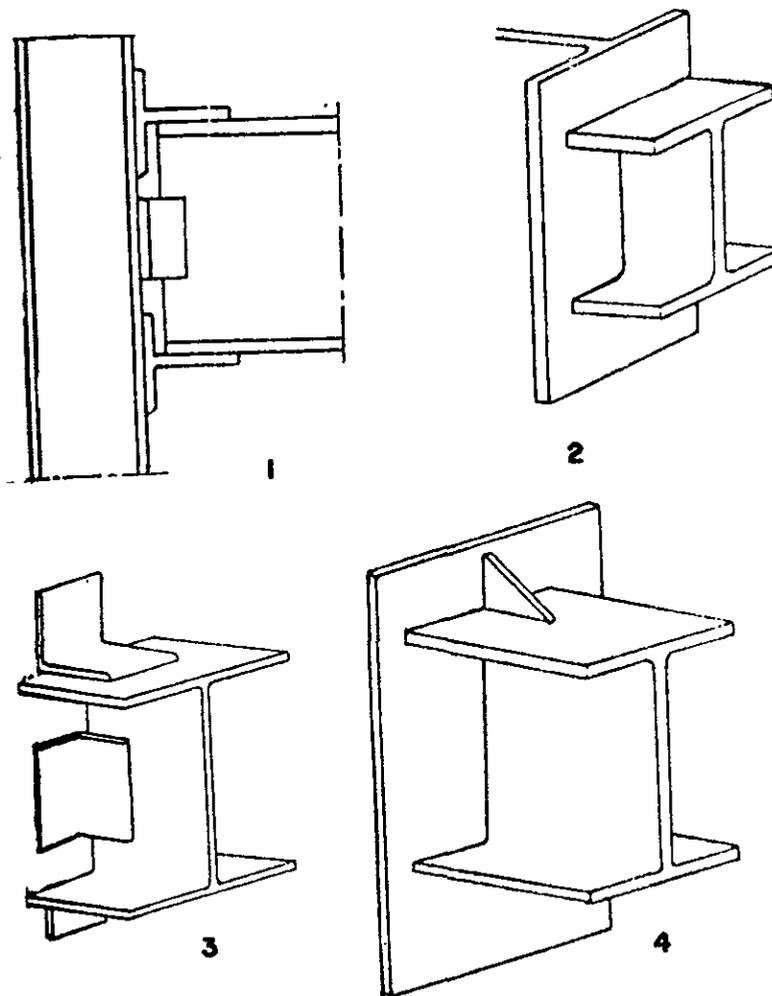


Figura 4.4 Conexiones rígidas.

Para lograr una conexión se tienen cuatro medios principales:

- Remachadas
- De pasador
- Soldadas
- Atornilladas

Las conexiones a base de remaches, pasadores y tornillos efectúan esencialmente la misma función al transmitir las cargas de un elemento a otro y por lo tanto se sujetan a consideraciones de análisis y de diseño similares.

Remaches.- Se le llama remache a una pieza de sección transversal circular de acero dúctil forjado en el sitio, para unir entre sí varias piezas de acero. El remache se fabrica con una cabeza especial que se denomina

cabeza manufacturada, se instala mediante una pistola remachadora, la cual forma otra cabeza durante la instalación. El procesado completo se llama remachado.

Los remaches se clasifican según la manera y el lugar donde se colocan. Por ejemplo, la mayoría de los remaches que se usan en trabajos de acero estructural se colocan en caliente, ya sea en el taller o en el campo, por lo que se les conoce como remaches de campo o de taller colocados en taller o en campo.

Los remaches se calientan en un horno o fragua de gas, o bien en un calentador eléctrico, ya caliente se inserta en los agujeros punzonados o barrenados de las piezas de acero que se van a conectar, es aquí donde la pistola remachadora forma la cabeza mientras que ejerce presión en el lado opuesto para mantener el remache en su sitio. Como el remache caliente está en estado plástico, usualmente se expande bajo la presión del martillo y llena totalmente el agujero; después, al enfriarse tiende a contraerse tanto longitudinalmente como transversalmente.

De este modo, los remaches hincados en caliente pueden quedar de un tamaño menor que el agujero, aunque en muchos casos el encogimiento es imperceptible.

Por otra parte, los remaches colocados en frío se instalan a temperatura ambiente, y requieren de grandes presiones para formar la cabeza y completar el proceso.

Los diámetros nominales de los remaches para propósitos estructurales varían de 1/2" a 1 1/2" con incrementos de 1/8", el tamaño que se usa más frecuentemente en estructuras para edificios es el de 3/4".

Los remaches utilizados en la construcción, generalmente se fabrican de acero grado suave, esto debido a que su colocación se hace sobre todo en caliente, y se requiere que no se vuelvan frágiles cuando se calientan, se martillen o forjen con la pistola remachadora al formar la cabeza.

En otros tipos de conexiones existen mayores ventajas de economía, facilidad de colocación y mejor funcionamiento estructural; los remaches son usados para conexiones en taller y rara vez en campo.

Existen dos clasificaciones de acero A.S.T.M. para remaches usados en estructuras y son:

A-502, GRADO 1.- Son de bajo contenido de carbono (alrededor de 8%) y son menos resistentes que el acero estructural al carbono ordinario, además de tener mucho más ductilidad. Estos se usan para la mayoría de los trabajos de estructuras remachadas. Quizás la razón de su uso frecuente, sin considerar la resistencia del acero, es el hecho de que estos son más fáciles de manejar que los de alta resistencia.

A-502, GRADO 2.- Son de mayor resistencia que los anteriores por su mayor contenido de carbono, y fueron diseñados para aceros de alta resistencia, disminuyendo así el número de remaches y por lo tanto se requieren placas de unión más pequeñas. En la tabla siguiente se proporcionan los esfuerzos permisibles que dan algunas especificaciones para remaches.

CONDICION	R.C.E.M.	A.I.S.A.C.	A.A.S.H.O.	A.R.E.A.
TENSION	1400	1400	-----	-----
CORTANTE	1050	1050	950	950
APLASTAMIENTO	1.35 fy*	1.35 fy*	2800	1970** 2530***
TENSION	1970	1970	-----	-----
CORTANTE	1400	1400	1400	0.75 fy*
APLASTAMIENTO	1.35 fy*	1.35 fy*	2800	fy**

* Esfuerzo de fluencia de la parte conectada.

** Remache a corte simple.

*** Remache a corte doble.

Figura 4.5 Esfuerzos permisibles para remaches.

En la actualidad el uso de remaches en las estructuras metálicas es casi nulo, ya que la unión de elementos estructurales se hace mediante uniones con soldadura o tornillos de alta resistencia. Por esta razón se tratará más ampliamente y por separado lo referente a conexiones soldadas y atornilladas.

Los pasadores para propósitos estructurales se hacen de acero estructural al carbono, forjado y maquinado a dimensiones exactas, a veces se emplean pasadores laminados en frío con superficies adecuadas, especialmente en acero de aleación.

Los diámetros más comunes de los pasadores estructurales varían de 1 1/2" a 2", aunque hay tamaños mayores disponibles, hasta 24".

El tipo más común de pasadores tiene extremos roscados y dos tuercas remetidas, atornilladas en los extremos para mantenerlo en su sitio.

Para pasadores mayores de 10" de diámetro, es preferible usar un perno largo que pase a través de él y de unas tapas remedidas, fijándolos de esta manera entre sí, esto elimina el uso de grandes tuercas de cierre. Para pasadores más pequeños, que llevan cargas ligeras, puede forjarse una cabeza en un extremo e insertar una chaveta en el otro, o bien pueden usarse dos chavetas, una en cada extremo, ver figura 4.6

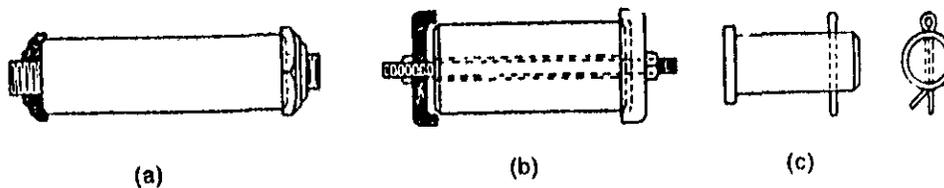


Figura 4.6 Tipos de pasadores: a) con tuercas remedidas, b) con tapa y perno y c) con chaveta.

4.2 Soldadas

La sociedad americana de soldadura (A.W.S.) ofrece la siguiente definición:

Soldadura es la unión de piezas metálicas, con o sin material de aporte, utilizando cualesquiera de los procedimientos generales siguientes:

a) Aplicando presión exclusivamente.

b) Calentando los materiales a una temperatura determinada con o sin aplicación de presión.

Los métodos para soldar se clasifican en dos categorías:

- ▶ Soldaduras con fusión: consisten en el calentamiento de dos piezas de metal hasta que se derritan y se fundan entre si.
- ▶ Soldaduras sin fusión: consiste en calentar los metales hasta una temperatura inferior a su punto de fusión y unirlos con un material de aporte fundido.

Actualmente el uso de conexiones con soldadura sin fusión es más común debido al alcance que ha tenido en lo que se refiere a su efectividad. Los procesos de soldadura con mayor aplicación se pueden ver en la figura 4.7

Grupo de procesos de soldadura	Nombre técnico del proceso	Nombre que reciben en el medio industrial mexicano	Símbolo de identificación
Soldadura con arco eléctrico	Arco metálico protegido	-Soldadura eléctrica	SMAW
	Arco metálico y gas	-Electrodo revestido -MIG -De carrete -Semiautomático	GMAW
	Arco de tungsteno y gas	-TIG -Argón -Tungsteno	GTAW
Soldadura con arco eléctrico	Oxiacetileno	-Autógena	OAW
	Soldadura fuerte con soplete	-Latón -Plata -Baja temperatura -Falsa soldadura dura	TB
	Soldadura blanda	-Plomo estaño -Falsa soldadura blanda	TS
Por resistencia eléctrica	Soldadura por puntos	-Con punteadora	RSW

Figura 4.7 Procesos de soldadura.

La soldadura, en posiciones incómodas o diferentes a la horizontal significa, simplemente, que la unión que se va a soldar no está colocada en una posición plana. Hay cuatro posiciones básicas para soldar.

Soldadura plana: El metal de soldadura se deposita sobre el metal que se va a soldar y este sirve como soporte.

Soldadura vertical: El metal que se va a soldar actúa solo como soporte parcial y el metal de soldadura que ya se ha depositado se debe de utilizar como ayuda.

Soldadura horizontal: Igual que en la soldadura vertical, el metal que se va a soldar, solo da aporte parcial y el metal de soldadura que ya se ha depositado se debe utilizar como ayuda.

Soldadura sobre la cabeza: El metal que se va a soldar solo aporta ligeramente el metal de soldadura fundido.

Estas posiciones se utilizan para todos los procesos de soldadura y siempre son las mismas. La soldadura en si no cambia según la posición es decir, una unión a escuadra sigue siendo una unión a escuadra, ya sea que se haga en posición plana, vertical o sobre cabeza. El cordón y la costura también son los mismos, la única diferencia es la posición en la cual se deposita el metal de la soldadura, ver figura 4.8 y 4.9

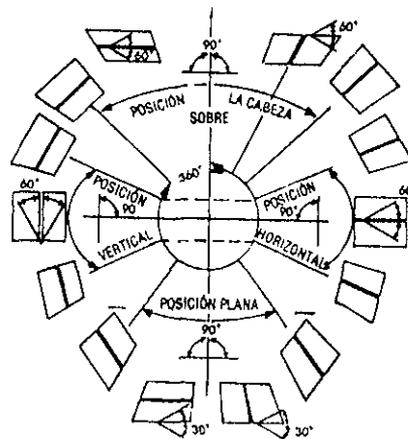
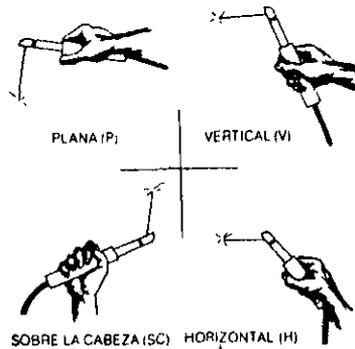


Figura 4.8 Posiciones básicas para soldar.

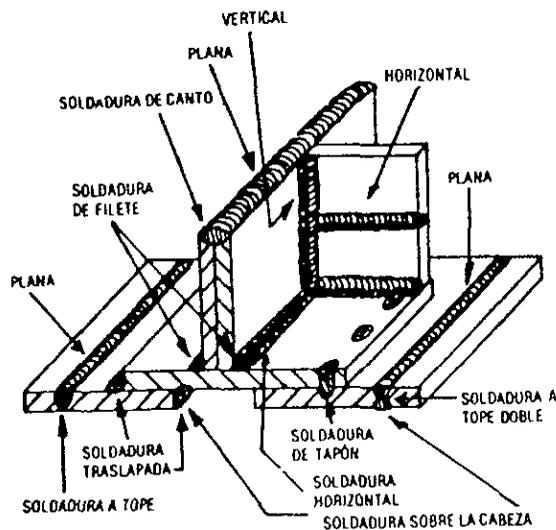


Figura 4.9 Soldaduras y posiciones.

A continuación se describen los diferentes procesos de soldadura con mayor aplicación.

Soldadura con arco eléctrico

Tanto la soldadura de arco como la de gas son permisibles para conectar miembros de acero estructural; en la construcción de edificios se utiliza por lo general la soldadura de arco.

Para establecer un circuito de soldadura, debe conectarse con una fuente de energía eléctrica, como se muestra en la siguiente, ver figura 4.10

Las partículas de metal fundido de electrodo fluyen hacia el metal base, también fundido, y al enfriarse se unen a los miembros que se están conectando.

Como resultado, el metal base se funde en el punto en el que lo toca el arco eléctrico, y el electrodo de igual manera se funde y se convierte en material de aporte, ver figura 4.11

Para mantener el arco estable y constante, se incorporan ciertas sustancias químicas en los recubrimientos de los electrodos, los que ayudan a contener y a dirigir el arco, sirviendo también para proteger el metal de aporte fundido del contacto con el aire mientras aquel pasa a través del arco.

La resistencia que existe en el espacio de un arco eléctrico crea el calor que el soldador utiliza para fundir el metal. La máquina de soldar o fuente de energía, puede ajustarse para entregar esta, en la capacidad y tipos correctos, al extremo del electrodo. El operador de la máquina de soldar debe dirigir el arco en el punto correcto de la pieza de trabajo, mantener el arco con la longitud adecuada y moverlo al paso apropiado para obtener los resultados deseados.

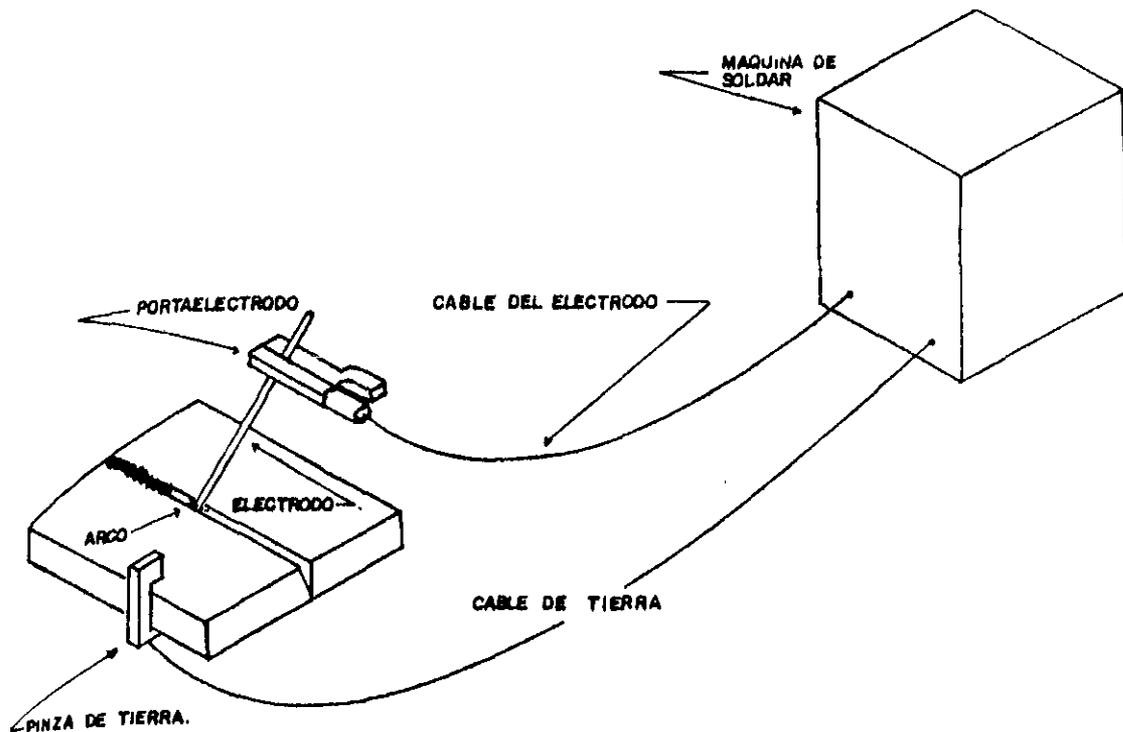


Figura 4.10 Elementos básicos de las soldaduras de arco eléctrico.

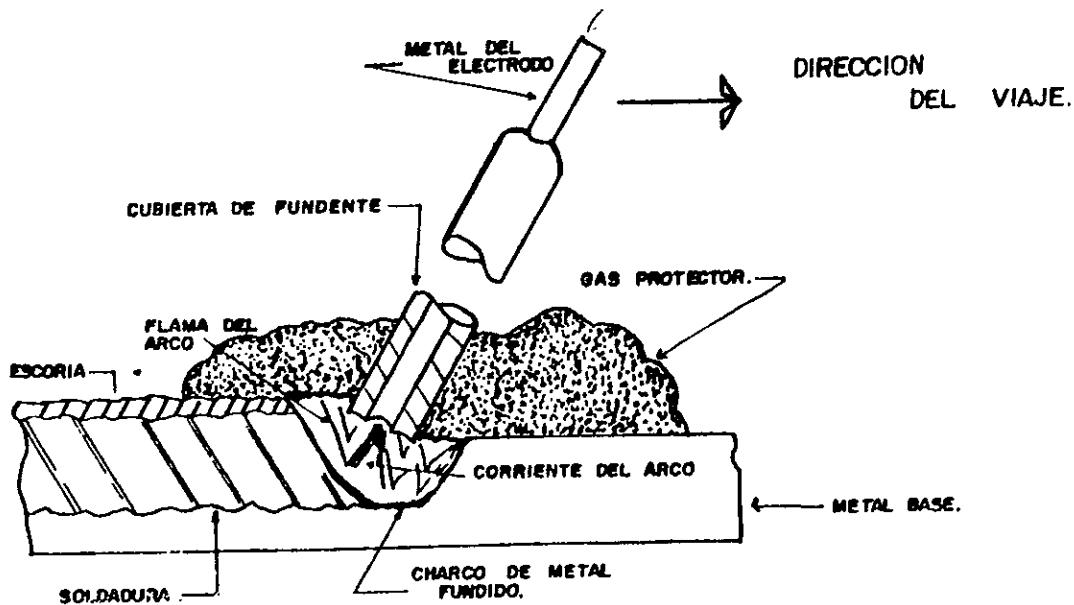


Figura 4.11 Ejemplos del paso de material de aporte al metal base y la atmósfera que se crea.

Soldadura con arco de carbón (ARCAIR)

En este método se establece un arco entre el electrodo de carbono y el metal base, o bien, entre el arco de carbones gemelos, entre los dos electrodos de carbón.

El metal de aporte tiene la presentación de una varilla, generalmente recubierta con fundente, el procedimiento es prácticamente el mismo que la soldadura oxiacetilénica.

Un problema importante que presenta esta soldadura es la estabilización del arco eléctrico. El uso del fundente ayuda a este problema, como también ayuda la polaridad invertida en el método de un solo electrodo de carbón. El mejor de estabilización del arco consiste en incluir un solenoide en uno de los en uno de los portaelectrodos de carbón. La fuerza magnética del solenoide ayuda a comprimir el arco conservar la punta soldadora.

Con el desarrollo de otros métodos de soldadura, el arco de carbón a caído en desuso. Pero con frecuencia se combina un dispositivo de arco de un sólo carbón, con una línea de aire a presión, a este método se le conoce como Método de Arco de Carbón de Aire. El intenso calor funde el metal, y el aire lo dispersa con su sople, produciendo el corte, ver figura 4.12

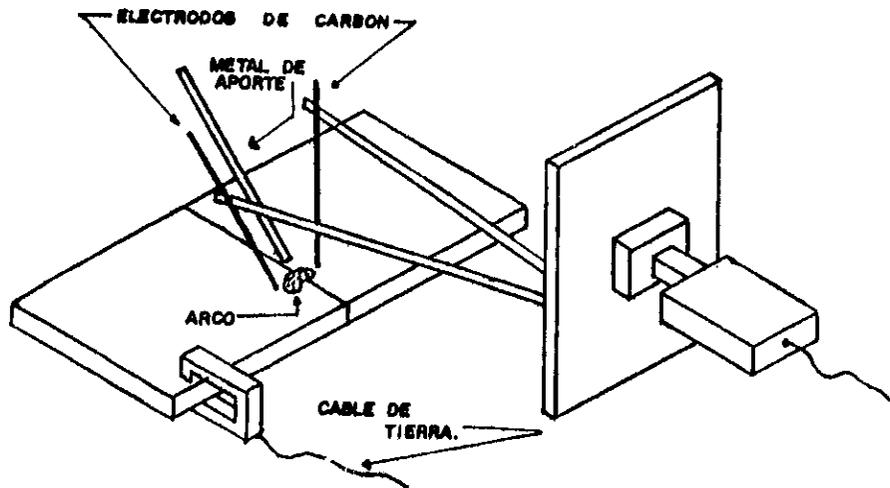


Figura 4.12 Soldadura de arco con carbones gemelos

Soldadura de arco metálico protegido (SMAW)

El proceso principal de soldadura es el arco metálico protegido, con electrodos revestidos de fundente, ver figura 4.13

En este proceso, el arco acarrea en realidad pequeñísimos glóbulos de metal fundido, procedentes de la punta del electrodo hacia la zona fundida que se forma sobre la superficie de la pieza de trabajo.

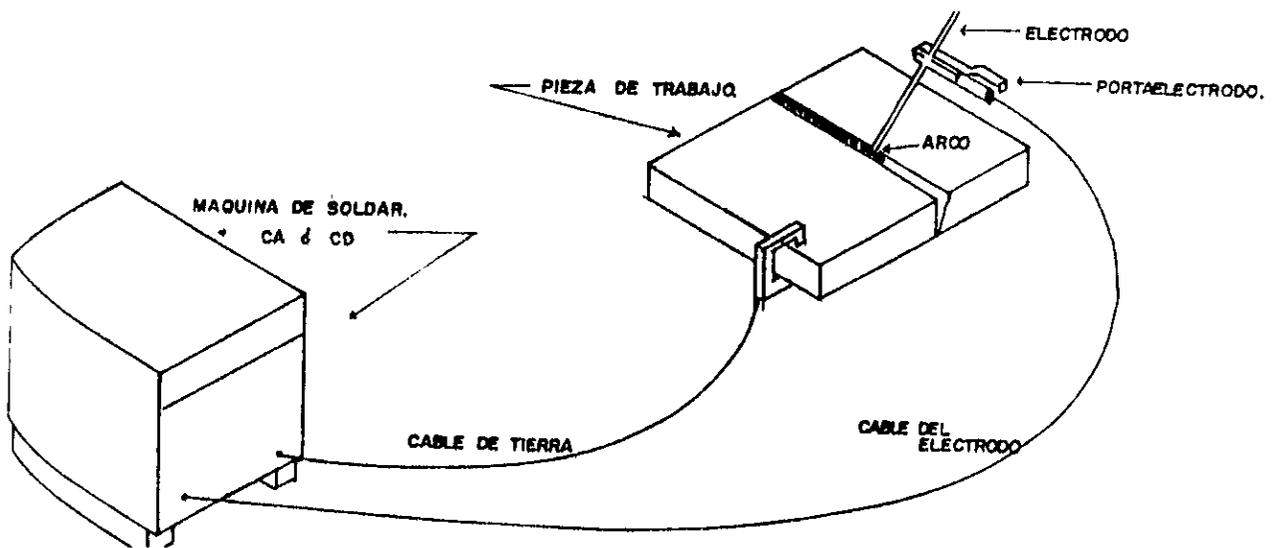


Figura 4.13 Disposición de elementos básicos para soldadura de arco eléctrico.

El principio clave es la protección, la cual se obtiene por la descomposición del recubrimiento del electrodo en el arco. El recubrimiento desempeña tres funciones principales.

- a. La creación de una atmósfera inerte que protege el metal fundido del contacto con el oxígeno y el nitrógeno (otros contaminantes) del aire.
- b. La adición desoxidantes o limpiadores para refinar la estructura granular del metal de la soldadura.
- c. La formación de una película de escoria, de endurecimiento rápido, que protege la zona fundida de soldadura.

Existe un proceso especializado y es la soldadura de arco metálico con núcleo de fundente, en el cual es un alambre hueco relleno de fundente alimentado en forma continua. La composición y la función del fundente son en esencia, las mismas en el caso del electrodo recubierto, ver figura 4.14

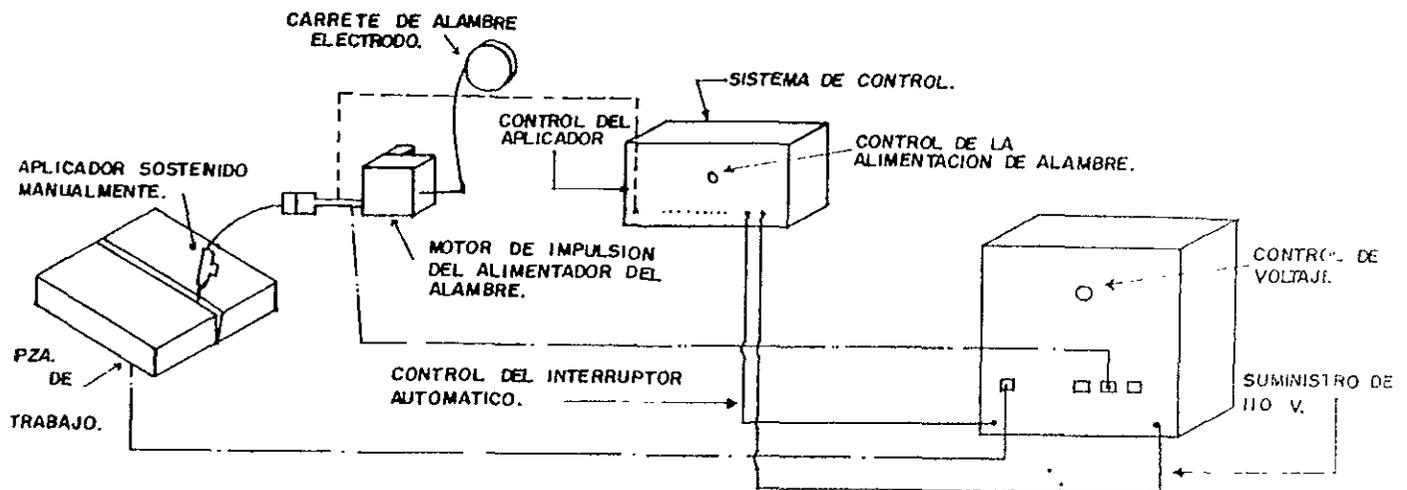


Figura 4.14 Esquema del método de soldadura de arco metálico utilizando electrodo con núcleo fundente.

Soldadura con arco metálico y gas (GMAW)

El proceso GMAW (también se le conoce como MIG en inglés, metal y gas inerte), es en esencia, un proceso de corriente directa con polaridad invertida, en el cual el electrodo combustible, sólo y desnudo, es protegido con una atmósfera protectora proporcionada en forma externa (Bióxido de carbono, mezclas de argón y bióxido de carbono, o de gas a base de hilo).

Existen dos métodos de aplicación, el primero para todas las posiciones, en el que se utiliza una pistola movida a mano, y el segundo de cabeza automática, que se utiliza primordialmente para la soldadura en posición plana.

-Método de arco de rocío: utiliza electrodos de 0.045 a 0.125 plg.

-Método de corto circuito: utiliza electrodos de 0.020 a 0.450 plg.

En estos métodos el arco está establecido todo el tiempo; razón por la cual en el método de arco de rocío produce un depósito pesado de metal de aporte y debe restringirse para soldar en una sola pasada o en varias, en posición plana u horizontal, y en conjuntos soldados de 1/8 de plg. de espesor o más gruesos.

El método de corto circuito es adecuado para soldar secciones delgadas, en cualquier posición de aplicación, ver figura 4.15

Cabe mencionar que tiene ventajas sobre la soldadura con arco convencional, ya que utiliza un rollo de alambre de tal forma que se puede soldar sin detenerse a cambiar de electrodo, la velocidad es mayor, de manera que se puede hacer mayor cantidad de trabajo. Es una soldadura que produce escoria, la zona fundida queda totalmente limpia, el alambre o electrodo continuo se convierte en su totalidad en material de aporte y por último este tipo de soldadura tiene una mayor penetración de las convenciones.

Soldadura con arco de tungsteno y gas (GTAW)

El proceso GTAW (también conocido como TIG, tungsteno y gas inerte) utiliza un electrodo de tungsteno prácticamente inconsumible y una atmósfera protectora de gas inerte suministrada en forma externa, generalmente de helio, argón o una mezcla de ambos. Las técnicas para soldar por medio de este proceso son similares a las que requieren para la soldadura con gas combustible; se usa a mano para manipular el soplete y la otra para alimentar el metal de aporte.

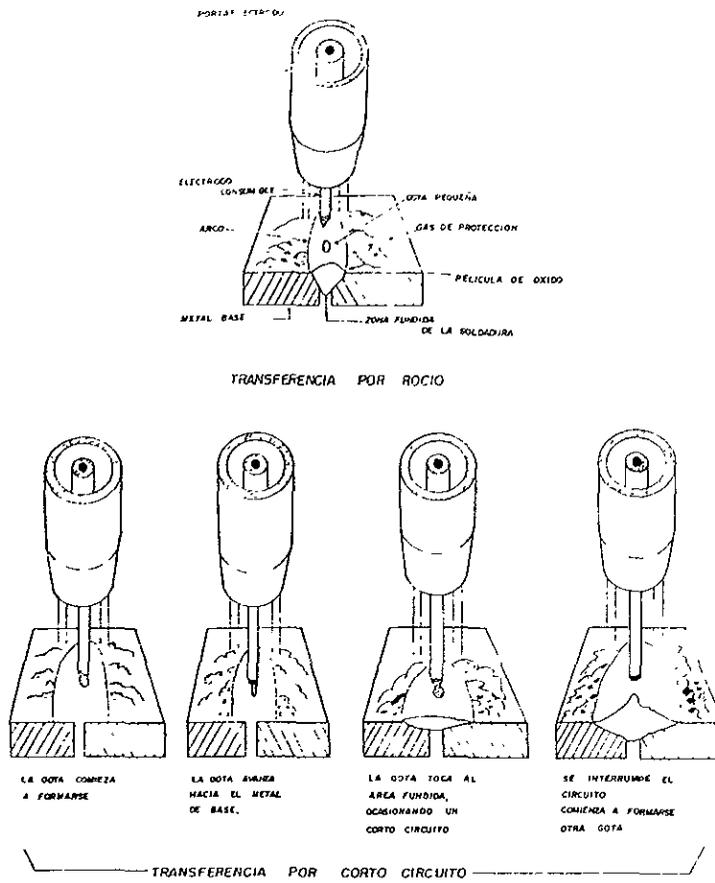


Figura 4.15 Soldadura de arco metálico y gas (GMAW).

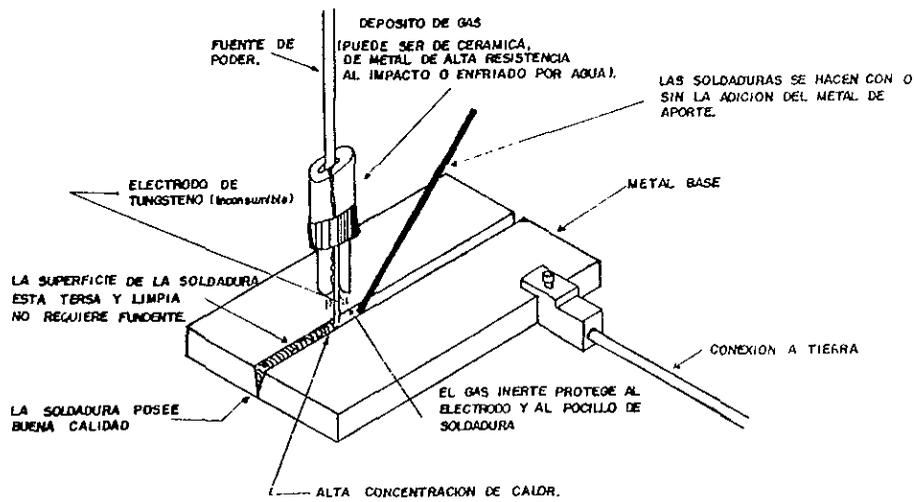


Figura 4.16 Soldadura de tungsteno y gas.

La alta densidad de corriente eléctrica producida por este proceso nos permite soldar a mayor velocidad, y obtener mayor penetración que con la soldadura y gas combustible o con la de arco metálico protegido. Se pueden obtener soldaduras de calidad excepcional y depende directamente del ajuste de equipo y de la apropiada preparación del metal base (limpieza). Dicho proceso puede ser manual, semiautomático o automático, ver figura 4.16

La soldadura por resistencia se ubica dentro de los procesos de soldadura sin fusión, lo cuál significa que el metal base se va a utilizar no se funde.

Esta se realiza mediante un grupo de procesos en el cual se genera el calor necesario para soldar por la resistencia de ambas partes, es decir de la soldadura y del metal base al paso de la corriente.

Grupos de procesos:

- Soldadura por puntos
- Soldadura de costuras por rodamiento
- Soldadura de partes salientes
- Soldadura por arco con presión
- Soldadura a tope con recalado

En la figura 4.17 se muestra los diferentes procesos de soldadura por resistencia.

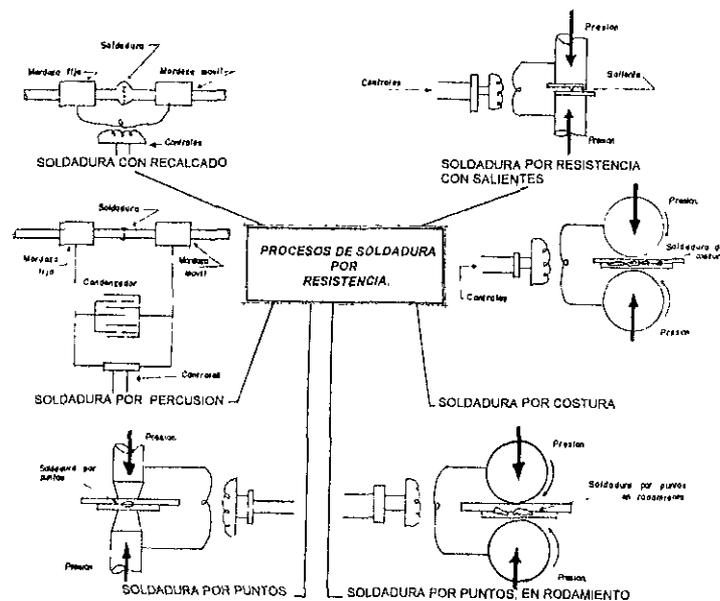


Figura 4.17 Procesos de soldadura por resistencia.

Soldadura por puntos (RSW)

Este tipo de soldadura es la forma que más se aplica entre la soldadura por resistencia, esta consiste en prensar dos o más piezas de metal laminado entre dos electrodos de soldar de cobre, y pasar una corriente eléctrica de suficiente intensidad por las piezas para dar lugar a su unión, dicha presión se aplica en un solo punto. La secuencia esta formada por:

- a) Tiempo de compresión
- b) Tiempo de soldadura
- c) Tiempo de mantenimiento de la presión

a) Tiempo de compresión.- Es el tiempo comprendido entre la aplicación inicial de la presión del electrodo sobre la pieza de trabajo y la primera aplicación de la corriente al hacer la soldadura de puntos y de costura.

b) Tiempo de soldadura.- Es el tiempo en el que pasa la corriente a través de las partes que se están uniendo, el cuál se expresa en ciclos.

c) Tiempo de mantenimiento de la presión .- Es el tiempo durante el cual se sigue aplicando presión en el punto de soldadura después de haber terminado el paso de la corriente de soldar, este tiempo tiene por objeto permitir que se enfríe o endurezca la pequeña región plástica de soldadura después de lo cual se suprime la presión y se retira la punta, ver figura 4.18

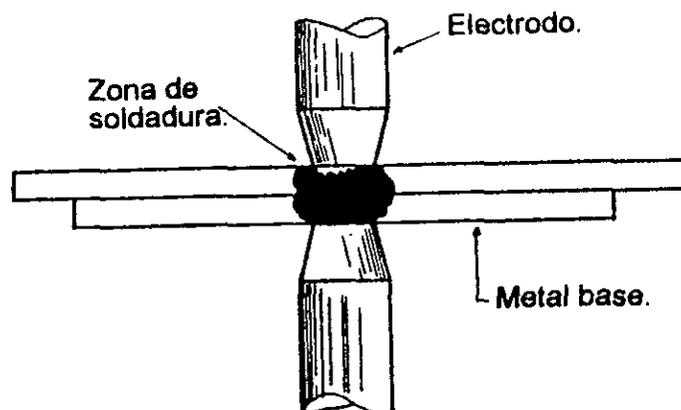


Figura 4.18 Soldadura por puntos.

Soldadura de costura por rodamiento

Esta consiste en hacer una serie de soldaduras por puntos a traslape, tal soldadura es totalmente hermética a gases y líquidos, se emplean dos electrodos circulares rotatorios (ruedas o electrodos) o un electrodo rotatorio y uno del tipo de barra, para transmitir la corriente en este último arreglo se hace referencia al proceso llamado soldadura de costura a tope. Todas las soldaduras de costura por rodamiento son soldaduras a traslape. Existen dos tipos generales de costura, la longitudinal y la circular, ver figura 4.19

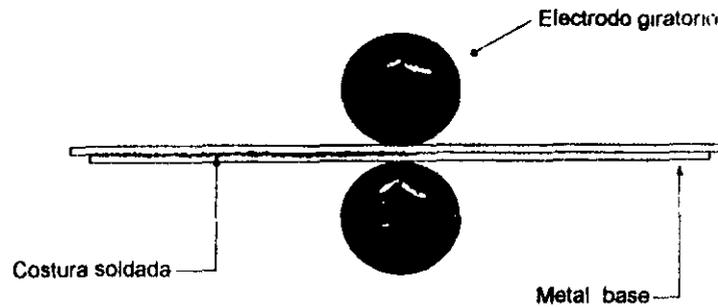


Figura 4.19 Soldadura por costura.

Los principios eléctricos de la soldadura por puntos se aplica también a la soldadura de costura que en cualquier otro proceso se aplica soldadura por resistencia. En la soldadura por puntos los efectos perjudiciales de las escamas y la suciedad de la superficie, pueden ser compensadas por ajustes de tiempo, presión y corriente o por otros medios aunque esto no se puede hacer en soldadura de costura, los resultados óptimos se obtienen con el acero acabado en frío, limpiando perfectamente la suciedad y herrumbre, los resultados inmediatos a los óptimos se obtienen con el acero laminado en caliente, correctamente limpiado por el ataque de ácido, aceitado y vuelto a limpiar antes de soldar. El material cubierto con escamas de laminación como el que puede encontrarse en el material de existencia azul o negro se considera insoldable.

Electrodos

En sus orígenes el primer uso del electrodo fue a base de carbón aplicado con calor intenso mediante un arco eléctrico para unir metales. Algunos años más tarde éste fue sustituido por un electrodo de alambre desnudo. Posteriormente se descubrió que las propiedades físicas, mecánicas y químicas mejoraban si se recubría el alambre de hierro desnudo con un recubrimiento a base de compuestos químicos cuidadosamente seleccionados. El propósito del núcleo del alambre es conducir la energía eléctrica para el arco y proporcionar el material adecuado para el depósito.

El recubrimiento tiene varias funciones; debido a la afinidad del metal fundido con el oxígeno y el nitrógeno, es necesario proteger tanto el metal que esta agregándose como el metal fundido por la soldadura.

El recubrimiento del electrodo de esa protección y al proceso se le llama "arco protegido". El recubrimiento se quema en el arco a menor velocidad que el alambre del núcleo, el recubrimiento también forma escoria sobre el metal fundido. Esta escoria protege al metal fundido mientras se enfría. La escoria también ayuda a dar forma a la soldadura y se quita después de que ésta se enfría.

En la figura 4.20 se presenta una tabla comparativa de las características de algunos electrodos.

TIPO	CLASE	TIPO DE CORRIENTE	POSICION PARA SOLDAR	SOLDADURA RESULTANTE	GRUPO DEL ELECTRODO
Acero dulce	E6010	Directa	Todas	Penetración profunda, cordones planos	Enfriamiento o rápido
Acero dulce	E6011	Alternativa	Todas	Penetración profunda, cordones planos	Enfriamiento o rápido
Acero dulce	E6013	Alternativa	Todas	Penetración poco profunda, buen contorno del cordón, poca soldadura.	Enfriamiento o ligeramente rápido
Polvo de hierro	E7024	Directa Alternativa	Plano	Mucha acumulación	Llenado rápido
Bajo hidrógeno	E7018	Directa Alternativa	Todas	Para soldar aceros al carbón	Llenado rápido

Clasificación para electrodos de arco eléctrico manual y ejemplos

Los diferentes electrodos se identifican principalmente por una clave, formada de letras y números establecidos por la Sociedad Americana de Soldadura.

Los electrodos para soldadura con arco empiezan con la letra "E", que significa precisamente que son para soldadura eléctrica. A continuación siguen 4 ó 5 números, de los cuales, los dos o tres primeros según el caso, indican la resistencia mínima a la tracción que tiene dicha soldadura (estos números se multiplican por mil y nos indican la resistencia a la tracción de la soldadura en libras por pulgada cuadrada).

El penúltimo número de la clave indica la posición en la cual se puede usar el electrodo, por ejemplo:

1. Quiere decir que el electrodo sirve para soldar en todas posiciones
2. Indica que el electrodo sirve solamente para soldar en posición plana

El último número señala ciertas condiciones o características del electrodo, tales como el tipo de corriente, tipo de escoria, tipo de arco, la penetración de la soldadura, así como ciertas características del revestimiento, figura 4.21

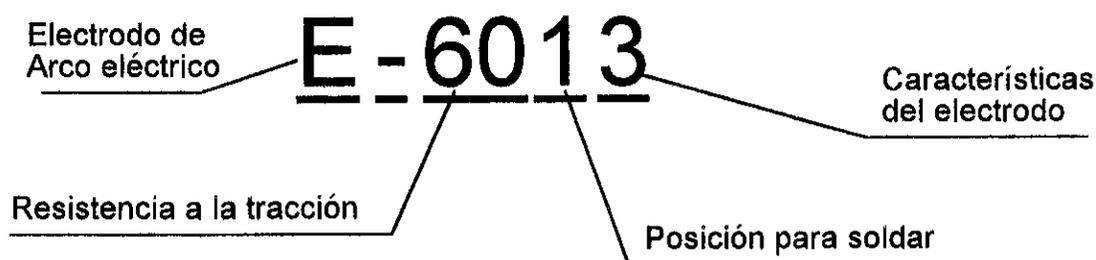


Figura 4.21 Significado de la nomenclatura de un electrodo.

A continuación se muestran las características de los electrodos de acuerdo al último número de la clave:

0. Electrodo para corriente directa, polaridad invertida, produce un arco fuerte con penetración profunda dejando una cubierta de escoria de celulosa, revestimiento a base de hierro.
1. Electrodo para corriente directa y alterna, polaridad invertida, produce un arco fuerte con penetración profunda, deja un cordón cubierto con escoria de celulosa.
2. Electrodo para corriente directa y alterna, produce un arco mediano, penetración mediana con escoria de rutilo.
3. Electrodo para corriente directa y alterna, cualquier polaridad, produce un arco suave de penetración poco profunda, produce cordones ligeramente convexos con una cubierta de rutilo.
4. Electrodo para corriente directa y alterna, polaridad invertida, produce un arco suave que deja rápidamente depósitos de una penetración ligera, la cubierta es de una escoria de rutilo, revestimiento a base de polvo de hierro.
5. Electrodo para corriente directa, polaridad invertida, produce un arco mediano con penetración moderada, produce cordones planos ligeramente hundidos, la escoria es de bajo hidrógeno.
6. Mismas características del electrodo con clave N° 5, sólo que éste puede emplearse tanto con corriente alterna como directa y en cualquier polaridad.
7. Electrodo para corriente directa y alterna, polaridad invertida, hecho a base de polvo de hierro para rellenos rápidos, con un arco suave de penetración mediana, deja escoria de bajo hidrógeno.
8. Electrodo para corriente directa y alterna, polaridad invertida, hecho con polvo de hierro y bajo hidrógeno, penetración pequeña a mediana, con una escoria que se quita rápidamente.

Preparación de las juntas

En el proceso de preparación de una junta de soldadura, se pueden considerar 4 etapas:

1.- Biselado: el biselado de las placas de soldadura, se realiza generalmente con soplete de corte de oxiacetileno si el metal es acero al carbón o de baja aleación; si el metal no se puede cortar con oxígeno, se usan otros métodos como son el corte con soldadura de carbón y aire (llamado en México "ARCAIR"), arco de plasma o por medios mecánicos como el esmerilado. En casos especiales se utilizan máquinas herramienta como el cepillo o la fresadora.

2.- Alineación: La alineación consiste en colocar las partes por soldar de manera que la ranura tenga la abertura de raíz necesaria para que penetre el metal de aporte y que exista el espacio suficiente para mover adecuadamente el electrodo.

3.- Punteo: Una vez que las piezas están colocadas en la posición requerida y alineadas correctamente, se requiere unir las por medio de puntos antes de efectuar el cordón. Los puntos evitan que las placas se deformen por efecto del precalentamiento, o que se altere la geometría de la junta que permite efectuar el cordón adecuadamente. La distancia de colocación de los puntos dependerá del espesor de la pieza, del tamaño de ésta y de la resistencia a la tensión del metal base.

4.- Limpieza: Finalmente, antes de efectuar el cordón se requiere limpiar perfectamente la junta de óxidos, escoria, carbón o salpicaduras. Es necesario poner atención especial a la escoria en las orillas de los puntos, éstos pasan a formar parte del cordón de soldadura ya que si no se limpian pueden quedar incrustaciones de escoria.

Preparación de los bordes

La preparación y ensamble de cualquier unión son de igual importancia, en muchos casos, que la propia soldadura. Aunque las soldaduras pueden o no participar en la preparación de la unión o ensamble, se deben conocer los procedimientos correctos para ensamblar.

La preparación cuidadosa de los bordes o cantos del metal, es esencial para hacer una buena soldadura. Si se selecciona y prepara un tipo incorrecto de unión, habrá pérdida de tiempo y dinero, además que la unión quedará débil. Con metal delgado es posible obtener penetración completa y máxima

resistencia en la soldadura, empleando cualquier proceso, con una simple unión a tope con bordes a escuadra por ejemplo. También es posible obtener penetración completa si se deja una separación pequeña entre las piezas de metal y se coloca una placa de respaldo contra esa separación.

En ocasiones es necesario preparar los bordes del metal para asegurar el 100% de penetración en la unión, pero se debe recordar que esta clase de trabajo aumenta el costo del ensamble; la decisión final que se tome depende de diversos factores:

- 1.- El proceso de soldadura que sea mas adecuado
- 2.- Los requisitos de carga que tendrá el ensamble que se va a soldar
- 3.- La resistencia física necesaria para la unión, y
- 4.- Las condiciones a que estará expuesto el ensamble al ponerlo en servicio

Los bordes biselados o achaflanados deben tener una profundidad y ángulos uniformes, de lo contrario, varían la cantidad de metal de soldadura, la aplicación de calor, la contracción en los ensambles grandes y además ocurrirán deformaciones. La penetración también será irregular.

Al formar una unión en "V", el ángulo de ella debe ser lo más pequeño posible para ahorrar metal, calor y disminuir la contracción. Pero, el ángulo debe ser lo bastante grande para permitir penetración y fusión completas en todo el espesor del metal base, ver figura 4.22

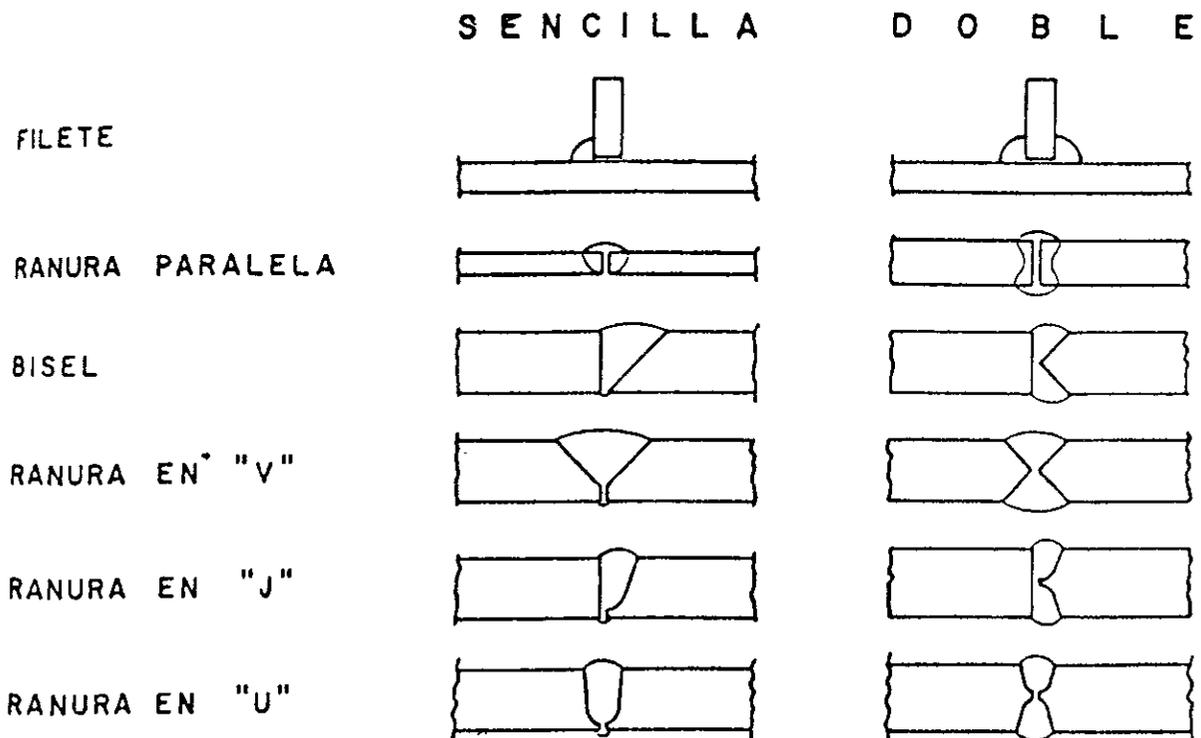
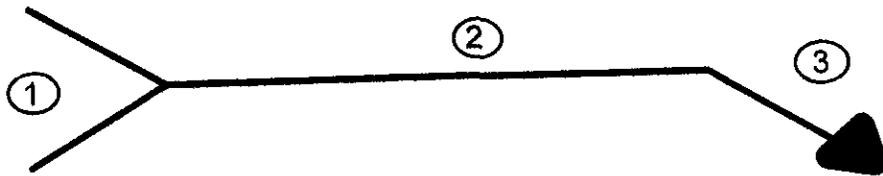


Figura 4.22 Bordes para soldadura.

Interpretación de símbolos

Existen diferentes formas para poder explicar o interpretar una unión por soldadura, verbalmente se puede decir como debe de quedar la soldadura; Otra sería redactar un escrito de las variantes de nuestra unión, pero sin embargo, estas dos formas implican demasiada atención y tiempo, por esta razón la A.W.S. utiliza símbolos mediante los cuales se interpreta la soldadura, lo que representa un considerable ahorro en tiempo y esfuerzo.

Para conocer los símbolos utilizados para interpretación en la soldadura se muestra la siguiente figura:



Elementos importantes de la flecha de un sistema de soldadura.

Como se puede ver la forma de este símbolo es una flecha, la cual cuenta con tres elementos importantes:

- 1.- Cola de símbolo
- 2.- Línea de referencia
- 3.- Flecha hacia la soldadura

En cada una de estas partes del símbolo a su vez llevan dentro o sobre ellas otros símbolos que indicarán las características de la soldadura. Para comprender mejor este aspecto, se puede ver figura 4.23

El control de calidad en las soldaduras, lleva consigo una gran responsabilidad para quien lo efectúa, como se menciona en capítulos anteriores (capítulo III); así mismo la persona que se dedica de tiempo completo como soldador, necesita desarrollar su destreza manual y una buena coordinación de la vista con las manos. Además la mayoría de los

soldadores deben de levantar por lo menos 45 Kg, y poder doblarse, erguirse y trabajar en posiciones incómodas con relativa facilidad.

Antes de ser asignado a trabajos en los que la resistencia y la calificación de la soldadura sean críticas, los soldadores deben pasar pruebas que determinan su habilidad para hacer una clase específica de trabajo.

En ocasiones, un soldador puede ser ascendido a inspector, o sea tomar a su cargo la verificación de soldaduras en cuanto a cumplimiento con las especificaciones y la calidad de trabajo de ejecución. Los soldadores pueden también convertirse en sobrestantes o supervisores.

Los ensayos para la calificación de soldadores, operadores de máquinas de soldar y punteadores, determinan la habilidad de las personas para producir soldaduras aceptables, sanas con el proceso, materiales y posiciones indicadas en un procedimiento de soldadura; estas son conocidas como variables y para cualquier cambio de las mismas se necesita la recalificación del soldador.

SIMBOLO

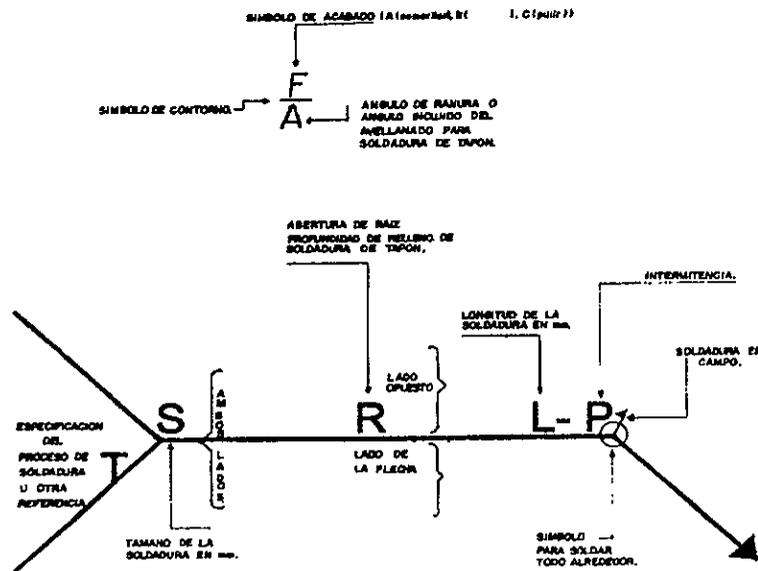


Figura 4.23 Símbolos para soldadura.

Actualmente es posible aprovechar las ventajas que la soldadura ofrece, algunas de ellas son:

1. Para la mayoría de la gente, la primera ventaja esta en el área de la economía, por que el uso de la soldadura permite grandes ahorros en el peso del acero utilizado. Las estructuras soldadas permiten eliminar un gran porcentaje de las placas de unión y de empalme, tan necesarias en las estructuras remachadas o atornilladas, así como la eliminación de las cabezas de remaches y tornillos. La soldadura también requiere menos trabajo que el que se necesita para el remachado, porque un soldador puede reemplazar a la cuadrilla norma de cuatro hombres.
2. La soldadura tiene una zona de aplicación mucho mayor que los remaches o los tornillos.
3. Las estructuras soldadas son estructuras más rígidas, porque los miembros por lo general están soldados directamente uno con otro. Las conexiones con remaches o tornillos, se realizan a menudo con ángulos de conexión o placas que se deforman debido a la transferencia de carga, haciendo más flexible la estructura completa. Por otra parte la mayor rigidez puede ser una desventaja donde se necesiten conexiones de extremo simples, con baja resistencia a los momentos.
4. El proceso de fusionar las partes por unir, hace a la estructuras relamente continuas. Esto se traduce en la construcción de una sola pieza y puesto que las juntas soldadas son tan fuertes o más que el metal base, no debe haber limitaciones a las uniones.
5. Resulta más fácil realizar cambios en el diseño y corregir errores durante el montaje, si se usa soldadura.
6. Otro detalle que a menudo es importante es lo silencioso que resulta soldar, esto es importante el realizar montajes en zonas urbanas, ya que entre los edificios cercanos el ruido puede ocasionar malestar.
7. Se usan menos piezas y como resultado, se ahorra tiempo en detalle, fabricación y montaje.

4.3 Atornilladas

Un tornillo es un pasador de metal con una cabeza formada en un extremo y el vástago roscado en el otro para recibir una tuerca. Los tornillos se usan para recibir piezas de metal, insertándolos a través de agujeros hechos en dichas piezas y apretando la tuerca en el extremo rosacdo.

Los tornillos estructurales pueden clasificarse de acuerdo con las siguientes características:

- Tipo de vástago
- Material y resistencia
- Forma de la cabeza y de la tuerca

Para la colocación de tornillos, se considera como principal factor el apriete de la tuerca, que someterá al perno a una tensión, que será la fuerza predominante del perno; esta tensión une firmemente a los elementos de la conexión, y puede fallar por tensión; por lado si la tuerca no se aprieta lo suficiente para que no se afloje, se tendría un contacto no tan fuerte, por lo que el perno recibe una fuerza cortante predominante cuando las juntas son sometidas a carga. Esta es la diferencí de apretar o no una tuerca.

Lo anterior describe dos tipos de junta para conexiones atornilladas: conexiones a fricción y conexiones a cortante.

Conexiones a fricción.- La fuerza de apriete del tornillo en la junta, ocasiona una fuerza de fricción que se opone a una fuerza que somete a tensión a las placas unidas, ver figura 4.24. La fuerza a que son sometidas las placas es solamente resistida por la fuerza de fricción ocasionada por la fuerza normal ejercida por el perno y la rugosidad del material de placa.

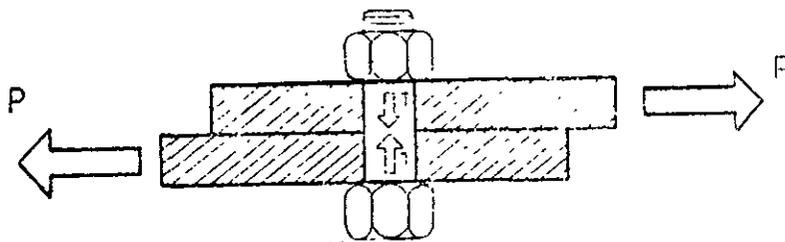


Figura 4.24 Conexión a fricción.

Juntas por aplastamiento.- La fuerza ejercida en los extremos de las placas sigue aumentando, de manera que sea mayor que la fuerza de fricción que se opone al deslizamiento, entonces habrá un desplazamiento, que se puede considerar por la holgura del agujero; entonces la carga no será resistida por la fuerza de fricción, sino por el perno y esta fuerza llega al perno como cortante y aplastamiento, puede ocurrir aplastamiento en el perno o en la placa, ver figura 4.25

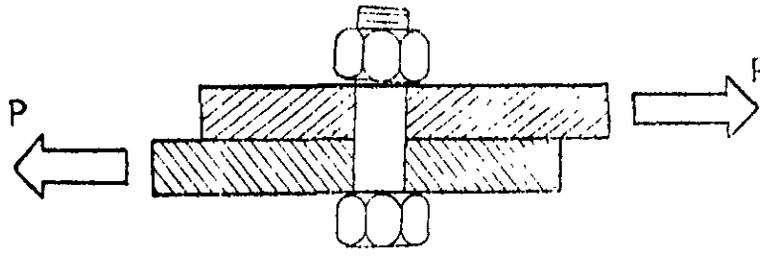


Figura 4.25 Junta por aplastamiento.

En las juntas por fricción los tornillos no trabajan a esfuerzo cortante. Las conexiones de fricción se especifican necesarias en todos aquellos casos en los que se esperan inversiones de esfuerzos y en los que en condiciones de trabajo, el deslizamiento es indeseable, como en contraventeos y arriostramientos.

En las junta por aplastamiento, el tornillo o perno, trabaja a esfuerzo cortante por aplastamiento. Si la rosca del tornillo queda excluida del plano de corte, se adquiere un mejor aprovechamiento de la junta, ya que su resistencia es mayor.

Para juntas atornilladas se recomienda dar un apriete a la tuerca para dar una tensión mínima especificada al perno, esta fuerza es aproximadamente al 70% de la resistencia a tensión del tornillo, y se denomina carga de prueba y es normalmente menor al límite de proporcionalidad del tornillo.

Se ha recomendado varios métodos para asegurar la tensión requerida, pero los que han dado mejor resultado son los siguientes; aprobados por el consejo de juntas estructurales del A.I.S.C.

Para juntas de cortante y aplastamiento, en este caso los tornillos no requieren estar sometidos a un apriete completo como para llegar a la carga de prueba, sino que solo se apretará a la condición de contacto; la condición de contacto se define como la requerid para cuando los elementos a juntar

queden perfectamente en contacto, y se logra con el esfuerzo máximo de un hombre usando una llave de tuercas común.

Para juntas a fricción se utiliza el método de la vuelta tuerca; donde la tuerca se aprieta inicialmente hasta un ajuste sin holgura, a partir de este punto se gira media vuelta adicional.

En este método, el apriete inicial se logra en la práctica con el esfuerzo máximo de un hombre y llave de tuercas, y la media vuelta, se logra con la fuerza del hombre, pero extendiendo con alguna herramienta el brazo de palanca de la llave de tuercas.

Actualmente, dada la amplia gama de dimensiones en tornillos y su alta resistencia, se puede confiar en el uso de tornillos como medio para realizar una conexión capaz de transmitir las acciones que a ella concurren.

Cierto tipo de estructuras pueden ser desmontadas para volver a ser montadas en otro lugar, sus tornillos serán utilizados nuevamente si son tornillos A-325 no galvanizados, presentando buenas condiciones de servicio y de ajuste. Las especificaciones para junta señalan que los tornillos A-490 cualquiera que sea y los tornillos A-35 galvanizados no podrán ser reutilizados, y un reapriete de un tornillo que por cualquier causa se haya aflojado, no se considera reutilizado.

Actualmente es común el uso de los tornillos de alta resistencia en conexiones para estructuras de acero, pero en ciertos casos algunas conexiones se pueden realizar con tornillos comunes, que la A.S.T.M. denomina A.307.

Los tornillos A.S.T.M. A-307 son también llamados tornillos comunes o de máquina, su uso en estructuras de acero es limitado, ya que se aplican para cargas estáticas, o en elementos en que los efectos dinámicos son despreciables.

En México se fabrican dos tipos de tornillos A.307 y son:

Grado A: para uso general, y

Grado B: para uso estructural

En la siguiente tabla, figura 4.26 se muestran los tamaños de tornillos y las tuercas recomendadas.

TORNILLO		TUERCA	
GRADO	TAMAÑO	GRADO	TIPO
A	¼" a 1 1/2"	A	Hexagonal
A	> de 1 ½" a 4"	A	Pesada hexagonal
B	¼" a 4"	A	Pesada hexagonal

Figura 4.26 Tamaño de tornillo y tuercas recomendados.

Los tornillos y las tuercas A.307 se identifican por no llevar nomenclatura especial.

Los tornillos A.307 no se recomiendan cuando se esperan cambios de signo en los esfuerzos de las piezas que conectan, o cuando se esperan cargas dinámicas. El A.I.S.C. fija una serie de casos concretos en los que no deben usarse:

No se usaran para uniones entre tramos de columnas en estructuras esbeltas cuando:

- a) Tengan una altura de más de 60 m.
- b) Tengan una altura entre 30 y 60 m cuando la base es menor de 40% de la altura

No se usarán en estructuras que deban soportar travesaños o grúas.

No se usarán en donde haya máquina o alguna carga viva que produzca impacto o reversión de esfuerzos.

La mejor aplicación de los tornillos A-307 es cuando se aplican en elementos con carga estática o en elementos secundarios como largueros de techos o pequeñas estructuras. Otra aplicación muy común, es usarlos durante el montaje, ya que sostienen los elementos de la estructura por conexión atornillada para que en la unión sean soldadas, cuando realmente es así el diseño. Una vez que se suelda la junta, los tornillos pueden quitarse, pero se dejan para dar una buena presentación a la estructura.

En la actualidad es común el uso de tornillos de alta resistencia en las conexiones para edificios, puentes, y toda estructura que es diseñada para cargas por viento, sismo, impacto, carga viva y muerta. Su gran resistencia a la tensión une firmemente los elementos que llegan a la conexión y sin peligro de que la tuerca se afloje.

Los tornillos de alta resistencia son clasificados por la A.S.T.M. en los tipos A-325 y A-490 y cada uno tiene propiedades particulares; el más común es el tornillo A-325, del que se reconocen tres tipos, según la A.S.T.M.

Tornillos tipo 1.- Son tornillos al medio carbón y son de uso común, para identificarse, se marcan con tres líneas radiales a 120°, ver figura 4.27

Tornillos tipo 2.- Son tornillos de acero martensítico, de bajo contenido de carbón; se distinguen de los demás porque en su cabeza tienen tres líneas radiales a 60°.

Tornillos tipo 3.- Son tornillos con mayor resistencia a la corrosión atmosférica; se usan en aceros con características similares. Se distinguen de los demás por tener en su cabeza la leyenda: A-325, mientras que en sus tuercas se puede ver el número 3.

T p o	A 325		A 490	
	tornillo	tuerca	tornillo	tuerca
1				
2		MISMO QUE TIPO 1		MISMO QUE TIPO 1
3				

- 1.- 3 líneas radiales a 120° opcionales
- 2.- Tipo 3
- 3.- Puede llevar alguna marca indicando resistencia a la corrosión

Figura 4.27 Marcas aceptadas para identificar tornillos y tuercas alta resistencia.

Un tornillo con propiedades semejantes es el A-449, siendo usado con menor frecuencia que el A.325.

Del tornillo A-490, también existen tres tipos para uso estructural:

Tornillo tipo 1.- Es el tornillo común, para identificarlo en su cabeza se marca la leyenda A-490.

Tornillo tipo 2.- Es el perno de acero martensítico y se distingue por tener seis líneas radiales a 30° con la leyenda A-490.

Tornillo tipo 3.- Es el tornillo resistente a la corrosión y al intemperismo, para distinguirlo, en su cabeza se graba la leyenda A-490.

Debido a que estos tornillos son fabricados con acero aleado, para algunos fabricantes resulta costoso o antieconómico si el cliente pide una cantidad menor a la cantidad de tornillos que obtendría con el tonelaje mínimo proporcionado de materia prima.

Debido a que con los tornillos A-490 se usa una fuerza de empalme mayor, es necesario instalar roldanas endurecidas que cumplan con los requerimientos del A.S.T.M. A-325, tanto bajo la tuerca como bajo la cabeza del tornillo cuando los pernos se utilicen en aceros que tengan un f_y 2810 kg/cm.

Los tornillos de alta resistencia se colocan en agujeros con un diámetro igual al del tornillo más 1/16" si el agujero es taladrado para que el tornillo no entre con dificultad debido a rebabas y efectos térmicos; si el agujero es punzonado, tendrá un diámetro igual al del tornillo más 1/8" para absorber rebabas, efectos térmicos y la conicidad producida que acompaña al punzonado.

Tipos de conexiones atornilladas

Conexiones sometidas a cargas excéntricas.- Ciertas conexiones como ménsulas para travesaños, conexiones de vigas columna, trabajan con cargas excéntricas no despreciables. No es así con otros elementos, en los cuales la excentricidad es despreciable.

En otros casos como las armaduras, el eje de gravedad de los elementos que concurren a un nudo, deben interceptarse en el centro de gravedad del patrón de los tornillos, de tal manera que se evite cualquier excentricidad o se minimice para que sea despreciable; cuando no es así, debe considerarse la excentricidad y tomarla en cuenta en el diseño para los tornillos, ver figura 4.28

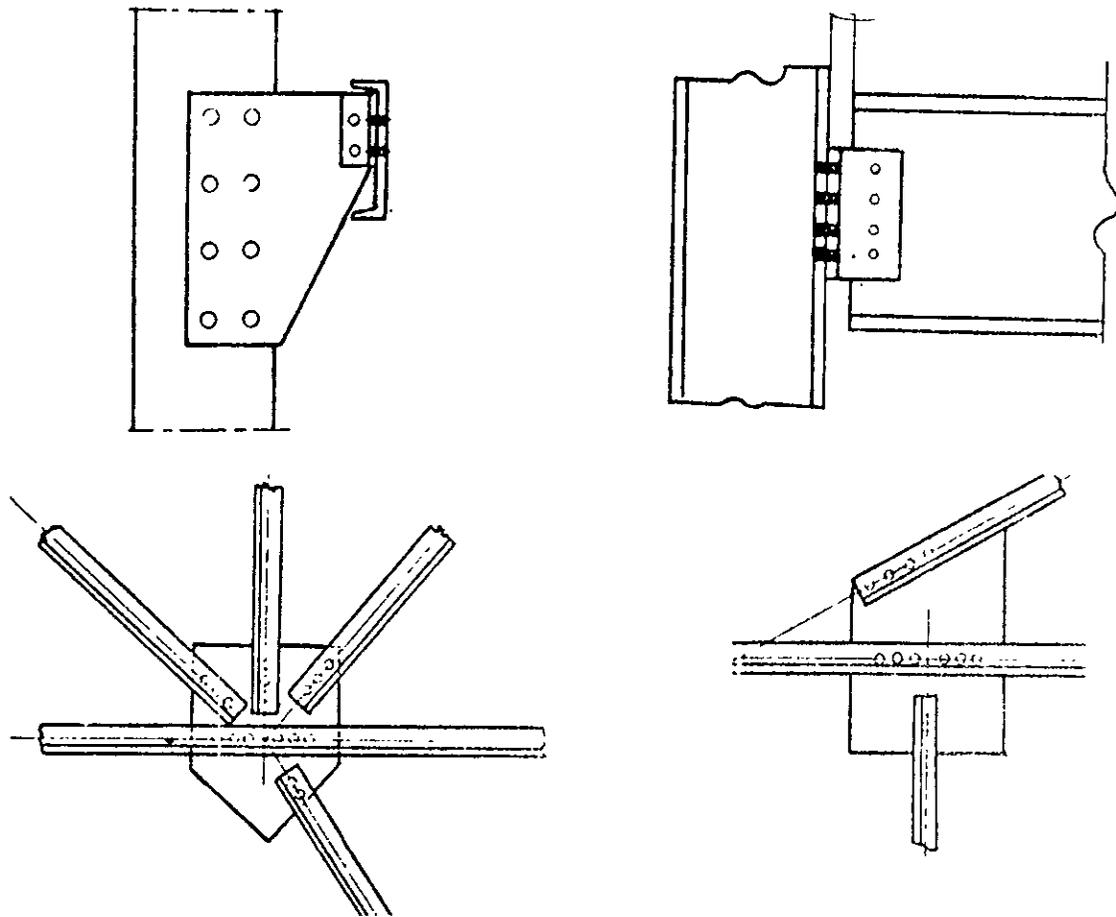


Figura 4.28 Conexiones sometidas a carga excéntrica.

Conexiones sujetas a cortante:

a) **Ángulos de asiento.**- los ángulos de asiento conectan su patín con el patín de la viga; los tornillos que unen el ángulo con la columna quedan sometidos a cortante debido a la reacción de la viga, y a tensión debido a que hay una excentricidad de la reacción con respecto a la columna.

En la figura 4.29 se muestra el comportamiento de los ángulos de asiento, el apoyo izquierdo de la figura muestra un ángulo del asiento no rígido, y tiende a flexionarse a causa de la fuerza transmitida por la viga, en el diseño del ángulo habrá que verificar que no ocurra falla por flexión. El apoyo derecho de la figura muestra un apoyo rígido; el ángulo no se deforma, pero permite el giro de la viga. En este caso la conexión entre el ángulo y la viga puede hacerse de manera que el apriete ocasionado por el tornillo sea lo suficiente para poner en contacto los materiales y mantener las tuercas fijas.

b) **Conexiones de alma.**- Las conexiones de alma, consisten en conectar dos ángulos del alma de la viga; dependiendo del espesor de estos ángulos, la conexión puede recibir y transmitir momento flexionante y fuerza cortante.

Para el caso de la fuerza cortante, se considera que la excentricidad de la reacción de la viga es despreciable; y cualquier momento ocasionado por

esta es pequeño y tomado por la fuerza de fricción dada en ese apriete. El ángulo en tales condiciones, se flexiona para no permitir la transmisión de momentos a la columna, ver figura 4.30

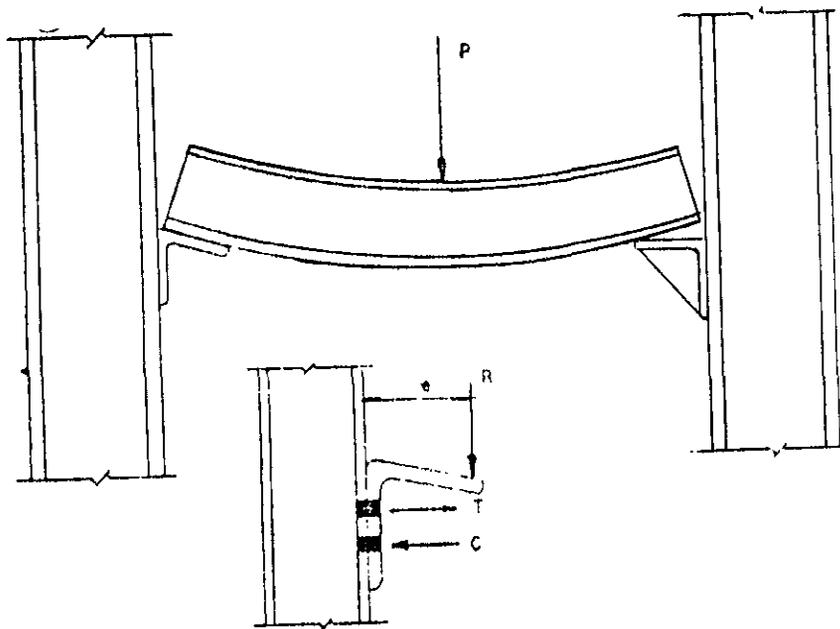


Figura 4.29 Comportamiento de ángulos de asiento.

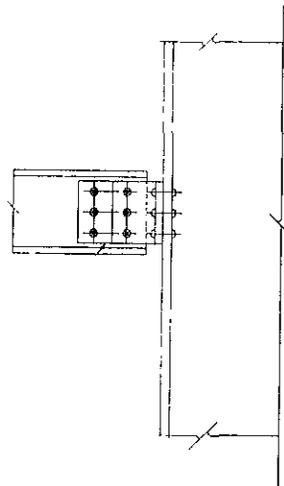


Figura 4.30 Conexión de alma.

Conexiones sujetas a flexión.- A veces en las conexiones que están sujetas a tensión, los elementos de unión atornillados quedan sujetos a flexión; los elementos de unión más comunes son ángulos, tes rectángulos, o una combinación de alguno de estos elementos con algún otro miembro estructural. Si los elementos de unión son flexibles y delgados, la fuerza de flexión ocasionará una combadura de los patines atornillados de los ángulos o de las tes, ver figura 4.31

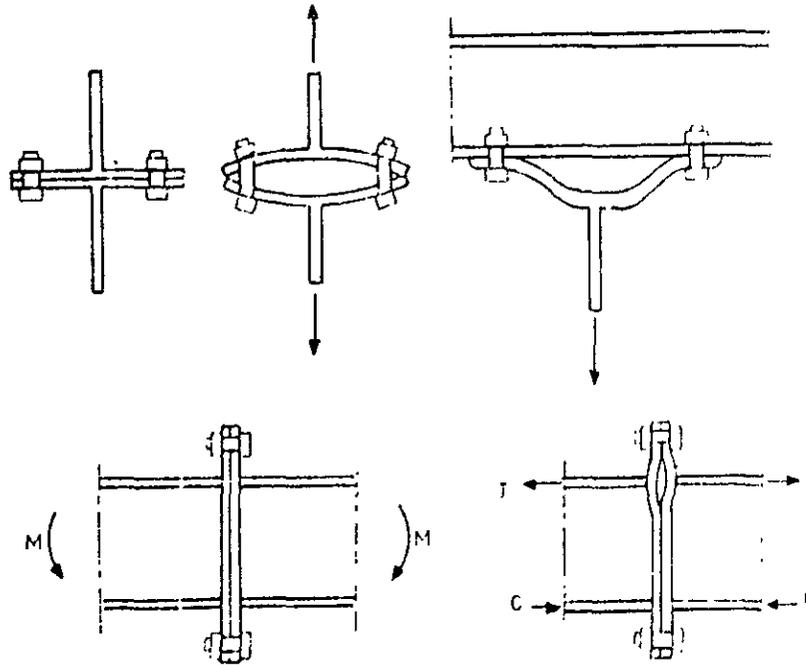


Figura 4.31 Combadura en conexiones sujetas a flexión.

Conexiones sujetas a momento y cortante.- Las conexiones que van a transmitir un momento flexionante, están sujetas a una combinación de esfuerzos cortantes y flexionantes, de tensión y aplastamiento para los tornillos. Únicamente los esfuerzos de tensión y cortante actuarán combinados, y el aplastamiento se desprecia.

Las conexiones se realizan por medio de ángulos, medias secciones "I", y se pueden utilizar placas. Actualmente es poco común diseñar una conexión completamente atornillada, ya que requiere la consideración en cálculo de numerosos detalles que originan los agujeros en los miembros, además de que resulta una conexión pesada y con varios tipos de piezas por unir. Con la soldadura, las conexiones rígidas se han simplificado en cuanto a elaboración y diseño, resultando al contrario de la conexión rígida atornillada, ligera y fácil de armar, incluso más ligera, ver figura 4.32

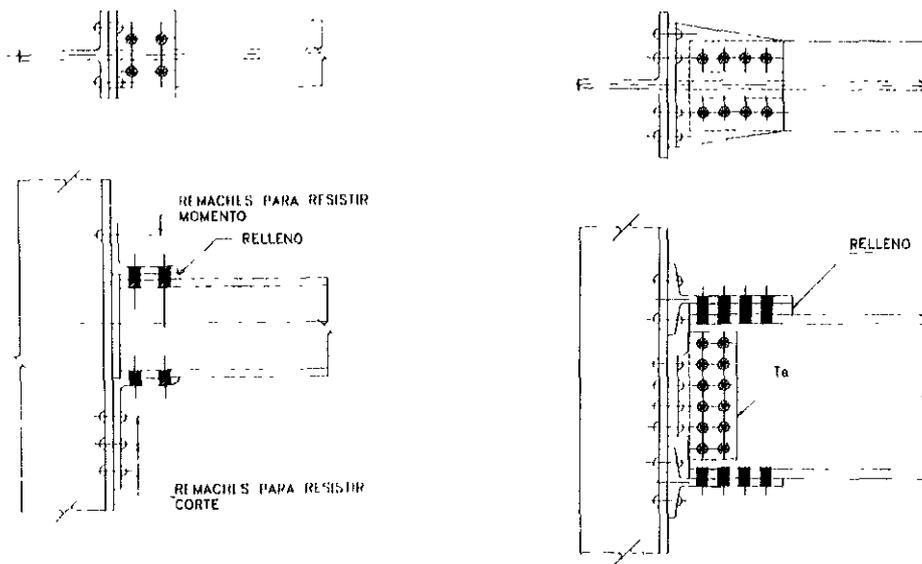


Figura 4.32 Conexiones sujetas a momento y cortante.

Empalmes de vigas y columnas.- Los empalmes son uniones que se efectúan de un elemento a otro para dar continuidad en el mismo elemento, que por condiciones de fabricación, transporte o montaje, no fue posible hacerlo continuo para satisfacer una altura o un claro determinado. Así se encuentran empalmes en columnas y trabes para edificios y demás estructuras. Una manera práctica de realizar empalmes es por medio de placas, que transmitirán la carga al próximo elemento o a un apoyo. Los empalmes se diseñan para carga axial, cortante, momento flexionante o una combinación de estos tres elementos mecánicos; para columnas se diseña generalmente un empalme para una combinación de carga axial y momento flexionante.

Para empalmes en vigas resulta práctico hacerlo por medio de placas en los patines, que transmitan el momento flexionante y una placa en el alma para resistir el corte, ver figura 4.33

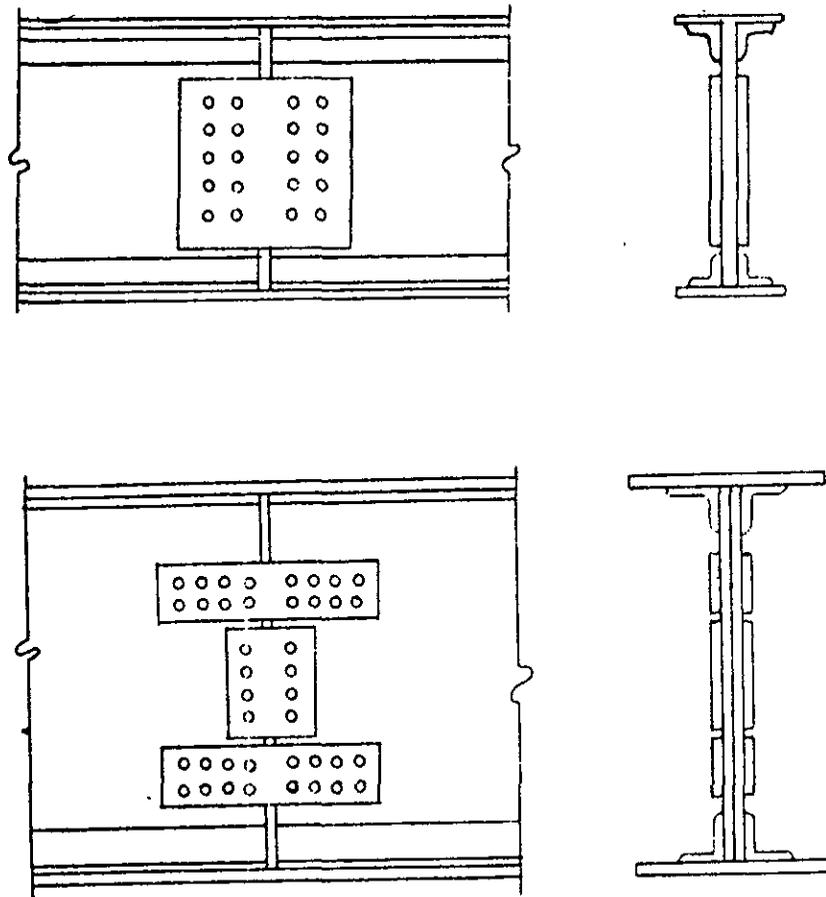


Figura 4.33 Empalmes en vigas.

Para que una conexión sea segura, su diseño debe basarse en el tipo de esfuerzos a que ha de trabajar la junta.

Entre las ventajas que tienen los tornillos en las conexiones estructurales, respecto a los otros sistemas, resaltan las siguientes:

- 1.- Las cuadrillas de hombres necesarios para atornillar, son menores que las que se necesitan para remachar. Dos parejas de atornilladores pueden fácilmente colocar el doble de tornillos en un día, que el número de remaches colocados por una cuadrilla normal de cuatro remachadores, resultando un montaje de acero más rápido.
- 2.- En comparación con los remaches, se requiere menor número de tornillos para proporcionar la misma resistencia.
- 3.- Unas buenas juntas atornilladas pueden realizarlas hombres con mucho menor entrenamiento y experiencia que los necesarios para producir conexiones remachadas o soldadas de calidad semejante. La instalación apropiada de tornillos de alta resistencia puede aprenderse en horas.

- 4.- No se requieren pernos de montaje que deben removerse después, como en las conexiones soldadas.
- 5.- Resulta menos ruidoso en comparación con el remachado.
- 6.- Se requiere equipo más barato para realizar conexiones atornilladas.
- 7.- No existe riesgo de fuego ni el peligro por el lanzamiento de los remaches calientes.
- 8.- Las pruebas hechas en juntas remachadas y atornilladas, bajo condiciones idénticas, muestran definitivamente que las juntas atornilladas tienen una mayor resistencia a la fatiga. Su resistencia a la fatiga es igual o mayor que la obtenida con juntas soldadas equivalentes.
- 9.- Donde las estructuras se alteran o desensamblan posteriormente, los cambios en las conexiones son muy sencillos por la facilidad para quitar los tornillos.

CAPITULO V MONTAJE DE ESTRUCTURAS DE ACERO

El montaje estructural consiste en tomar diferentes partes de acero que han sido fabricadas a base de placas, ángulos y otros perfiles, y colocarlas en sus posiciones correctas para formar una estructura de acero terminada. El montaje incluye los pasos previos a la colocación precisa de los miembros, y las operaciones de alineamiento, plomeo y fijación permanente; otras fases del montaje de acero estructural son la preparación y el desmantelamiento posterior del equipo necesario para efectuar todas las operaciones implícitas en la construcción.

5.1 Plan de montaje

Una vez presupuestada la obra, y comparado los documentos y dibujos, entonces se inician los trabajos para preparar el plan de montaje, que debe ser seguro, eficiente y económico; este plan debe estar dirigido a facilitar al máximo el trabajo en campo, dentro de los límites de la seguridad, considerando los costos adicionales que ésto implica en función del ahorro de tiempo. Esto es indispensable en las zonas urbanas donde la optimización del tiempo de montaje es un factor en el que se debe de tener mayor atención.

Para elaborar el presupuesto es conveniente que el ingeniero tenga una idea precisa del trabajo que se va a realizar, y que abarque conceptos de suministro y fabricación. Así mismo se debe contar con un informe detallado de la situación en campo para que sirva de ayuda en la elaboración del presupuesto, este informe debe contener aspectos tales como:

- 1.- Topografía del lugar
- 2.- Clima
- 3.- Leyes de transporte vigentes
- 4.- Mano de obra
- 5.- Sistemas de transporte

Hay que hacer notar que es de suma importancia el conocimiento de la mano de obra existente para lo que se deberá contar con un registro detallado con aspectos tales como costo, tipo de cuadrilla que se necesite y el tiempo que requiere.

El tipo de cuadrilla depende en gran parte del tipo de trabajo que se llevará a cabo, esto es:

- Edificios bajos
- Edificios a mediana altura

- Edificios altos
- Edificios para fábricas
- Teatros
- Hangares

Así mismo se requiere del conocimiento de los rendimientos de las cuadrillas según el trabajo de que se trate.

Para elaborar el presupuesto se debe de hacer una visita al lugar de la obra para darse una idea en relación a puntos tales como:

- Area de la obra
- Altura de la estructura
- Zona de bodega disponible
- Clima
- Posible localización de oficinas
- Espacio para maniobras
- Permisos

Deben tenerse en cuenta las construcciones vecinas que lleguen a dificultar los trabajos de la maquinaria; así como los problemas que llegaran a presentarse en el momento de la descarga, haciendo cuando sea posible un croquis en el que se defina el ancho de la calzada, avenida o calle. Indicando los obstáculos que se presenten.

El croquis debe incluir el posible trayecto del lugar de fabricación de la estructura al lugar de la obra, o en su caso el lugar de depósito.

El costo del montaje de una estructura de acero se calcula, al igual que el de fabricación (ver subcapítulo 3.1), con base en unidades de peso, como toneladas de acero colocadas incluyendo conexiones.

Selección del equipo de montaje

Por lo general, el estudio de los planos y una revisión de las condiciones del lugar conducirán a una decisión acerca del equipo y el método que se utilizará; el método seleccionado depende de la rapidez requerida y del equipo disponible, ya sea propio o que se tenga que rentar. El método depende de las condiciones del lugar, de las áreas disponibles para operar el equipo y de los riesgos de un plan determinado en comparación con otro.

Aparte de considerar si las condiciones del terreno permitirán usar grúas, plumas, grúas móviles u otro equipo, deben estudiarse varios métodos para

determinar cual es el mejor. Por ejemplo: para un edificio bajo, con miembros pesados, puede montarse con una pluma atirantada, una pluma de patas rígidas, una grúa de orugas de alta capacidad, una grúa montada sobre un camión, o una grúa móvil. Estos equipos se describen en el subcapítulo 5.3

Se necesita mucho espacio para que las grúas móviles puedan ejecutar maniobras en lugar de la obra; por lo tanto se reducen las áreas disponibles para la descarga, selección y distribución de la estructura, mientras que una pluma permite utilizar toda el área que les rodea para los trabajos mencionados.

Es necesario tomar en cuenta el tipo, tamaño y altura de la estructura, las posibles interferencias con otras operaciones, el tráfico en las carreteras o de peatones, que pudieran demorar la entrega de materiales, o bien restringir el área en la cual pueden entregarse los materiales en el lugar de la obra; con frecuencia las normas legales locales limitan en las zonas urbanas los horarios de entrega de los camiones y entonces es importante contar con equipos de gran capacidad para descargar con gran rapidez grandes partidas de estructura.

Por lo general, en un edificio alto es mejor utilizar una pluma con tirantes, elevándola piso por piso, que usar una grúa levadiza de menor capacidad o una grúa móvil con un mástil demasiado largo. En algunas ciudades no se permite que una grúa permanezca operando desde la calle, debiendo trabajar entonces dentro de los linderos del edificio; esto requiere dejar parte de la estructura desmontada, desde el piso hasta el techo, mientras que algunas secciones se montan con la grúa y esta retrocede para montar otra sección, de abajo hacia arriba y continua retrocediendo y montando. Esto interfiere con la terminación del edificio, ya que no puede completarse ningún piso hasta que la grúa termine el montaje.

Usando una pluma de tirantes o una grúa levadiza, pueden realizarse otras operaciones para ir completando pisos, tan pronto como la pluma o la grúa se haya retirado al siguiente nivel, y las cuadrillas de ajuste, de atornilladores, remachadores o soldadores vayan terminando sus trabajos de cada piso.

Se debe tener en cuenta el clima, las posibilidades de inundaciones o vientos fuertes; en una excavación profunda, una tormenta súbita o una lluvia constante pueden inundar la excavación ocasionando que la grúa móvil no pueda operar sobre el terreno, mientras que una pluma o una grúa levadiza puede pasarse a un nivel superior y estar lista para trabajar en cuanto cese la lluvia.

Las estructuras circundantes pueden modificar la decisión sobre como montar y que equipo usar. Si el nuevo edificio es angosto y está rodeado por

completo de edificios viejos u otras estructuras, el equipo lógico a usar sería una grúa, pues los tirantes de una pluma estarían tan inclinados que no solo serían inseguros, sino que sería difícil hacer girar el aguilón bajo ellos.

Si el lugar de la obra está en un área donde hay trabajadores experimentados solo en montajes con grúa, este es un factor que influirá sobre la decisión de usar una pluma; por otro lado, este factor debe balancearse en relación al costo que representaría transportar hasta el lugar a personal experimentado en montajes con pluma, para contrarrestar el montaje más lento o más costoso que se realizaría con la grúa.

Siempre se debe utilizar el método que implique el menor riesgo para el personal y el equipo; la prevención de accidentes es de gran importancia puesto que una relación mínima de accidentes propicia una producción máxima y un costo mínimo. La velocidad de montaje que se espera lograr debe estar en relación con la velocidad a la que el fabricante pueda producir y cargar, así como la velocidad a la cual el transportista podrá entregar las piezas, y la velocidad de descarga y montaje que se tendrá con el equipo montador.

Las grúas para montaje se pueden seleccionar cuando en el lugar de la construcción se espera encontrar un terreno con condiciones adecuadas para la operación de grúas móviles, ya sea con o sin pisos de madera, tablonés o caminos de troncos a través del área. En caso de que existan zanjas o aberturas es necesario asegurarse de que se puedan construir pasos o puentes para soportar la grúa; también es necesario confirmar si habrá zapatas, cimentaciones o muros que puedan interferir en los movimientos de las grúas y si habrá obstáculos elevados. Este equipo se podrá utilizar si la estructura no sobrepasa el alcance de los mástiles de las grúas montadas sobre orugas o camión, y si el peso de las piezas que se izarán a las diferentes alturas está dentro de su capacidad.

Si las condiciones del lugar no son favorables para el montaje con grúas montadas sobre camión, sobre orugas o grúas torre montadas sobre camión, el equipo que se puede seleccionar es una pluma de tirantes, una pluma de patas rígidas, una grúa viajera, o una grúa torre fija o levadiza.

Las especificaciones indicadas en los planos de diseño y taller, y en su caso las marcadas en el contrato de servicios, se deben estudiar para tomar en cuenta cualquier restricción al preparar el plan de montaje y seleccionar las herramientas y el equipo. Debe confirmarse si existen medidas que interfieran con la secuencia de montaje, la coordinación con otros trabajos, si hay demoras durante el transcurso del montaje para permitir que se hagan

otros trabajos necesarios para seguir avanzando, si se indica la localización de los malacates, compresores y máquinas de soldar. El contrato se debe de revisar para confirmar si existen conceptos relacionados con la colocación física de los miembros de la estructura y con los trabajos subsecuentes, como pudiera ser algún requisito en que el trabajo de otra especialidad deba de terminarse en algún punto de la secuencia del montaje.

Así también deben tomarse en cuenta las especificaciones para poder determinar cualquier impedimento antes de la ejecución del montaje, lo que da por resultado un plan de montaje más apegado con la realidad.

Es importante conocer la pieza más pesada, así como las cargas más pesadas para determinar la capacidad de la grúa requerida. Hay ocasiones en que resulta favorable económicamente hablando, montar con dos grúas y así bajar la capacidad de grúas necesaria, lo cual significa un costo menor.

Se deben determinar las piezas que serán necesarias armar en taller, como se mencionó anteriormente, logrando con ésto un menor número de piezas armadas en campo con menor calidad.

Se indicarán los elementos estructurales que presenten problemas de flexión y deformación ya sea en el transporte o en el montaje para poder reforzarlos adecuadamente.

Es necesario que el ingeniero que esté encargado de la visita al taller, revise la calidad de los empalmes, así como lo de campo. También es necesario en el levantamiento de las armaduras, revisar su estabilidad lateral sobre todo cuando se montan por el centro atendiendo también los casos en que se hagan por los extremos.

Cuando se consideren inestables lateralmente debe preguntársele al estructurista si es necesario reforzar los miembros o reforzarla por medio de arriostamiento temporal generalmente hecho a base de ángulos o canales.

Hay ocasiones en que se arriestra por medio de soleras o cables uniendo los dos extremos de una pieza con estos dos elementos colocados con polines intermedios que sobresalen del patín de la pieza que está a compresión al montarla, sobre estos se fijan las varillas, roscadas para permitir su ajuste, ver figura 5.1

Cualquier empalme complicado se debe revisar para asegurarse de que el material esté sujeto a una de las partes de la armadura o de la trabe, de manera que las piezas puedan ensamblarse en campo sin mucha dificultad.

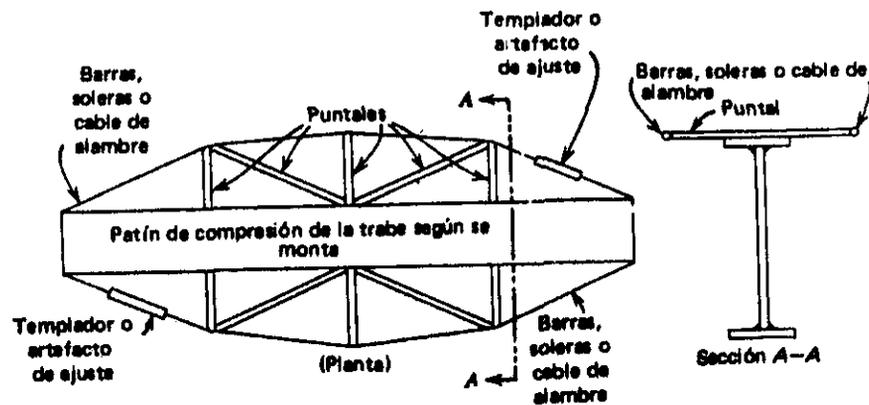


Figura 5.1 Atirantamiento de una trabe lateralmente inestable.

Para determinar el equipo óptimo para realizar el montaje de una estructura en particular se debe tener en cuenta, como se ha mencionado anteriormente, la rapidez de montaje, la disponibilidad del equipo y la economía. Y en resumen esto obliga al estudio de varios métodos para determinar cual es el mejor, analizando aspectos como:

- a. Tiempo de instalación; se compara el tiempo en el que un equipo se encuentra disponible para ejecutar un trabajo con otro.
- b. El espacio con que cuenta un equipo para poder maniobrar en forma adecuada no olvidando el factor costo, en caso de que se necesite ampliación del lugar para poder trabajar.
- c. El aspecto estructural del edificio que se montará, altura y ancho.
- d. El aspecto social de la obra, esto es limitaciones de tráfico, reglamentación y normatividad local.
- e. La capacidad de la grúa para llevar a cabo el montaje.
- f. Las condiciones climatológicas del lugar.
- g. Restricciones por construcciones vecinas.

- h. Capacitación de la persona encargada del montaje, operador, cuadrilla.
- i. Aspectos de seguridad.

Es necesario que el ingeniero determine el equipo a usar sin olvidar un factor primordial: la experiencia de él mismo, que le permitirá conocer el equipo que deberá usarse.

Planos de montaje

Un plano de montaje consiste básicamente en un plano lineal de cada piso y una vista lateral o alzado del mismo, para poder distinguir las alturas de cada columna trabe o viga.

Es necesario que en el plano de montaje se seleccione el orden en que se irán montando las piezas quedando asentado en éste, para que en el taller se les asigne la misma clave a los miembros estructurales.

El sistema deberá por lo mismo seguir una secuencia lógica, hay ocasiones en que varias piezas son idénticas en cuestiones estructurales y por lo mismo se pueden montar en cualquier orden, por lo que se les da la misma clave, esto se menciona en el capítulo III.

Por regla general la señal deberá ir pintada en un extremo de la pieza que se vaya a colocar y en el mismo lugar se deberá poner en el plano de montaje indicando además la sección de la pieza, por ejemplo la señal 14WF228 en el plano de la figura 5.2 especifica que se trata de una viga de ala ancha de 14" de peralte nominal y que pesa 228 lib/pie, esto es en referencia a los manuales que publican los fabricantes de acero o por los institutos como el A.I.S.C. o el I.M.C.A.

En el caso que lleven contraventeo, deberán moverse en el plano de montaje con una "X" seguida de un número igual a su longitud, indicando en su caso el diámetro. Cuando los tirantes de contraventeo son poco comunes, se marcan individualmente y se le coloca al tirante en sí una etiqueta metálica en la cual se indica el número de parte, a menos de que el tirante sea lo bastante grande como para poder pintarle la marca con claridad directamente encima. En el caso de que existan conexiones deberá hacerse un detalle de éstas.

Es recomendable usar el número de dibujo de la pieza como parte del número de la pieza en el diagrama de montaje, con lo que se evita la necesidad de un índice de dibujos en que se muestren los números de parte contra los números de dibujo.

Es común que las secciones transversales se muestren cuando son necesarias para montar en forma correcta el miembro, o teniendo una conexión muy complicada como para indicarse en el plano de montaje de piso.

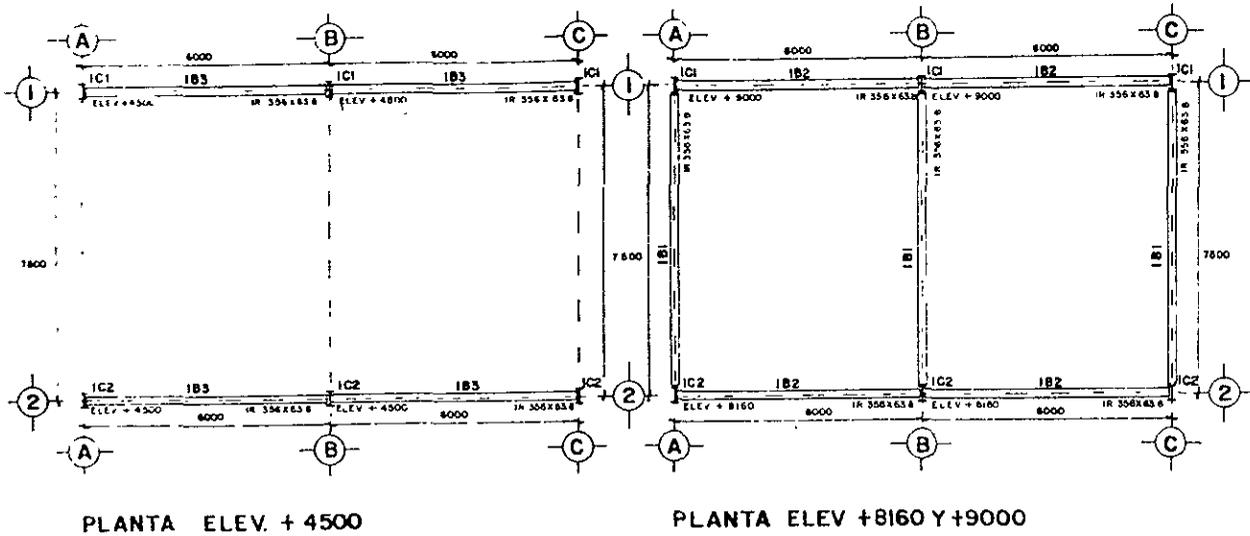
Es correcto que se indique si el miembro debe tener una contraflecha, en un croquis por separado para que el ingeniero encargado del montaje sepa como mantenerla.

En el plano debe indicarse el área por medio de una letra grande para identificarla, ver figura 5.2

En el caso del montaje en edificios con núcleos de columnas deben analizarse las columnas de acero para así determinar la longitud de cada uno de ellos y que haya comunicación entre el ingeniero de obra de acuerdo con el montaje, con el ingeniero proyectista y éste le indique si existe algún problema en cuanto al pandeo en el momento de levantar la columna de su posición horizontal a la vertical.

El plano de montaje debe contener:

- ▶ Distancia entre columna y columna
- ▶ Sección transversal de la misma
- ▶ Número de elemento de acuerdo al asignado al fabricante
- ▶ Área por medio de letra de colocación
- ▶ Peso de cada columna o miembro
- ▶ Altura de cada columna
- ▶ Encerrado en un círculo el piso en que deberá colocarse la pieza, hay ocasiones que se coloca el número de pieza si es columna en un círculo y otro elemento sin círculo, por lo que el estructurista debe tener cuidado de no confundirlo.



LISTA DE MATERIALES			
TALLER		DESCRIPCION	LONGITUD
MARCA	PIEZAS		
IC 1	3	COLUMNA	8 3 9 4
IC 2	3	COLUMNA	8 1 5 4
IB 1	3	TRABE	7 3 6 6
IB 2	4	TRABE	5 9 9 5
IB 3	4	TRABE	5 9 9 5

NOTAS

- 1- ESTE PLANO CONCUERDA CON LOS CORRESPONDIENTES ESTRUCTURALES EN CUANTO PERFILES Y CONEXIONES, SALVO LAS ANOTACIONES INDICADAS.
- 2- LAS DIMENSIONES Y ELEVACIONES ESTAN INDICADAS EN MILIMETROS

Figura 5.2 Plano de montaje.

Ejecución del montaje

El montaje se puede hacer con grúa montada sobre camión en terrenos que permiten el tránsito y movimiento de ellas, ya sea en piso sin refuerzo o en pisos a base de tablonés.

Si la estructura se inicia a nivel, de manera que la grúa pueda moverse desde la calle al lugar de montaje, puede usarse una grúa móvil que situada en la parte trasera comience a montar naves a través de la estructura de piso a techo, así lo irá haciendo hasta que se localice frente a la calle; la desventaja es que no pueden completarse los pisos hasta que la grúa haya terminado el montaje de toda la estructura.

Hay ocasiones en que la grúa por la longitud del mástil de carga puede situarse fuera de los límites de la obra y así efectuar el montaje, esto es utilizado cuando el mástil vertical es alto y el edificio es de niveles bajos, lo que permite a la grúa tomar directamente los miembros en el sitio de descarga o en el mismo camión de transporte y montar el elemento. En este punto se debe hacer hincapié en que en las zonas urbanas existe poco espacio para las maniobras descritas por lo que antes de elegir este tipo de equipo para montaje, se deben de tomar en cuenta condiciones como: tránsito vehicular, construcciones vecinas, obstrucciones elevadas y condiciones del terreno.

También puede ocuparse una grúa para armar trabes y armaduras antes de ser montadas; pueden soportar una pieza en el tiempo en que son colocadas otras y así evitar pérdidas de tiempo.

Existen ciertas limitantes para este tipo de grúas, como pueden ser la presencia de zanjas, zapatas o cualquier tipo de cimentación, capacidad del mástil de carga y costo y tiempo de transporte.

Si las condiciones de la estructura no son favorables para el montaje con grúa montada sobre camión, puede ser una solución utilizar una pluma de tirantes o grúa torre fija o levadiza, como ejemplo se hace una solución adecuada al utilizar una pluma de tirantes, cuando el edificio es muy alto o la capacidad de la grúa móvil es muy baja.

El ingeniero deberá tener en cuenta, siempre, una posible solución utilizando una combinación de diferentes equipos, por ejemplo utilizar una grúa móvil para los primeros niveles y una pluma de tirantes para los siguientes.

Se hace necesario elegir el tamaño y localización de una pluma por lo que se divide la estructura en áreas y niveles fijando sus alturas.

En el caso de que el edificio sea muy ancho, se escoge un punto intermedio de la grúa fija o pluma para poder así tener un alcance mayor, a todos los puntos del edificio.

Este punto debe situarse en la mitad del edificio para poder así recoger materiales y depositarlos en el lugar requerido.

En el caso de utilizar una pluma de tirantes, se debe determinar la localización de los tirantes, que son ocho, así como a los puntos que se fijarán.

En el caso de utilizarse columnas deberán estar espaciadas lo más regularmente posible en el sentido angular y tan lejos de la base de la pluma como sea posible, para así tener las distancias adecuadas de los cables.

Es una regla que los tirantes deban localizarse por lo menos para que dos de ellos trabajen detrás de la pluma cuando se descargue material y dos cuando se coloque la pieza más pesada.

Debido a los esfuerzos que somete la pluma a los tirantes y estos a los puntos de apoyo debe solicitarse al ingeniero estructurista revise el estado de los apoyos y apruebe su uso.

Por lo anterior el ingeniero estructurista debe mandar detalles en forma de croquis, indicando como deben ser dichos anclajes, los cuales, en su caso, deberán ahogarse para fijar los tirantes.

En el caso de que no se utilicen columnas de apoyo pueden fijarse estacas, y de ahí sujetar los tirantes, ver figura 5.3

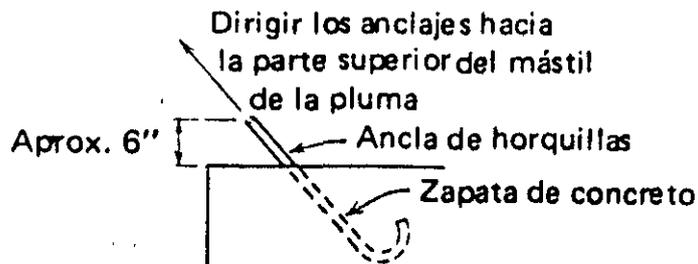
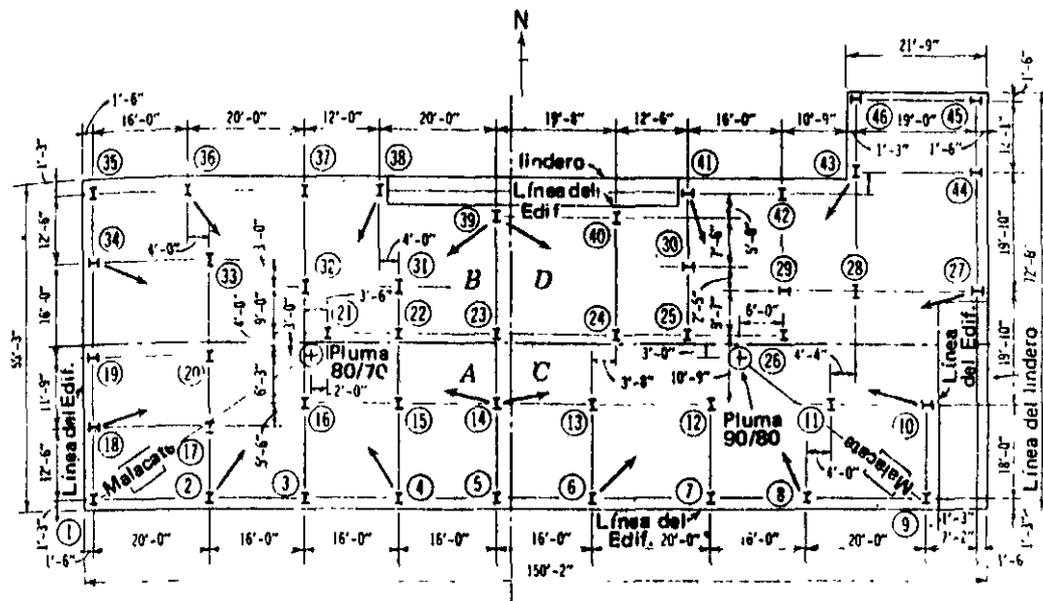


Figura 5.3 Localización de los anclajes para grúa de tirantes en una plano de montaje.

Las desventajas de estos equipos son:

1. Se pueden tener varias plumas de diferente alcance en un mismo nivel, lo que dificulta las maniobras en el momento de su giro.
2. Al situarse la torre grúa levadiza en el cajón de elevadores o en el cubo de operaciones, retrasa la instalación del elevador o construcción de la rampa de escalera.
3. Las líneas de carga llegan a interferir con los demás elementos de montaje.
4. Debe localizarse de manera que libre la estructura permanente a cambiar de nivel.

5. Al usar varios equipos deberá provocarse que todos tengan el mismo nivel de trabajo, ya que alguno de ellos puede adelantarse a los demás.
6. Al usarse grúas de torre fijas o plumas de tirante es recomendable revisar la estructura de soporte y en el caso de que pudiese presentar una falla, reforzarla con elementos temporales.
7. En caso de que las zapatas no sean adecuadas y si en los lados de la excavación, o en el piso se encuentra roca sólida, deberá utilizarse anclas de extremos abiertos.
8. En el caso de no tener roca y las zapatas no soporten, deberán agregarse contrapesos a las zapatas.

La pluma viajera es muy utilizada en excavaciones profundas ya que se ensambla al nivel de la calle, fuera de la excavación y con contrapesos adecuados. También se utiliza en hangares, cobertizos, salones para convenciones y naves industriales. Hay que hacer notar que este tipo de grúa sustituye la obra falsa que necesitaría como soporte temporal de la armadura de techo; aunque tiene facilidad de movimiento debe tomarse en cuenta el costo de transporte y ensamble lo que da una desventaja con respecto a otros equipos.

La pluma de patas rígidas tiene mayor capacidad, a distancias grandes, que la pluma de tirantes, aunque le falte el movimiento de una grúa de alta capacidad.

Hay que compararla por lo difícil de su transporte, manejo, instalación y mantenimiento; así como por el tiempo para que pueda trabajar con los costos de una pluma de tirantes o una grúa.

Existen ocasiones en que la pluma de patas rígidas es colocada sobre una torre, lo que permite el montaje de un nivel completo, así como comenzar el montaje del siguiente, en el tiempo en que se hayan terminado las conexiones.

Es común que el mástil alcance toda la altura del edificio más no toda su longitud, por lo que se necesita en ocasiones cambiar de posición la pluma.

En ocasiones, una grúa puede manejar toda la estructura, sin contar piezas de mayor tonelaje, para lo que se puede usar un poste grúa.

Para lo anterior, los planos de montaje deben mostrar la localización del sitio de armado del poste grúa; así como sus anclajes, para cambiarlos de lugar y los anclajes para bajarlos si son necesarios.

En caso de usar malacate en un edificio alto, el motor del malacate deberá de situarse en uno de los pisos superiores para reducir el peso de los cables.

Por el uso del malacate, el poste grúa solo deberá utilizarse en estructuras de poca altura y materiales ligeros.

Una vez seleccionado el equipo, el plan de montaje, deberá estar definido, entonces se dibuja el proyecto que se seguirá en campo.

Al elaborar el plan de montaje se pueden encontrar dificultades que impidan el uso de ensambles que ya se solicitaron o se requieran conexiones mas pesadas para soportar el equipo por lo que se deberá notificar al fabricante de dichos cambios, o al estructurista de estos requerimientos.

Un plano básico es aquel en que solo se muestran las localizaciones de las columnas y son utilizadas para mostrar detalles del método de montaje que no se hallarán en los planos generales de montaje, así como para seguir el avance del montaje, ver figura 5.4

En ocasiones los planos de montaje pueden ser reemplazados por un simple juego de instrucciones que contiene el procedimiento de montaje.

Existen tablas dadas por el fabricante, para la capacidad de sus equipos, incluyendo el alcance máximo permisible para colocar las piezas pesadas y considerar la carga maxima para su mayor alcance, ver figura 5.5

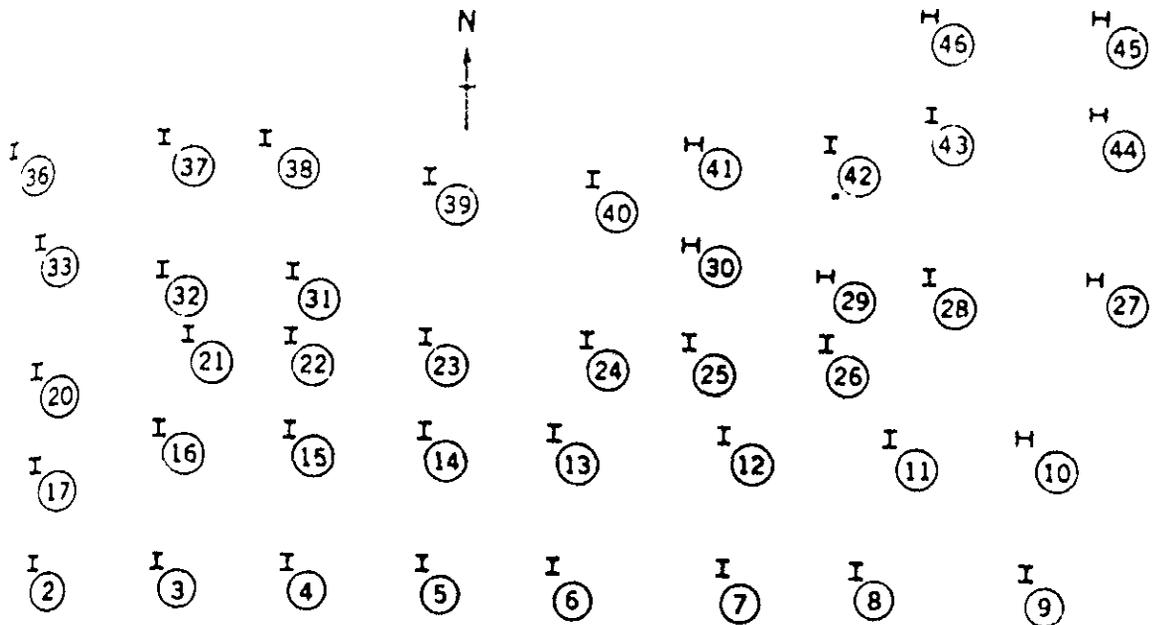


Figura 5.4 Plano para uso general.

Radio (pies)	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
Mástil de 100 pies	30	15	10	7	5	4	3	2	1	
aguilón de 30 pies	8	8	6	4	3	2	1	0.5		
Mástil de 110 pies	25	15	10	7	5	4	3	2	1	
aguilón de 30 pies	8	8	6	4	3	2	1	0.5		
Mástil de 120 pies	15	10	7	5	4	3	2	1	0.5	
aguilón de 30 pies	8	6	4	3	2	1	0.5	0		

Radio (pies)	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140
Mástil de 100 pies	50	35	25	20	15	10	8	6	5				
Aguilón de 30 pies	12	12	12	11	10	8	6	5	4	3			
Mástil de 120 pies	35	25	20	15	10	8	6	5	4	3			
Aguilón de 30 pies	12	12	11	9	7	6	5	4	3	2	1		
Mástil de 140 pies	35	25	20	15	10	8	6	5	4	3	2	1	
Aguilón de 30 pies	12	11	10	8	7	5	4	3	2	1	1		

Redúzcase la capacidad de mástil en 2 ton. cuando está colocado el aguilón de 30 pies.

Figura 5.5 Ejemplo de tablas de capacidad de carga para una grúa.

El plan de montaje hace un análisis del peso de las cargas críticas, el peso de la estructura en cada nivel, el número de piezas y los pesos por área.

Es necesario que las áreas de ensamble se marquen en los planos de montaje, cuando se ensamblen en sitio, debe diseñarse la obra falsa necesaria para soportar los miembros que están ensamblándose, verificando su estabilidad una vez colocado en su sitio.

En el caso de que exista alguna pieza que tenga problemas estructurales en el momento de montaje debe indicarse en los planos con un detalle explicado el problema.

Si se usan grúas móviles, se indicarán la localización y el movimiento de las grúas al levantar las cargas críticas, el orden del montaje, mostrándolos en detalle en los planos, ver figura 5.6

En áreas de grandes claros debe también revisarse la obra falsa e indicarse cuando así se requiera el tipo de apuntalamiento y las características de éste.

En caso de que se utilicen dos máquinas para el levantamiento de una pieza, pueden ser:

- Tomar la pieza en puntos equidistantes de su centro de gravedad, cuando su estabilidad lateral sea correcta.
- Si se monta por el centro, se puede utilizar una viga equilibradora, sujetando a cada una de las poleas en uno de los extremos de la viga y levantando la pieza por medio de un gancho colocado en el centro.
- En el caso en que se use un solo juego de poleas la viga equilibradora permitirá usar varios puntos de montaje si la pieza no es estable al montarla en un solo punto.
- Si son dos juegos de poleas y no son de la misma capacidad deben indicarse en el plano los puntos de montaje en un detalle por separado, los cuales se determinarán dividiendo el peso total entre los pesos que levantará cada juego de poleas en relación directa a sus capacidades.
- Si el miembro puede montarse por el centro de gravedad, pero los dos juegos de poleas son de diferente capacidad, se usa la viga equilibradora, el gancho de montaje se localiza en un punto de la viga tal que la carga se divide de acuerdo a sus capacidades relativas. Para ilustrar este y los casos anteriores, ver la figura 5.7

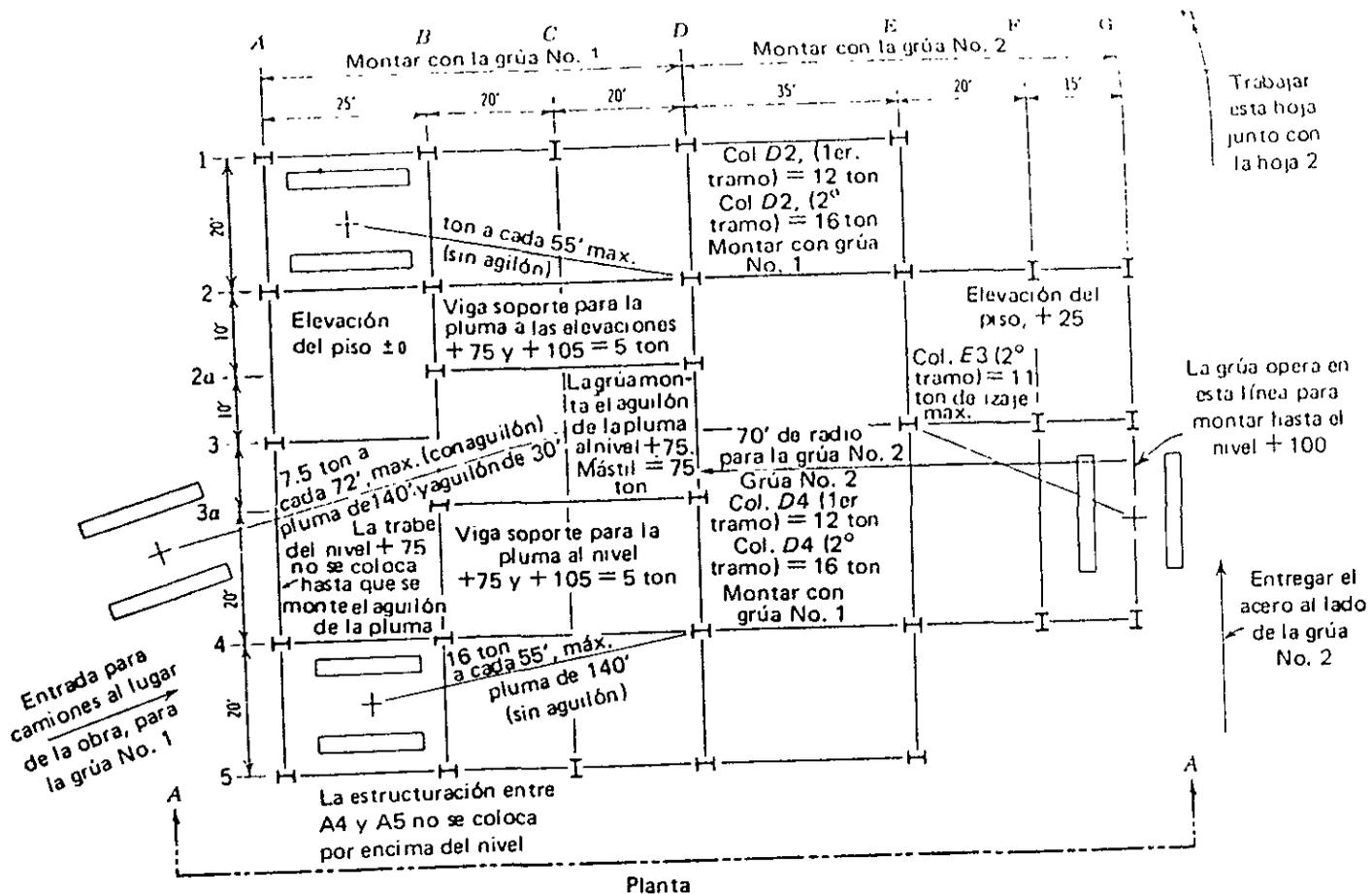


Figura 5.6 Localización de grúas móviles.

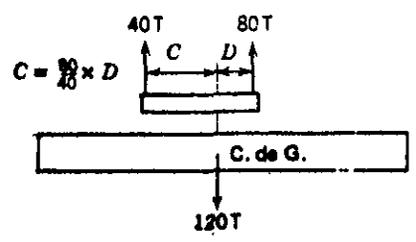
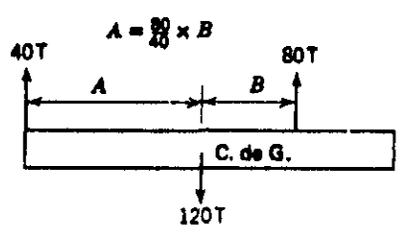
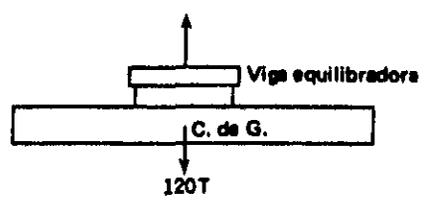
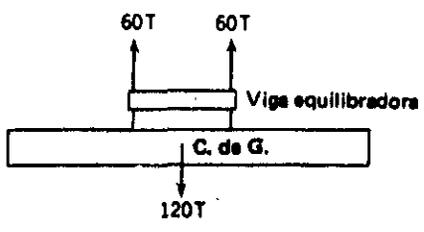
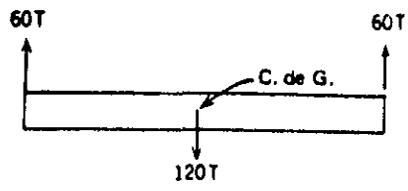


Figura 5.7 Forma de levantamiento de piezas estructurales.

5.2 Transporte

Las estructuras se pueden transportar por vías férreas, marítimas o por carreteras. Cuando se desea transportar una estructura de acero, se deben de considerar aspectos de vital importancia, de entre los que sobresalen están los normativos ya que serán los que marcan limitaciones en aspectos como:

- Longitud de flete
- Carga máxima permisible
- Altura máxima

En las vías de comunicación federales, es el gobierno federal quien crea estas limitaciones, basándose en estudios que se hacen tanto en instituciones públicas como privadas.

En México la Secretaría de Comunicaciones y Transportes es la encargada de llevar a cabo un control sobre los tres puntos anteriormente señalados.

Para obtener el permiso de transporte, este se debe solicitar a dicha Secretaría y cumplir con una serie de requisitos:

1. Se deberá recurrir a la Dirección General de Autotransporte Federal y solicitar una autorización provisional de carga especializada.
2. Informar sobre los datos de la empresa (RFC, domicilio).
3. Tipo de carga transportada.
4. Características del vehículo.
5. Peso y dimensiones tanto del vehículo, como del peso máximo en el momento de transporte. Dentro de las dimensiones se incluye la distancia entre ejes y el tipo de camino por el que se piensa transitar.

Después de esto se fija un plazo dentro del cual el permiso estará vigente y se podrá circular con dicho permiso, previo pago de los derechos correspondientes.

Lo anterior corresponde a un sistema de transporte por carreteras, las limitaciones de este permiso se basan en los esfuerzos que pueden soportar el suelo al recibir el contacto de las cargas y las dimensiones de altura y ancho libre que se encuentren en la ruta sobre todo al circular en las zonas urbanas.

Estas limitaciones en cuanto a carga se refiere, son para prevenir fallas del suelo ya sea por fatiga, resistencia o deformación. De entre estos tipos de falla cabe resaltar la falla por deformación que es ocasionada por exceso de carga o por insuficiencia estructural; y es precisamente lo que se pretende evitar.

El sistema carretero es al que se hace referencia por considerarlo el más frecuentemente usado en nuestro país para transportar estructuras, pero en un proyecto se deben de tener presentes las otras mencionadas.

Con frecuencia las normas legales locales en las zonas urbanas limitan los horarios de entrega de los transportes, debido al abundante tráfico existente en sus carreteras y aunado a ésto el que no todas las calzadas, avenidas o calles son propicias para el paso de transportes pesados o con dimensiones más grandes que las comunes.

El costo del transporte está en función de tres variables:

- a) Cantidad de acero
- b) Método de transporte
- c) Distancia entre el taller y la obra

Se debe de determinar el flete por tonelada de cada proyecto y así poder estimar la cantidad correcta.

En casos especiales, como la entrega en ferrocarril a un depósito, enseguida cargado en camiones y de ahí a la obra en cuestión, deberá incluirse el costo del flete, la descarga de carros de ferrocarril, maniobras y transporte a la obra.

Para organizar la entrega, se debe dar al fabricante la división de la estructura en áreas, así como los sectores que se requieren tan pronto se haya tomado la decisión sobre el tipo y la cantidad de empalmes que se desean en las columnas y la capacidad y equipo que se utilizará; esta información debe incluirse, como se vio en el capítulo III, en los planos de taller, las longitudes de las columnas dependen de la localización de los empalmes y el fabricante no puede ordenar el material hasta conocer este dato.

Las entregas se deben de seleccionar de tal modo que se cubran áreas que se tienen clasificadas desde el taller fabricante. El peso del material que se

entregue en dichas áreas debe mantenerse dentro de las cantidades permitidas y costeables para que ninguna entrega sea menor que la carga mínima que puede acarrear en un camión o en un vagón de ferrocarril.

En el caso de usar una pluma atirantada, las áreas de entrega deben quedar aproximadamente en el espacio que queda entre dos o tres tirantes, para eliminar los movimientos innecesarios del mástil de un área situada entre dos tirantes a otra de las áreas entre dos tirantes diferentes. En ocasiones es conveniente dividir el área que cubre una pluma en cuatro partes formadas por líneas perpendiculares que se cruzan al pie de la pluma.

En el caso de usar una grúa móvil para el montaje no solo es importante el peso de las entregas, sino también el área cubierta; lo ideal sería que con cada una de las entregas se cubriera solo el área que puede alcanzar el mástil de la grúa desde cierta posición. Cuando la estructura es larga, no muy alta y se va a usar una grúa, toda el área debe dividirse para efectos de embarque y montaje de manera que las entregas puedan descargarse y montarse con el menor número de maniobras posible.

5.3 Herramientas y equipo de montaje

Es necesario para el caso de la herramienta que se va a utilizar, una lista detallada de aquel equipo o elemento estructural que necesitará de estas.

Esta lista deberá contener información, del proyecto de montaje como:

- Número de piezas
- Peso de las piezas
- Tornillos, soldadura, remaches

Lo anterior viene acompañado del tipo de cuadrilla que se requiere, así como el tiempo disponible para su ejecución.

Con el tiempo se han elaborado listas que contienen las herramientas de uso más común en el montaje de estructuras de acero, lo cual puede facilitar el manejo de las necesidades que requiere la obra así como de un mejor control del mismo.

Es recomendable, para la elaboración de la lista, seguir un orden alfabético o por grupo, como podría ser el equipo mecánico o eléctrico.

Es normal que el fabricante al vender sus productos informe al cliente, en este caso al encargado del montaje, el correcto uso de las piezas, de tal forma que facilitará el mantenimiento de las mismas.

Debe añadirse a la lista de herramientas que deberá tenerse en la obra, el mantenimiento del equipo de montaje que se va a utilizar.

La lista del equipo de montaje debera contener:

- Número de plumas o grúas
- Longitud del mástil o pluma
- Diámetro y longitud del cable que se requiere
- Tipo y número de poleas
- Pasadores
- Contrapesos
- Ganchos para cables
- Sistema de señales

A estas listas se le pueden agregar más términos o quitarles según la experiencia del ingeniero encargado de la obra, recordando que en la elaboración de las listas mucho importarán las necesidades para el tipo de estructura que se montará.

A continuación se mencionan algunas herramientas que son comúnmente usadas:

1.- Anclas (para concreto y para roca): Son colocadas en la cimbra antes de ser colocado el miembro o para barrenar la roca, ver figura 5.8

2.- Viga equilibradora: Es utilizada para levantar un elemento estructural que puede presentar problemas de flexión o inestabilidad cuando es montada por el centro.

3.- Punzón: Utilizado para sacar remaches, tornillos; como guía para taladros.

4.- Equipo de señalamiento: Campanas, banderas, luces.

5.- Tornillos (de alta resistencia, para montaje y para obra falsa)

6.- Taladro: Dependen del uso que se requiera concreto, madera y del tamaño de la broca.

7.- Bolsa para tornillo: Pueden ser de metal, permite al obrero acarrear varios elementos sin pérdida.

8.- Garruchas: Dependen del tipo de cable, y del número de poleas.



Figura 5.8.a Ancla de extremo abierto (para roca).

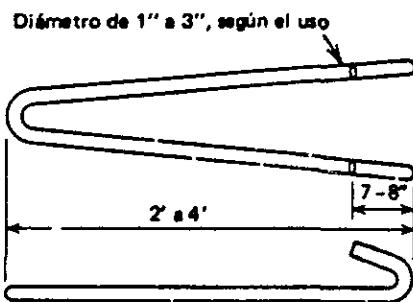


Figura 5.8.b Ancla tipo horquilla (para concreto).

9.- Lijas: Metálicas u otros materiales, permiten una limpieza del material o miembro de agentes dañinos como son los óxidos.

10.- Soplete: Utilizado en soldadura y para cortar remaches.

11.- Compresores, los que se clasifican según el combustible que utilizan y puede ser diesel, gasolina o eléctrico; según su capacidad y el número de ellos que se requiera.

12.- Malacate: En función de su fuerza motriz (mecánico, manual, del número de poleas, de la potencia y la velocidad).

13.- Cortadores: De mano y punta de diamante.

14.- Ganchos: Según su finalidad (para vigas y para columnas). Los ganchos para vigas se deslizan sobre el patín superior de ellas y se aprietan al producirse el tirón sobre el anillo de conexión al cual están unidos.

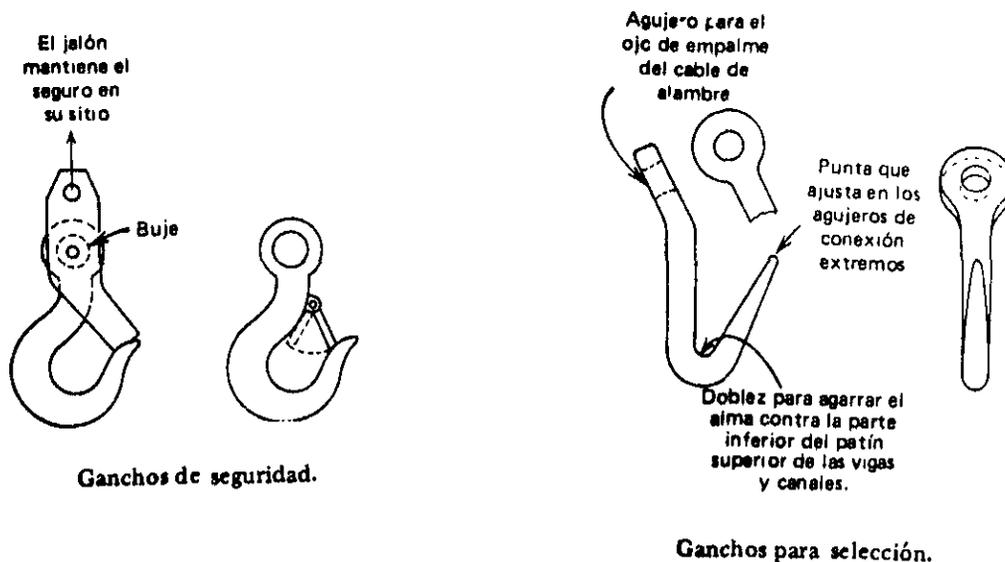


Figura 5.9 Ganchos.

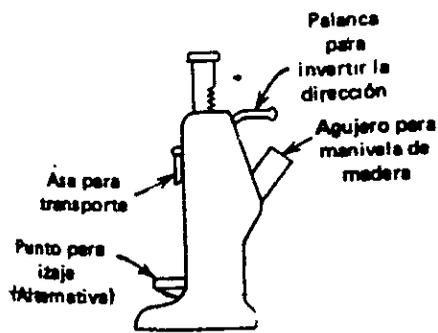
15.- Remachadoras: De presión y neumática.

16.- Rodillos: De madera y acero.

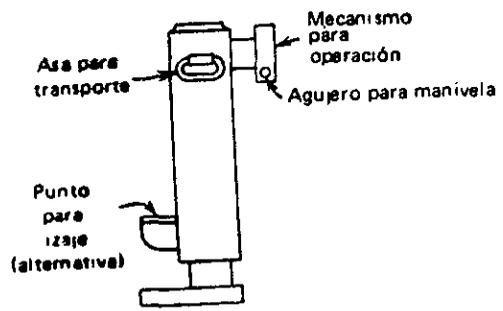
17.- Gatos hidráulicos o mecánicos.

18.- Contrapeso: Usados en toda grúa para poder oponer una fuerza y así evitar el volteo de un equipo durante su momento de carga, varían según las necesidades.

19.- Eslingas de cable, según diámetro, longitud y tipo. Generalmente contienen en los extremos "ojos" para poder sujetar con mayor facilidad la pieza. Las eslingas o cables tienen que ser constantemente revisadas para así evitar posibles accidentes, por desgaste del material.

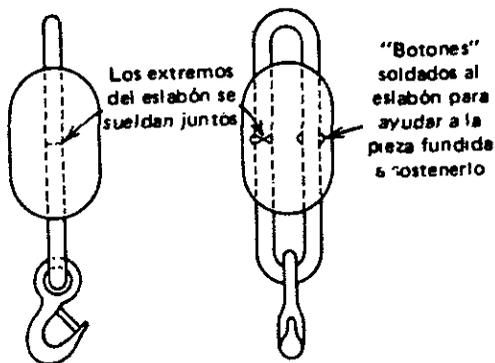


Gato de vía.

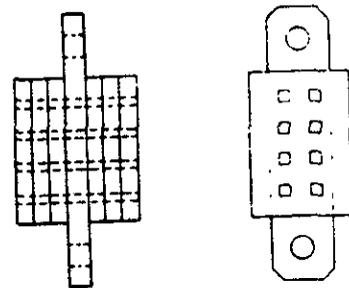


Gato de puente.

Figura 5.10 Gatos hidráulicos.



Uso de un eslabón o una pieza fundida



Uso de placas apertadas

Figura 5.11 Contrapesos.

20.- Madera: Polines, tablones, duelas, tarimas. No se deben de pintar para poder detectar posibles defectos.

Los diferentes equipos de montaje que existen son:

- Pluma de tirantes
- Pluma de patas rígidas
- Pluma viajera
- Grúa sobre orugas
- Grúa sobre camión
- Grúa torre levadiza
- Grúa torre fija o estática
- Mástil

Pluma de tirantes.- Es de los más utilizados en edificios que tienen varios niveles, sus componentes son:

- Mástil de giro
- Mástil de carga (elemento movable)
- Líneas de carga
- Líneas de mástil
- Tirantes

El mástil es el elemento que según convenga en el montaje puede girar hasta 360°, por lo que hace a este tipo de pluma un equipo con ventaja sobre otros, ver figura 5.12.

El mástil de carga es el miembro de mas movimiento en la pluma, será el encargado de llevar consigo las líneas de carga, lo que provocará el montaje de la estructura, o en su defecto la descarga de un elemento.

Los tirantes dan el nombre a la pluma y son los encargados de sostener el mástil en su lugar.

Las plumas de tirantes se construyen con elementos de acero largos los cuales se atornillan entre sí después de ser utilizados o en el momento de transportar el equipo, por lo que facilita en gran medida su traslado.

Hay ocasiones en que se están colocando columnas en posición vertical por lo que es necesario girar el mástil con el objeto de mantener las líneas de carga por encima del punto de montaje.

Su desventaja es que necesita levantarse el mástil de carga cada vez que se mueve del área limitada por otros tirantes, aunque este problema se ve contrarrestado por la facilidad con que puede cambiarse verticalmente de piso a piso facilitándose su manejo en estructuras altas.

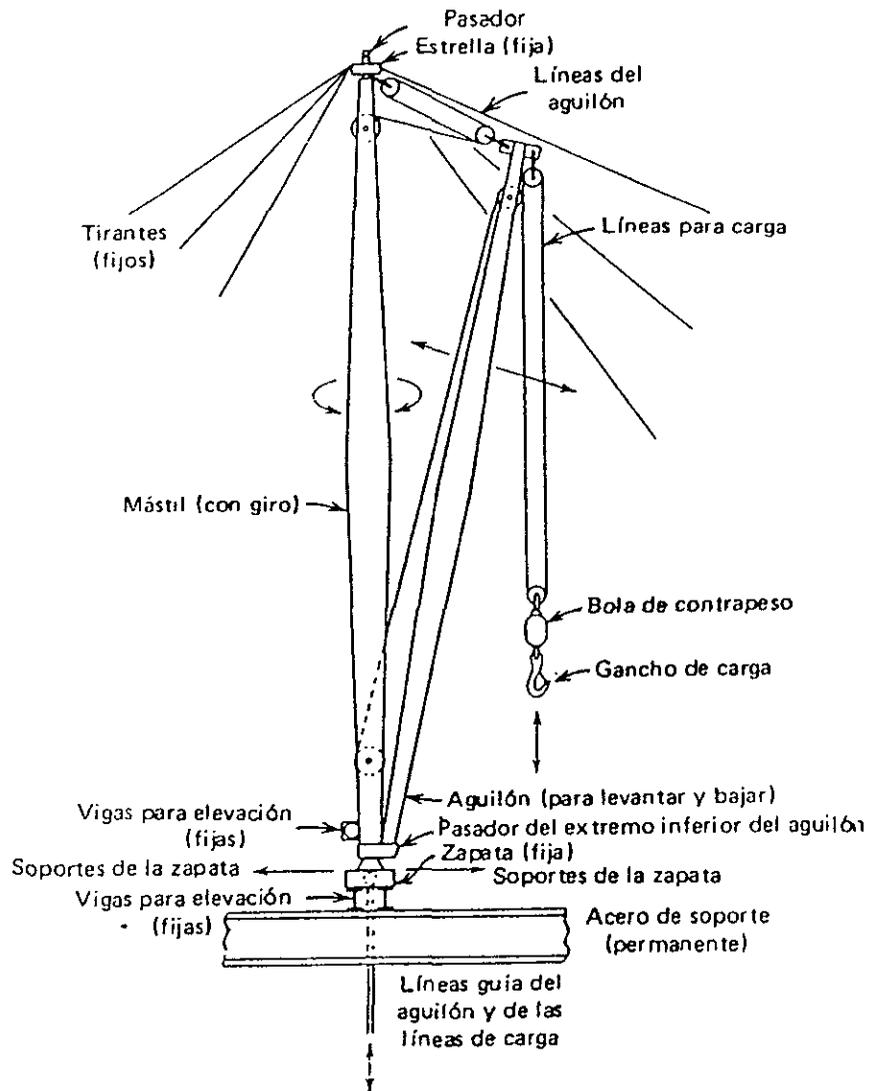


Figura 5.12 Pluma de tirantes.

Pluma de patas rígidas.- La pluma se compone de cuatro miembros rígidos:

- Mástil de carga
- Mástil vertical
- Líneas de carga
- Líneas secundarias

Es común que los miembros que componen el equipo estén formados a base de placas y ángulos.

El mástil de carga se fija al pie del mástil vertical usando un pasador que le permita girar verticalmente sobre él, subiéndolo o bajándolo por medio de la línea que lo une con el mástil vertical.

En relación con el transporte de la pluma, se facilita por el hecho de que el mástil es fabricado con placa y ocupa un menor espacio al poder desarmarse para transporte y empalmarse en el montaje.

Estas plumas son de gran capacidad y por lo mismo las líneas de carga constan de diferentes partes, ver figura 5.13

El mástil de vertical y el mástil de carga solo pueden girar desde la posición en que el mástil llega a una de las patas posteriores hasta la posición en que llega a la otra.

Plumas viajeras.- Este tipo de plumas operan sobre los rieles fijos usando el malacate sobre un carro rodante.

Están compuestos con dos frenos que ayudan durante el montaje, uno de los cuales actúa sobre la flecha del motor y otro que funciona en los engranes de la carga, están diseñados para frenar hasta 1.5 veces la carga de montaje.

Tienen equipo de seguridad que hacen un paro automático del motor cuando la carga que está siendo levantada rebasa los límites de seguridad.

Se recomienda por lo mismo que se someta a pruebas para verificar las condiciones de los frenos levantando la carga hasta una altura de 30 cm.

Después deberá revisarse propiamente la estructura verificando que se encuentre en condiciones aceptables.

Se hace notar que este tipo de plumas es utilizado principalmente para el movimiento de elementos estructurales que están en etapa de fabricación. Esto se debe a que requiere de instalaciones especiales, tales como los rieles de los equipos, lo que incrementa su costo considerablemente sobre todo si se considera temporal su uso. Su uso está limitado al montaje de naves industriales.

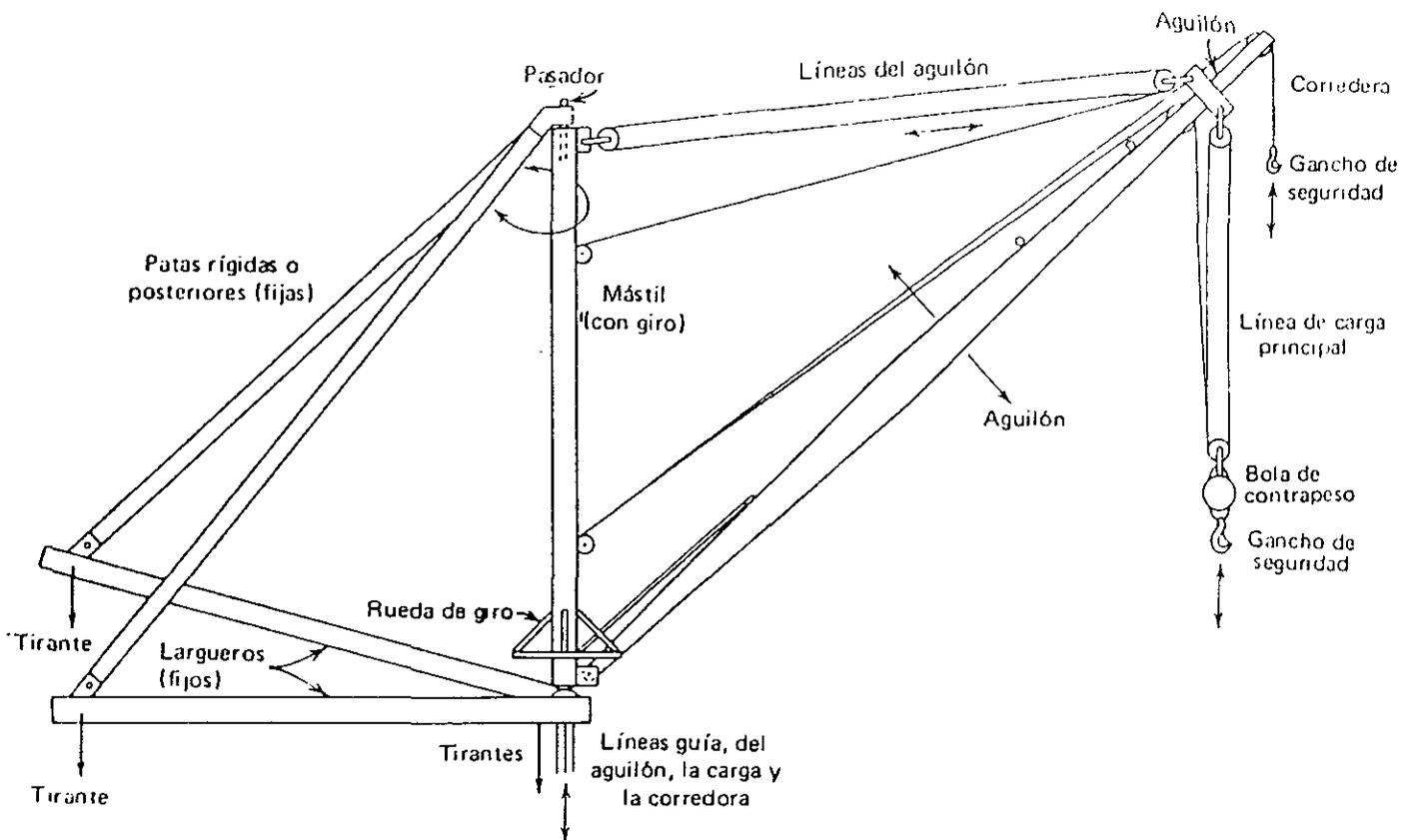


Figura 5.13 Pluma de patas rígidas.

Grúas sobre orugas.- Este tipo de grúas son utilizados en excavaciones y montaje de niveles bajos. Es muy usado para la descarga de elementos y colocación de éstos en las zonas de almacenamiento, durante la etapa de construcción, ver figura 5.14.

Este tipo de grúa está equipado con un motor de combustión interna que hace funcionar a los tambores para las líneas principales de carga y el mástil de carga. El mismo motor hará girar a la grúa hasta 360° e impulsará a las orugas. El cuerpo de la grúa gira sobre un pasador central o por medio de rodillos colocados sobre un anillo de soporte fundido. Son los rodillos de la parte frontal los que deberán resistir el esfuerzo producido por el contrapeso al encontrarse la grúa sin carga y así mismo los rodillos de la parte posterior deberán resistir los esfuerzos cuando en la grúa se encuentre montado un elemento.

Es común para obtener una mayor estabilidad que las grúas de mayor capacidad se prolonguen hacia los lados cuando se encuentren en servicio. La capacidad de estas grúas llega hasta las 200 toneladas con un mástil de carga de 20 m.

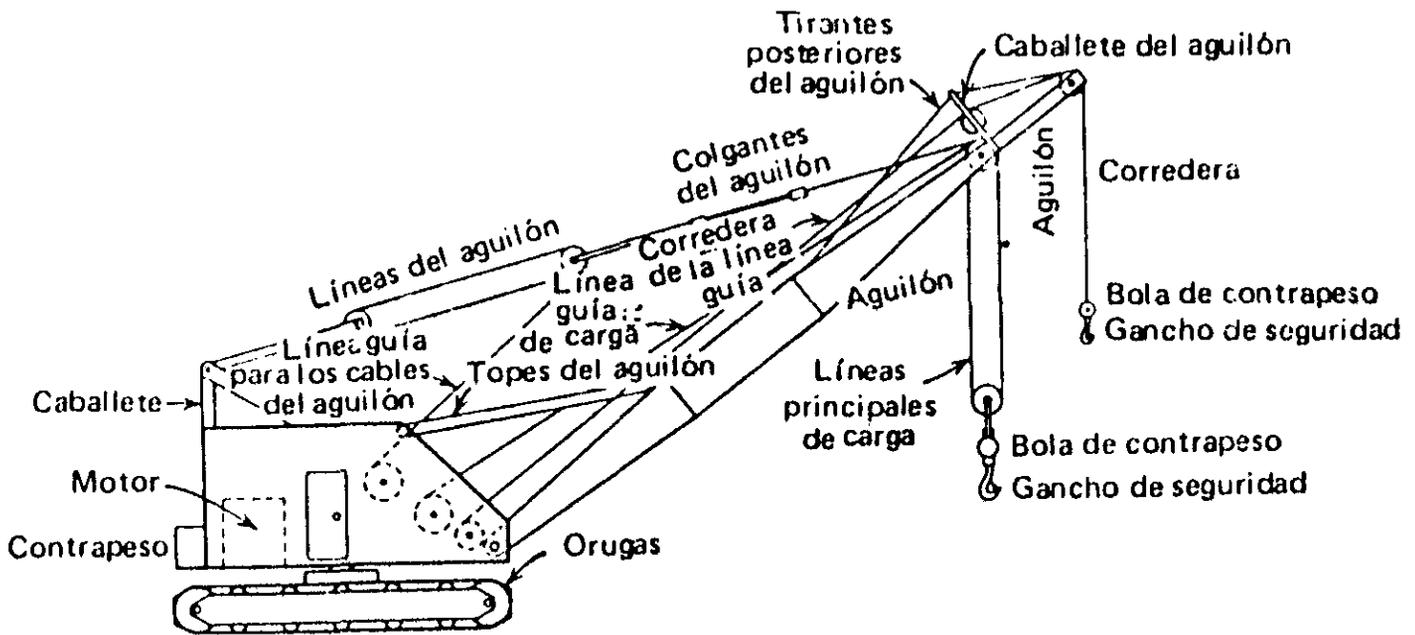


Figura 5.14 Grúas sobre orugas.

Grúas sobre camión.- Este tipo de grúa al igual que la que se encuentra montada sobre orugas es usada para descarga de elementos estructurales y edificios de pocos niveles debido a las limitaciones de su mástil de carga.

Presentan entre otras ventajas medios de propulsión que le permiten transitar por calles sin necesidad de otro medio para hacerlo.

Se compone de un chasis con una cabina en la parte frontal que opera el mecanismo de manejo, éste es independiente del cuerpo de la grúa la cual se localiza en la parte posterior del chasis permitiéndole así que pueda llegar a girar hasta 360 grados, ver figura 5.15

Igual que las grúas montadas sobre orugas el mástil de carga se une a la grúa por medio de un pasador permitiéndole a ésta el poder desmontarse según se necesite. Se llegan a tener equipos hasta de 125 toneladas y alturas de mástil de hasta 90 m.

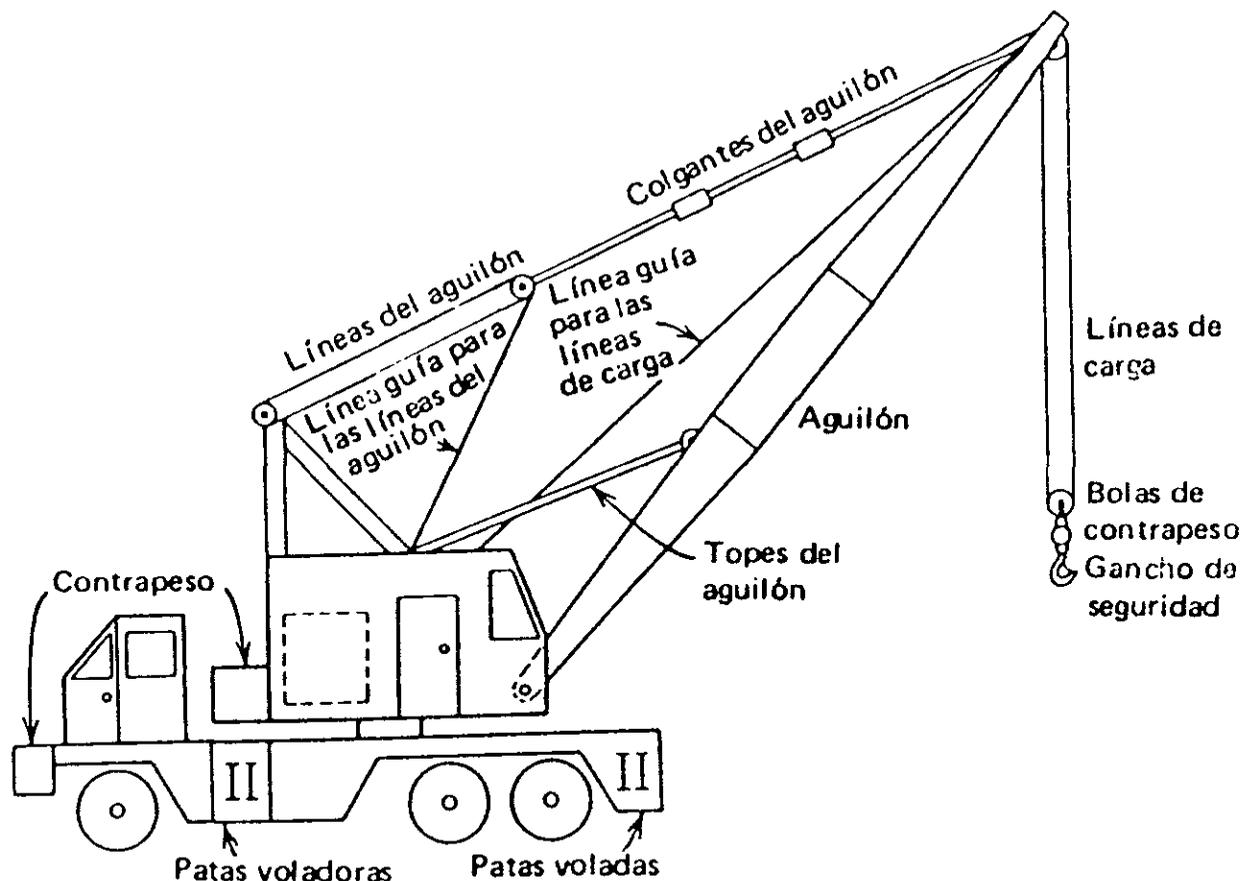


Figura 5.15 Grúa montada sobre camión.

Grúas torre levadizas.- Es una variable de la torre fija o estática con la mejora de su rápido movimiento así como de su forma de desmantelar a la hora del transporte, ver figura 5.16

La forma de construcción se resume en:

La construcción en el terreno de una base formada por cuatro vigas "I" de 24", remachadas, tendiendo a formar una cruz con su centro localizado exactamente en uno de los huecos por donde se localizarán los elevadores.

Se colocarán contrapesos en cada una de las vigas.

Se monta una torre de 4 x 4 pies, hasta una altura aproximada de 20 m.

Se colocará en la punta una grúa giratoria y en ella una pluma de 25 m de largo para una capacidad de cinco toneladas.

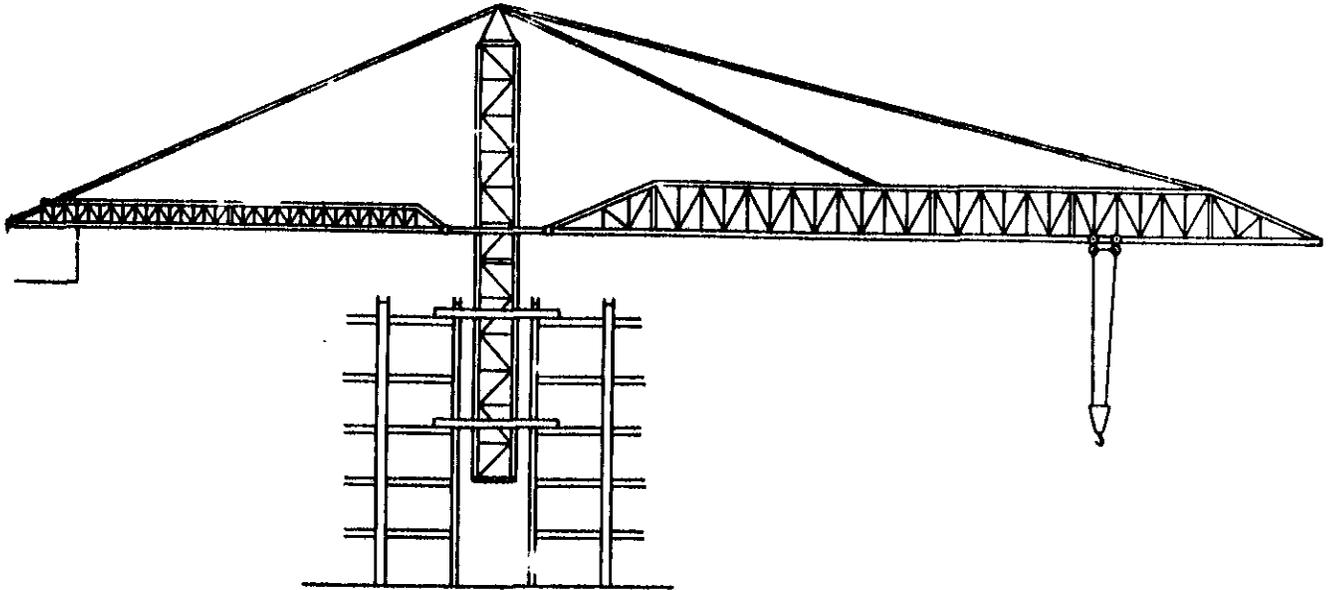


Figura 5.16 Grúa de torre levadiza.

El edificio se irá construyendo alrededor de dicha grúa hasta un determinado nivel especificando en los planos de montaje. Tan pronto como los niveles inferiores estén montados se colocará la grúa asegurándola en cada nivel, hasta el nivel deseado.

Dos niveles inferiores se hace pasar un cable de acero por la grúa de la estructura el cual se extiende hacia abajo de la grúa hasta llegar a una polea fija en el fondo, el cable continúa hasta llegar a una polea móvil en la parte superior de la grúa, continuándose hasta la parte inferior de la grúa por otra fija llegando hasta dos niveles por debajo del deseado, donde se asegura el cable.

Posteriormente es un malacate el que uniendo su cable con el sistema de poleas anteriormente descrito subirá la grúa hasta depositarla en el nivel en el cual su alcance permita la construcción del siguiente piso, asegurándola con una nueva base.

Las ventajas de este equipo son que no existe un límite de altura, no se localiza en la calle y el operador tiene una vista clara de lo que se está construyendo.

Grúa torre fija o estática.- Este tipo de grúa es muy utilizado en nuestro país para edificios altos.

La grúa se levanta hasta una altura máxima que irá de acuerdo con la necesidad de la estructura en su proceso de construcción.

Recibe el nombre debido a que cuenta con una cimentación de tipo permanente o fija.

Consta de una torre exterior rectangular o cuadrada hecha a base de ángulos; dentro de esta torre se encuentra otra de tipo telescópica y en cuya parte superior se coloca el equipo para montaje, el cual consta de un brazo de carga que se conecta a la torre por medio de pasadores, en el brazo se encuentra un sistema de poleas encargadas del montaje.

En la parte posterior de la torre se localiza un brazo de contrapeso, que junto con el brazo de carga tiene el peso suficiente para balancear la carga del montaje, ver figura 5.17

Este tipo de grúa tiene gran capacidad de giro, de maniobra y por lo tanto de montaje.

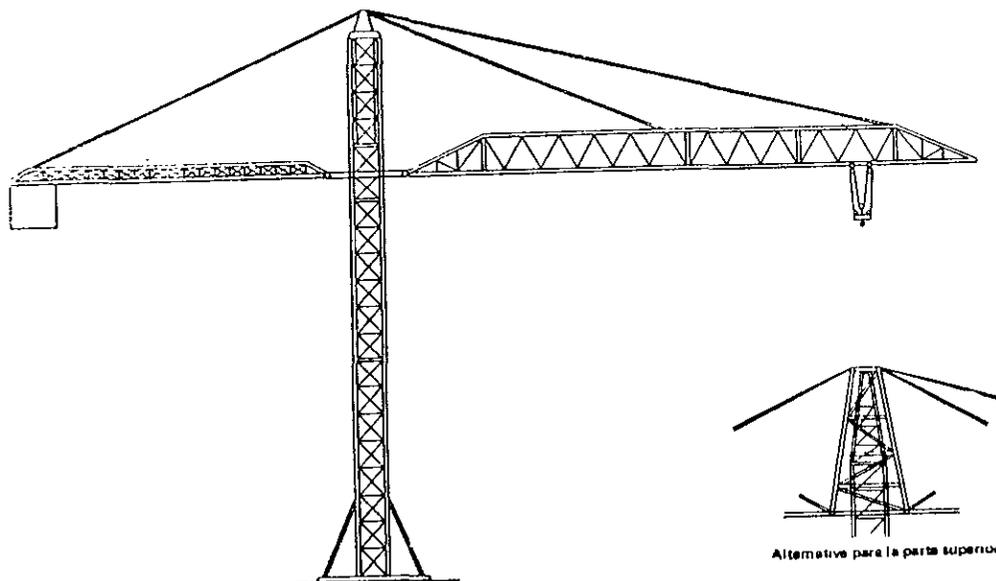


Figura 5.18 Grúa torre fija o estática.

Mástil.- Es un sistema muy utilizado para edificios de pocos niveles, uno o dos, por su bajo costo, fácil transportación y rápida colocación.

Construido con miembros estructurales, ya sean de ángulos o tubos de acero, el mástil se mantiene recto por medio de tensores que pueden ser de acero o cuerda de un diámetro mayor. Cuenta con un sistema de poleas operado por un malacate o tirfor.

Se pueden utilizar pares de mástiles según las necesidades; así mismo se le pueden agregar secciones para aumentar su altura.

La desventaja es que se incrementa su costo al ir agregándole mayor número de partes, y también carece de capacidad de giro.

5.4 Procedimiento de montaje

Después de que se ha revisado el avance de los trabajos de cimentación, bases o pilas, para asegurarse de que el lugar de la construcción estará listo para la fecha programada de iniciación de trabajos, debe ordenarse la estructura para tenerla lista en el momento adecuado. Si se va a usar un patio para la descarga y almacenamiento de los embarques antes de que se necesiten en la obra, o para el ensamble de travesaños, armaduras o para ensamblar otros componentes de cierto grupo de miembros antes de llevarlos al lugar del montaje, este patio deberá tenerse listo a tiempo para recibir la primera entrega de estructura.

Suponiendo que ya se han organizado las operaciones del patio, o que éste no se utilizará, entonces comenzarán los trabajos en el lugar de la construcción. El ingeniero encargado debe haber confirmado la existencia de puntales en la excavación, para asegurarse de que no interfieren con el montaje y la colocación de una pluma, o que no haya obstáculos para los movimientos de una grúa o pluma viajera. Si la estructura se va a montar con una pluma y los puntales interfieren con la colocación del equipo a nivel de piso, puede ser necesario usar una torre de obra falsa, construida de manera que sus miembros libren los puntales, colocando la pluma encima de la torre; esta condición se debe haber previsto, mostrando en los dibujos del plan de montaje la localización y construcción de la torre.

Si se requiere de una rampa para dar acceso al lugar donde se comenzará el montaje de la estructura, o para la entrega de herramienta y equipo dentro de la excavación, y quizá después para la entrega de la estructura, esta rampa debe estar ya en su sitio; si otras la construyeron, se debe revisar

para asegurarse de que será adecuada para los requisitos del montador. Si el montador de la estructura debe construir la rampa, se necesitarán herramientas y equipo con suficiente anticipación, y la entrega de los materiales para la construcción de la rampa debe programarse de manera que ésta se termine antes de que se haga la primera entrega de la estructura.

Dependiendo del tamaño de la obra y del tipo de las herramientas y el equipo necesarios para las operaciones de montaje, se debe programar su entrega, de modo que cuando tenga todo listo para trabajar, las cimentaciones estén terminadas y el lugar esté preparado.

Se debe de confirmar la disponibilidad de personal capacitado para los diferentes trabajos, montadores, aprendices, operadores de grúas y malacates; por lo general se contará con capataces clave que trabajan con el ingeniero en cargado de obra a obra y, si no los tiene o necesita más los debe de encontrar. Si este tipo de personal no se encuentra en la localidad, puede ser necesario conseguirlo en otra zona y pedirle que vayan al lugar de la construcción; al mismo tiempo, es conveniente observar a los montadores sobresalientes que puedan ser capataces de las cuadrillas pequeñas, bajo supervisión y observación estrecha, pueden desarrollarse nuevos capataces o jefes de brigada.

Un capataz de soldadores debe tener la habilidad de soldar en todas las posiciones, de manera que pueda saber si el trabajo se está haciendo en forma correcta; debe tener conocimientos suficientes sobre generadores, transformadores o rectificadores, según sea el equipo que se use, para instruir a su personal y saber si lo están usando correctamente, así como darse cuenta de algún desperfecto en las máquinas. Debe saber como interpretar los símbolos de soldadura de los dibujos, de manera que pueda confirmar si se está haciendo el tamaño y tipo adecuado de soldadura; debe ser capaz de reconocer la mano de obra defectuosa y, de manejar al personal y hacer que su producción sea satisfactoria.

En construcciones de volumen considerable, es conveniente tener capataces a cargo de cada una de las cuadrillas de izaje, plomeo y ajuste, de izaje manual o ajuste, de atornillado, remachado y de soldadura; En construcciones pequeñas por lo general uno de los capataces puede encargarse de las cuadrillas de plomeo y ajuste, así como de los remachadores o atornilladores; otro capataz puede encargarse de las cuadrillas que montan a mano y detallan las piezas pequeñas que no fueron colocadas por las plumas, o corrigen errores y realizan otros trabajos. En una construcción en que se usen muchas grúas, es conveniente contar con un capataz general que asista al ingeniero encargado o director responsable de obra; si se tienen varias plumas trabajando al mismo tiempo, puede ser muy valioso un jefe de piso o director responsable de obra asistente o corresponsable.

Para comenzar los trabajos, es conveniente tener una brigada mínima o básica, aumentándola según se requiera.

Es importante también contar con casetas, oficinas o remolques donde el personal pueda realizar labores administrativas, de almacenamiento o trabajos que requieran de un local apropiado como puede ser el almacenamiento y mantenimiento de herramientas, o necesidades propias del personal como es el mudarse de ropa y asearse; incluyendo dentro de estos locales los de servicios sanitarios necesarios para los trabajadores.

Por lo general, mientras se efectúa lo anterior, los ingenieros han completado las revisiones topográficas para establecer los centros de base, revisando la localización de los pernos de anclaje, las elevaciones de las linternas o calzas, de los ángulos guía o placas de nivelación para que estén listas para recibir los emparrillados, placas base y losas.

Para descargar los transportes en el lugar de la construcción deben usarse dos eslingas de ojos dobles, con el suficiente peso y longitud para manejar las cargas dentro de la capacidad del aparejo requerido. Las eslingas se amarran al rededor de la carga en los puntos tales que cuando se levante la carga con una eslinga se pasa uno de los ojos a través del otro y el ojo libre se fija entonces a los separadores de izaje del gancho o bloque principal de carga, de preferencia a un gancho de seguridad. Se usa después una línea de seguridad en uno de los extremos, o uno en cada extremo, para estabilizar la carga según se va izando desde el transporte y se lleva al área de montaje para seleccionar, distribuir y después montar los diferentes miembros de la carga.

Si se ha preparado un patio y existe un buen control de materiales, como sucede cuando la entrega de materiales se hace por medio de camiones, desde el taller del fabricante, se montan las columnas que formen las cuatro esquinas del panel, así como toda la estructura secundaria, del panel, que esta situada entre los pisos del panel en cuestión. Con esto se permite plomear ajustar con facilidad las columnas y conexiones para tener un área en donde se pueda colocar ya un piso de tablonos y en él se colocarán las escaleras.

Las piezas que forman parte de una estructura deben entregarse en las áreas donde trabajan las plumas o las grúas, y cuando sea posible dividiendo los lotes en subdivisiones más pequeñas, como entre los tirantes de una pluma, o en lograrse si el fabricante coopera enviando los embarques según se soliciten, o utilizando en la obra un patio de descarga y distribución.

Por lo general, para el montaje se coloca en el centro de la pieza un estrobo con ojos en ambos extremos y un cable adicional; a continuación se iza la pieza hasta el lugar donde la esperan los encargados de conectarla, usando el cable adicional para guiarla hasta ellos. Este cable se puede jalar cuando es necesario voltear la pieza para librar alguna otra, de la estructura ya colocada.

Se debe contar con escaleras para colocarlas en cuanto se monte cualquier sección de una hilera, permitiendo así el acceso seguro desde el terreno o el piso de trabajo hacia el siguiente nivel que se está montando. Estas escaleras deben apoyarse en terreno firme o en tablonés, colocando suficientes para que una persona que descienda pueda apoyarse en ellos con seguridad; de manera similar debe haber suficientes tablonés en el nivel superior, para que las personas que lleguen a la parte más alta puedan pisar con seguridad. Los montadores encargados de las conexiones se entrenan para poder trepar por las columnas para moverse de un nivel a otro, pero por motivos de seguridad, economía y eficiencia, deben colocarse escaleras para que las usen ellos y otras personas tan pronto como sea posible después de iniciar el montaje de cada nuevo nivel. La parte superior de las escaleras debe fijarse a la estructura, de modo que no pueda resbalar cuando un obrero suba por ellas o en caso de que se golpeen por accidente al mover una pieza de la estructura. Se deben prolongar por encima del piso del trabajo, de modo que una persona pueda asirse a sus lados antes de pisar los travesaños.

En algunas ciudades se especifica claramente como un requisito legal la distancia que deben prolongarse las escaleras por encima del piso superior, lo cual debe tomarse en cuenta al ordenar las que se utilizaran en obra. En un edificio alto, si no se han instalado las escaleras permanentes al terminar el izaje, plomeo, ajuste y conexión de un cierto nivel, deben dejarse colocadas las escaleras provisionales hasta que se montan aquellas, se instale el elevador, o se suministre algún otro medio para que los montadores puedan llegar hasta su lugar de trabajo.

En el caso de los montajes con grúa o al iniciar un montaje con pluma, en general el encargado de las señales se encuentra a la vista del operador de la grúa o malacate; cuando la pluma se ha cambiado a un nivel, ya no se tiene este caso y las señales se transmiten al operador por medio de una campana, una luz o un sistema vocal.

Cuando se pueden dar las señales en forma directa, de manera visual, existe un conjunto estándar de señales manuales, ver figura 5.18. Las señales generalmente conocidas en el montaje se estructuras de acero son:

1. **Levantar:** Con el antebrazo vertical y los dedos extendidos, se mueve la mano repetidas veces hacia atrás y hacia adelante, con un pequeño movimiento circular.
2. **Bajar:** Con el brazo extendido, la mano abierta se mueve repetidas veces hacia abajo y hacia arriba.
3. **Alto:** Con el brazo extendido y la mano abierta colocada al nivel de la cadera, se mantiene inmóvil en esta posición.
4. **Girar:** Con el brazo extendido y apuntando con el índice en la dirección del balanceo.
5. **Levantar el aguilon:** Con el brazo extendido y los dedos doblados, pero el pulgar apuntando hacia arriba, moviendo la mano repetidas veces hacia arriba y hacia abajo una distancia corta.
6. **Bajar el aguilon:** Con el brazo extendido y los dedos doblados, pero el pulgar apuntando hacia arriba y hacia abajo una distancia corta.
7. **Avanzar:** Con el brazo extendido y la mano abierta moviéndola en el sentido en que se debe avanzar.
8. **Moverse lentamente:** Con una de las manos hágase la señal para la operación deseada, manteniendo la otra mano abierta y cerca de ella.
9. **Alto de emergencia:** Con el brazo extendido, la mano abierta y la palma hacia abajo, muévase la mano rápida y repetidamente con un movimiento tajante.
10. **Levantar el aguilon y bajar la carga:** (manteniendo la carga a la misma elevación): Dése la señal de levantar el aguilon, abriendo y cerrando repetidamente los dedos.
11. **Bajar el aguilon y subir la carga:** (manteniendo la carga a la misma elevación): Dése la señal de bajar el aguilon, abriendo y cerrando repetidamente los dedos.
12. **Asegurar todo:** Enganchándose los dedos de una mano con la otra, con las palmas encontradas.

13. Detener las orugas: Con los antebrazos horizontales y los puños cerrados, muévase una mano hacia delante y la otra hacia atrás, para indicar la dirección de la rotación deseada y repitiendo el movimiento hasta que sea necesario.

Al utilizar las señales manuales, cuando se usa una línea auxiliar y una línea principal de carga, se debe tocar ligeramente la cabeza si la señal se refiere a la línea principal y debe tocarse el codo si la señal se refiere a la línea auxiliar.

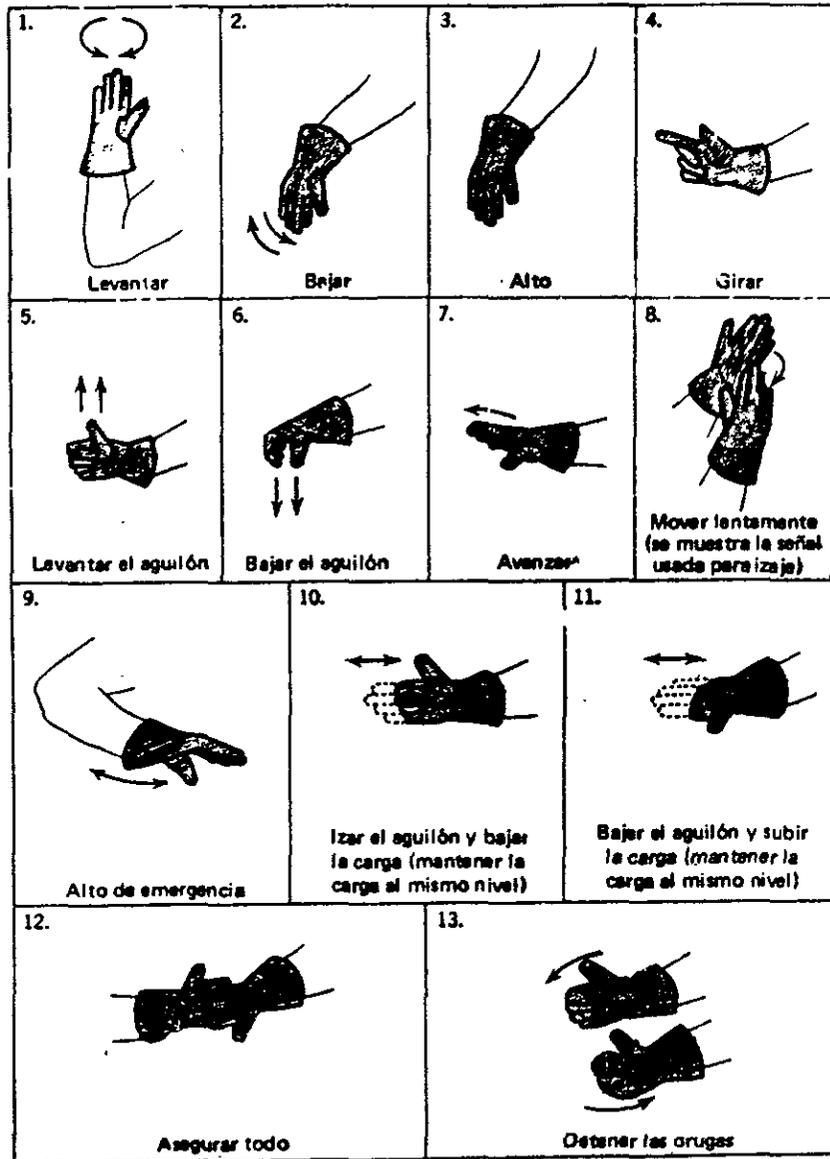


Figura 5.18 Señales manuales.

Tan pronto como se monta el primer panel de la estructura, la cuadrilla de plomeo debe encargarse de instalar tirantes, en caso necesario. Si se cuenta con un almacén bien manejado, los tirantes se enviarán listos para usarlos; de otra manera, los montadores deberán tomar los rollos de cable, de 5/8", 7/8" ó 1" de diámetro, dependiendo de los requisitos, cortándolo a la longitud necesaria, haciéndole un lazo en un extremo alrededor de un gancho especial e instalando clips para mantenerlo bien formado. En uno de los extremos de templadores con dos ojos, de tamaño adecuado a los tirantes de cable de alambre, se insertan ganchos similares; los cables pueden ser viejos o nuevos, siempre y cuando los viejos todavía sean lo bastante fuertes para el uso que se les dará.

El gancho, a menudo llamado "pata de cuervo" debido a su forma, consiste en una varilla doblada a 180°, con sus lados juntos y doblados después en sus puntas a un ángulo ligeramente menor que 90° con respecto al plano del gancho, ver figura 5.19. El doblado es tal que puede deslizarse sobre el borde del patín de una viga o sobre el mismo tirante, manteniéndolo en su sitio con el tirón del templador del tirante.

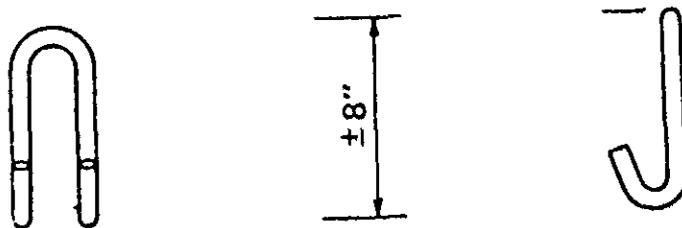


Figura 5.19. Gancho para plomeo "pata de cuervo"

El gancho del tirante se coloca sobre el patín de una viga de un piso superior, o se enrolla el tirante al rededor de una columna del piso superior y se coloca el extremo doblado del gancho sobre el tirante; el gancho del templador se coloca sobre el patín de una viga de un piso inferior, casi siempre un nivel por debajo o en el piso de trabajo, uno o dos paneles más lejos. Con el

templador abierto casi por completo, el extremo libre del tirante se desliza a través del ojo libre del templador, se jala a mano dicho tirante y se colocan pernos para mantenerlo dentro del ojo del templador. Después se instala un segundo tirante de manera similar, pero en dirección opuesta, para formar una cruz diagonal, ver figura 5.20, con el extremo superior del segundo tirante colocado en una columna adyacente, al mismo nivel superior y directamente encima del extremo inferior del primer tirante. El segundo templador se engancha en el nivel inferior, directamente por debajo del extremo superior del primer tirante.

Apretando uno de los templadores y aflojando el otro, las columnas moverse de un lado a otro, después de haber colocado pasadores y tornillos de montaje.

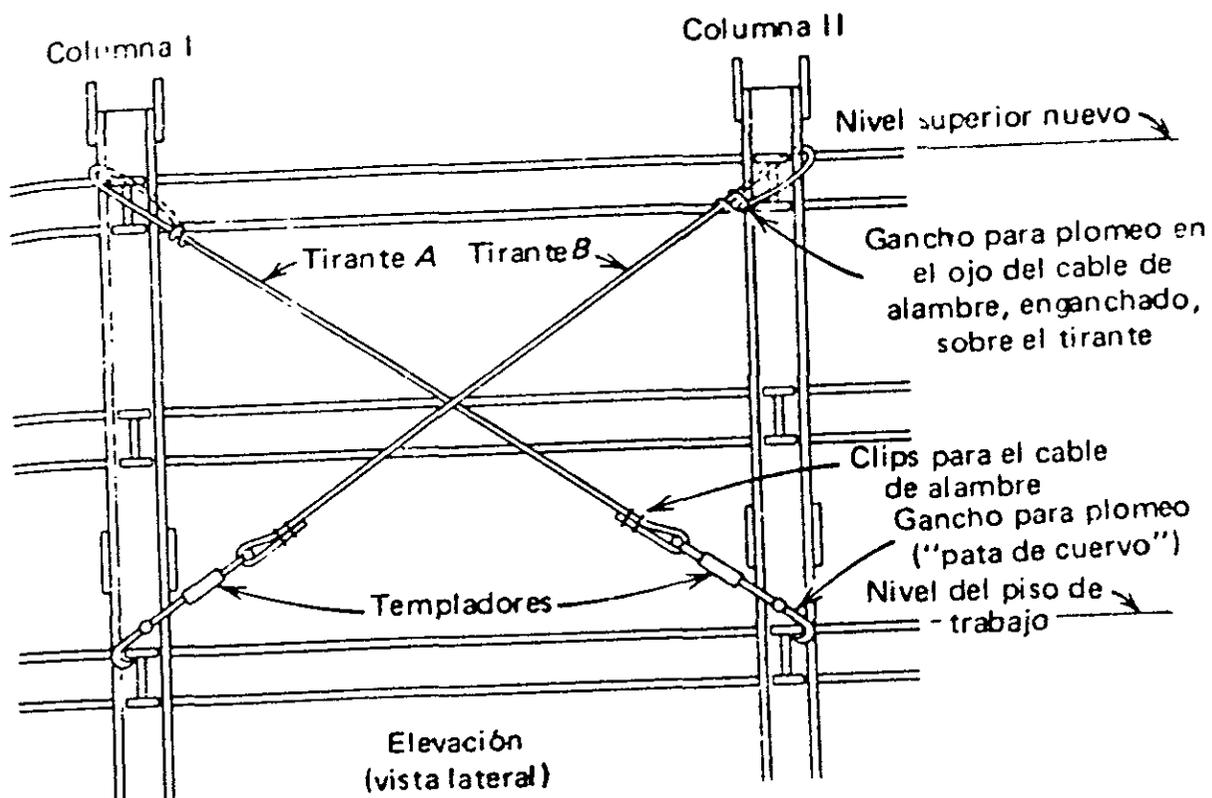


Figura 5.20 Distribución de tirantes de plomeo.

Para confirmar la verticalidad de las columnas se baja una plomada ligera colgada de un cordel, o una plomada pesada colgada de un alambre, del nivel superior al nivel inferior; esta plomada se coloca a una distancia determinada de la cara de la columna, por medio de una regla marcada y el montador que está en el nivel inferior mide la distancia que hay del cordel a la misma cara de la columna. Si esta distancia es la misma que en el nivel superior y en ambas direcciones, se considera que la columna está aplomo; si es mayor o menor, se aprietan y aflojan los templadores para jalar la parte superior de las columnas hasta que estén a plomo.

Como las dimensiones del rolado de las secciones de las columnas tienen una tolerancia y también la mayor parte de las especificaciones permite otras tolerancias adicionales, puede ser imposible localizar las columnas en el lugar exacto donde deben estar. De manera semejante, el montador debe tener cierta tolerancia para plomear las columnas. Por lo general, las tolerancias permisibles en las laminadoras, en la fabricación y en el montaje no son acumulativas, sino que se eliminan unas con otras.

Por lo regular, en las especificaciones se estipulan las tolerancias permitidas o se indican los reglamentos que tienen que respetarse, tales como el A.I.S.C., el cual permite una desviación en el plomeo de las columnas y una falta de nivel en las vigas y trabes, dependiendo de si las columnas son de la fachada del edificio, de un tiro para elevador, o columnas intermedias; las columnas más importantes en cuanto a plomeo son las de la fachada del edificio y las que están al rededor de un tiro para elevador. Cuando se va a instalar una cubierta metálica en la cara o fachada de un edificio, el plomeo de las columnas de fachada es crítico y se debe de comprobar las tolerancias permitidas.

En ocasiones, las piezas de la estructura se fabrican un poco más largas o más cortas; en el primer caso, puede ser necesario quitar los tornillos de montaje e instalar tornillos de menor diámetro, quitando los pasadores y jalando las columnas con los tirantes. Si las piezas son cortas, también se pueden necesitar tornillos de menor diámetro; así jalando los extremos de las vigas y de las columnas y alojando los tirantes, las columnas se pueden empujar hacia la posición requerida. En cualquier caso, a continuación se aprietan los tornillos, se riman los agujeros de conexión y se fijan en forma permanente las conexiones. En el caso de conexiones atornilladas o remachadas, los agujeros que se riman son los permanentes y se necesitarán tornillos de mayor diámetro para rellenarlos. Si la fijación permanente se hiciera mediante soldadura, los tornillos de ajuste se colocarán dentro de agujeros para montaje.

Para completar la fijación permanente, si los agujeros coinciden sin mayor problema, los trabajos de ajuste prosiguen después del plomeo, o al mismo tiempo. Si los agujeros no coinciden solo ligeramente, las cuadrillas de ajuste usarán una rima para agrandarlos, por lo general esta rima es neumática o eléctrica y con ella se pueden ajustar lo suficiente para colocar los remaches o tornillos del diámetro correcto. Cuando los agujeros no coinciden debido a discrepancias de fabricación, la cuadrilla de ajuste los rimará a un mayor diámetro y, tan pronto como se haga coincidir, se usan tornillos y pasadores para conectar las piezas entre sí.

En el caso de estructuras con remaches o tornillos de alta resistencia, las cuadrillas de atornillado o remachado con frecuencia realizan las labores de ajuste como parte de su trabajo normal; en este caso se les proporcionará una llave de impacto neumática o eléctrica, así como una rimadora. Los remachadores también tendrán un martillo para remachar. Para que las caras de las diferentes piezas entren en contacto se selecciona una cierta distribución de los agujeros, comenzando cerca del centro si se tienen muchos; se trabaja hacia los bordes, apretando suficientes tornillos; a continuación se colocan pasadores en los agujeros abiertos restantes y en ellos se instalan tornillos o remaches permanentemente. En el caso de estructuras remachadas, se quitan los tornillos de ajuste se colocan pasadores y se hincan los pasadores restantes. En estructuras atornilladas, si se usaron algunos tornillos permanentes como tornillos de ajuste, se aprietan bien, si no se quitan y se colocan tornillos permanentes en su lugar, apretándolos.

Aunque el director responsable de obra está a cargo del personal obrero y el ingeniero residente o el ingeniero de campo está a cargo de la ingeniería, debe de existir una cooperación completa entre las dos áreas para que el proyecto avance de manera satisfactoria. El director responsable de obra debe vigilar que los trabajos de izaje, plomeo, ajuste, remachado, atornillado, soldadura, montaje manual y mantenimiento de la herramienta y equipo estén bajo control y se procesen de una manera segura, económica y eficiente; sin embargo, el ingeniero residente debe observar también todas las operaciones y cuando note alguna deficiencia, ya sea visualmente o a través de una inspección de los registros y de los reportes de avance y la producción, debe informarlo al director responsable de obra y analizarlo con él. Debe existir una comunicación entre ambas partes para que puedan trabajar juntos por los intereses de la obra.

Un aspecto importante en los trabajos de montaje es la seguridad, tanto para el personal como para las instalaciones.

La seguridad para el personal comprende el proporcionarles la capacitación adecuada, para que valoren el riesgo, sepan que hacer en casos de emergencia y el uso adecuado del equipo de seguridad utilizado en las

labores que va a desempeñar, como lo es el casco de seguridad. Este equipo les debe ser proporcionado y se usara obligatoriamente.

El montaje de estructuras de acero es común que el personal, o sea los montadores, son personas habituadas al riesgo ya que necesitan trabajar en las alturas y con frecuencia su confianza es excesiva, es obligación de los supervisores e ingenieros hacer conciencia en estas personas de que toda precaución no está de más.

Durante la ejecución de maniobras de alto riesgo, se debe emplear al personal mejor capacitado, asegurándose de tomar todas las medidas de seguridad posibles.

Por lo que se refiere a la seguridad de las instalaciones, se debe de revisar que el equipo este en condiciones de trabajo, que los cables de las grúas no presenten daños, o deformaciones que los puedan hacer fallar, así mismo se deben revisar poleas, malacates, mordazas, clips o "perros", y demás equipo.

CAPITULO VI CASO ESPECIFICO DE LA OBRA "CENTRO INSURGENTES"

INTRODUCCION :

Historia del proyecto

El Proyecto de Centro Insurgentes tuvo su origen en el año de 1990 cuando surgió la alternativa de conjuntar comercio y oficinas en los predios aledaños al Teatro de los Insurgentes.

Las alternativas de proyecto, factibilidad y viabilidad del mismo, involucraron una serie de estudios y anteproyectos a efecto de cumplir con los requerimientos de los actores principales que estaban implicados en el mismo : inversionistas, propietarios del terreno en que se desarrollaría el proyecto, autoridades del Departamento del Distrito Federal, Delegación Benito Juárez, vecinos, arrendatarios del inmueble y futuros clientes del conjunto.

El hecho de conjuntar los elementos de manera que se lograra un producto que satisficiera las necesidades de todos los involucrados no fue cosa fácil y requirió de un desarrollo de proyecto sumamente complejo y largo de casi dos años en que se elaboraron anteproyectos de los diversos ámbitos involucrados.

Estudio de mercado, estudio de imagen urbana, estudio de vialidades e impacto a la zona, estudio de estacionamientos: oferta y demanda actual y futura, estudio de origen-destino de los usuarios del servicio de transporte público, estudio de asoleamiento del edificio, proyecto arquitectónico y de integración de conjunto, estudio de mecánica de suelos, estudio de cimentaciones y de posibles afectaciones a los inmuebles aledaños.

Finalmente, en diciembre de 1991, se obtuvo la licencia de uso del suelo, para el primer conjunto de usos mixtos concebido como tal en la Ciudad de México, mismo que debería cumplir con el Reglamento de Construcciones del Distrito Federal con las siguientes especificaciones: Estacionamiento para 1264 vehículos mínimo , helipuerto de uso civil y de emergencia, torre de 132.4 metros de altura, área comercial en 14,059 m², área de oficinas de más de 25,000 m² con una escalera de servicio y una escalera de emergencia, zona para un club deportivo y autorización del uso de la vía pública de la calle Cerrada de Perpetua.

Durante su ejecución, de enero de 1992 a noviembre de 1994, Centro Insurgentes dió empleos directos a un promedio de 530 personas diarias, e indirectamente a más de 1,000, teniendo un costo de construcción de 55 millones de dólares y un costo total cercano a los 80 millones de dólares. Se

estima que durante su operación se generarán cerca de 3,000 empleos directos.

Como negocio, está catalogado dentro de los negocios de largo plazo, lo cual implica una relación promotor-producto-cliente de muchos años, con lo que se busca ofrecerle al cliente en los diferentes espacios una garantía de que el conjunto va a funcionar como se proyectó y que el promotor va a satisfacer al cliente cuando lo necesite, en calidad, cantidad y tiempos reales.

6.1 DISEÑO

El proyecto está desarrollado en un lote de forma irregular de $\pm 8300 \text{ m}^2$ (ver Figura 1), quedando limitado al oriente por la calle de Mercaderes, al poniente la Av. Insurgentes Sur, la Calle de Damas y una colindancia irregular al poniente ubicada en su interior para uso futuro de la calle de Cerrada Perpetua.

El proyecto, después de varios ajustes arquitectónicos relacionados con la parte comercial y financiera, desarrolló el conjunto de 5 cuerpos que se marcan en la Figura 6.1 y que se describen brevemente a continuación :

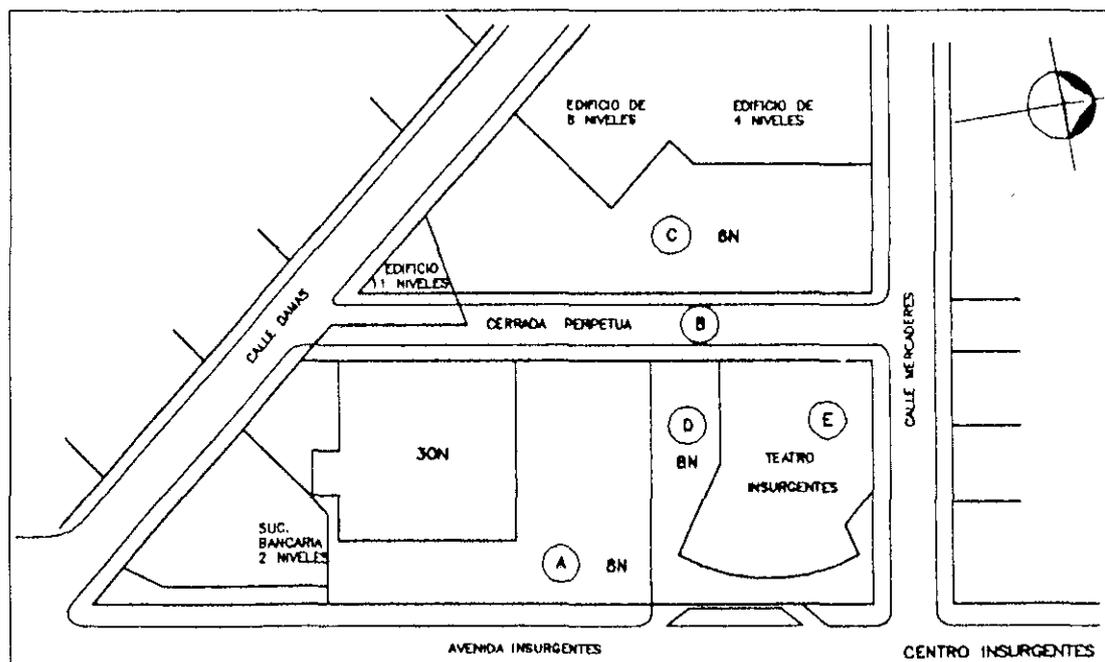


Figura 6.1 Planta original Centro Insurgentes.

Cuerpo A. localizada sobre Av. Insurgentes comprende una torre con 30 niveles a partir de la planta baja, con un cuerpo adosado del lado norte, de únicamente 8 niveles, mas 6 sótanos.

Cuerpo B. Este cuerpo está constituido únicamente por la planta baja y 6 sótanos, ya que corresponde a la calle cerrada.

Cuerpo C. Localizado en la parte poniente del lote en toda su longitud y con un máximo de 6 niveles, mas 6 sótanos.

Cuerpo D. Situado en la parte sur del Teatro Insurgentes tendrá 8 niveles superiores y cisterna bajo la planta baja.

Cuerpo E. Corresponde al Teatro Insurgentes actual que se reforzará y remodelará.

Los cuerpos A, B, y C, tendrán 6 niveles de sótano ocupado, 8300 m² por planta y con cimentación a partir de 18.30 m de profundidad.

Subsuelo, tipo de cimentación y procedimiento constructivo.

Los estudios del subsuelo realizados, permitieron definir que la totalidad del predio quedaba localizado en la zona 1 (lacustre), con una estratigrafía consistente en una costra superficial de 0.5 a 2.0 m de espesor de arcilla arenosa café oscura de consistencia media a firme, bajo la cual se encontró de 5 a 8 cm de toba volcánica limo arcillosa poco arenoso, café claro, muy compacta, de los 8 a 15 m, subyacen capas interestratificadas de arena fina, arena limosa y limo arenoso café oscuro con gravas y boleos aislados, incluyendo capas de 0.5 a 3.0 m de espesor de arenas y gravillas pumíticas color gris claro.

La capa pumítica es de baja capacidad de carga y se encontró localizada a niveles que iban de 20 a 21 m en el lado sur y de 14 y 15.5 m en la colindancia oriente, y bajo de la capa de pómez se localizó un limo arcilloso poco arenoso muy compacto de alta capacidad de carga.

Por lo anterior, el tipo de cimentación más adecuado resultó ser a base de zapatas desplantadas a ± 21.20 m de profundidad, atravesando invariablemente la capa de pómez únicamente en la esquina S-E con pómez muy profundo fue indispensable construir pilas con campana con desplante de 26.00 m.

Un problema constructivo especial fué la realización de la excavación hasta la profundidad requerida en un tiempo razonable, en combinación con la extracción del material y la estabilidad de los taludes verticales en el

perímetro a más de 18 m de profundidad, teniendo además a lo largo de la colindancia poniente, edificios de 11 niveles.

Se estudiaron varias alternativas de solución como el empleo de pilotes secantes, excavaciones parciales, con troquelados contra la construcción interior previamente realizada, etc.; resolviéndose como solución más adecuada el empleo de anclas pretensadas hacia el exterior con carácter provisional, las cuales fueron ancladas contra el terreno a distancias variables dependiendo de la capacidad requerida, de acuerdo, con los empujes del terreno; se utilizaron franjas coladas y contratraveses de concreto continuos, formando cinturones colados directamente contra el terreno en el límite de las colindancias y alineamientos. Cada ancla se construyó a distancias de 3.0 m horizontalmente y los 5 niveles de traveses cinturones también a las mismas distancias.

Las franjas entre traveses cinturones fueron directamente colocadas contra el terreno, con espesores reducidos de concreto armado.

El procedimiento constructivo adoptado resultó simplificado y con un estricto control, pues se excavó exclusivamente hasta el nivel de cada cinturón.

Después de instaladas las anclas podía continuarse excavando hasta el siguiente nivel de anclas, y así sucesivamente hasta el nivel de desplante de cimentación, pudiendo atacarse por zonas elegidas previamente en combinación con la salida del material de la obra.

Superestructura

La superestructura del conjunto está constituida por elementos de concreto reforzado, desde el nivel de desplante hasta la planta baja en el nivel -2.30 m, anclándose desde el primer sótano la estructura metálica que fue elegida como la más conveniente a partir de la planta baja, dada la compatibilidad estructural por concepto de cargas y claros mayores, mezzanines, altos espacios abiertos interiores y como solución obligada en la torre de 30 niveles, además de la indeterminación en las soluciones arquitectónicas por razones de comercialización, que se fueron resolviendo durante el desarrollo.

La estructura de los 6 sótanos se resolvió utilizando como sistema estructural el empleo de entrepisos aligerados de 55 cm de peralte, con muros de retención perimetrales y apoyados sobre columnas de sección cuadrada en retículas de 11 x 11 m en su mayor parte.

El sistema permitió considerar la estructura metálica empotrada a la planta baja, ya que se apoyará desde el primer sótano, hasta la planta baja en donde se tendrá una estructura transición formada tanto de concreto reforzado como de acero estructural y considerando la interacción suelo-estructura.

La consideración anterior se basó en la continuidad que se dará a la estructura de concreto en cada uno de los entrepisos de sótano, sellando oportunamente las juntas constructivas localizadas a ambos lados del cuerpo B, o sea la Calle interior, y además del adecuado anclaje contra el muro perimetral en contacto directo con el terreno.

La estructura metálica proyectada será utilizada en los cuerpos A, C y D, a base de columnas de 4 placas soldadas de sección cuadrada, con trabes principales y secundarias de sección I que soportarán los sistemas de piso a base de losa-acero.

Especificaciones básicas

Considerando que este conjunto tendrá áreas destinadas a diferentes usos, se estudiaron en forma especial las especificaciones básicas respecto a cargas muertas y vivas, incluyendo las posibles variaciones que pudieran presentarse en un futuro, cumpliendo en todas sus partes las recomendaciones contenidas en el Reglamento para las Construcciones del D. F. de 1987.

Con relación al diseño sísmico, considerando que los edificios quedan localizados en la zona 1, se tomó un coeficiente sísmico básico de $CS = 0.16$ W y debido a que no se cumplen todas las condiciones de regularidad indicadas en las normas técnicas complementarias, se utilizaron factores de comportamiento sísmico $Q = 3.2$ en dos direcciones ortogonales, evaluando además que la torre quedaba comprendida dentro del Grupo A, por manejarse la posibilidad de la intervención de un organismo público dentro del edificio.

Por lo que respecta a viento, se consideraron los valores y se siguieron las recomendaciones contenidas en el Reglamento y sus Normas Técnicas Complementarias (NTC). Se encontró que los efectos sísmicos regían sobre los del viento con cargas accidentales.

Todos los elementos de concreto reforzado fueron proyectados y construidos con concreto de resistencia $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$, clase 1 y usando acero de refuerzo de $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$ (Alta resistencia).

La estructura metálica del cuerpo A inicialmente fue proyectada a base de acero A-36 con juntas principales a base de tornillos de alta resistencia de calidad A-325, sin embargo, tomando en cuenta las facilidades en la

obtención de materiales de mayor resistencia que disminuyeron el peso total, e inclusive el costo y tiempo de fabricación en el extranjero se decidió el empleo de acero de calidad grado 50, resolviendo las juntas de flexión a base de soldadura y las de cortante con los tornillos de la calidad mencionada.

Se encargó a una compañía constructora de Stafford, Texas, la adecuación de la estructuración A-36 a la de A-50 exclusivamente para la torre. Se coordinó con una compañía de Boucherville, Quebec, en Canadá, la elaboración de los planos de taller, fabricación y montaje de la estructura.

Los trabajos realizados por dichas compañías fueron revisados y aprobados antes de la fabricación y montaje. Dentro de la revisión se incluyó un análisis completo de la estructura y la revisión de la capacidad de las secciones, y una revisión de tipo elástico según las recomendaciones del AISC (American Institute of Steel Construction).

Análisis y Diseño Estructural

Los diferentes cuerpos que forman el conjunto se analizaron con el programa CADSE Tridimensional del Ing. Jaime Antoniano.

Se incluyeron todos los elementos del sistema estructural principal (trabes y columnas), trabes secundarias incluidas en los límites de las losas, las zonas de escaleras y elevadores, etc. El sistema de piso se modeló con diagonales de concreto equivalentes a un área tributaria en su posición (ver figuras 6.2 y 6.3).

Los niveles de sótano se analizaron por separado de la estructura principal, incluyendo las cargas y elementos mecánicos debido a carga vertical y sismo en 2 direcciones.

La subestructura de la planta baja en el cuerpo D, en la que se localizarán las cisternas generales del conjunto, se analizó para diferentes combinaciones de carga, con tanques vacíos y llenos, y se tuvieron que incluir columnas y trabes horizontales en los muros, así como tensores interiores para disminuir las secciones y armados. Se procuró obtener las cargas en elementos, distribuidos y concentrados, de la manera más precisa, debido a que estas cargas, multiplicadas por un factor para considerar la reducción de carga viva, fueron utilizadas por un programa basado en el Método de Vectores de RITZ y el espectro de respuesta dinámica para efectuar el análisis sísmico.

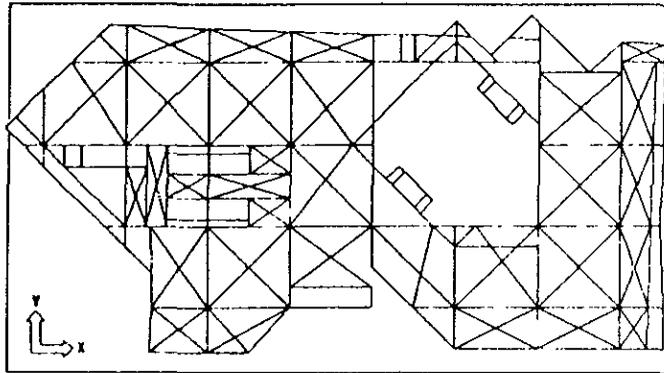


Figura 6.2 Planta primer nivel.

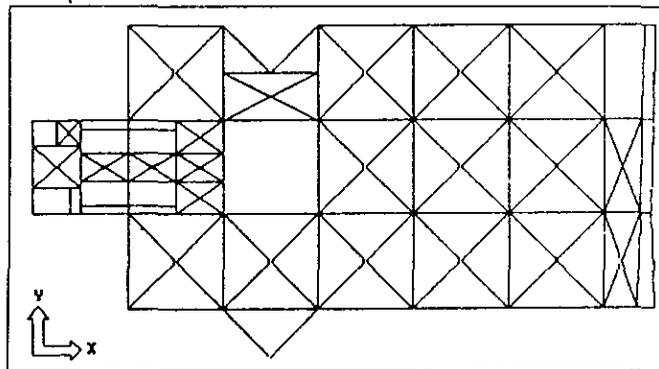


Figura 6.3 Planta nivel 4.

Para la torre se consideraron 15 modos de vibrar y para los cuerpos C y D, 7 modos.

Los períodos fundamentales calculados de los edificios son los que se muestran en la tabla 1.

TABLA 1					
	T1x (paralelo a Av. Insurgentes)			T1y	
Torre			5.74 seg		6.10 seg
Cuerpo C			1.19 seg		1.15 seg
Cuerpo D			1.84 seg		1.74 seg
	VDx	VDy	Ve	VDx/Ve	VDy/Ve
Torre	1485 ton	1478 ton	3366 ton	0.441	0.439
Cuerpo C	316 ton	300 ton	498 ton	0.65	0.602
Cuerpo D	156 ton	157 ton	255 ton	0.61	0.62

En la torre fue necesario efectuar algunos tanteos para encontrar el factor de reducción en trabes y columnas de acuerdo con la altura, para poder cumplir con los desplazamientos laterales indicados en el Reglamento. Se utilizó como límite un valor de 0.012, por lo que se tuvieron que efectuar estudios especiales en los soportes de manguetería para vidrios y muros divisorios, para disminuir el riesgo de daños en eventos sísmicos.

Asimismo, se decidió proyectar la estructura de los mezzanines como secundaria, colgada en algunos casos, o con postes y trabes con juntas exclusivamente de cortante por la posibilidad de ajustes a través del tiempo. Y así ha sucedido, debiendo realizarse desmontajes en algunas zonas.

Para la revisión de capacidad de las secciones de acero y el diseño de juntas, se utilizaron varios programas de computadora, desarrollados por el Ing. Raúl Barreiro, que toman resultados de los programas de análisis y las fórmulas y criterios de las Normas Técnicas Complementarias para estructuras de acero, del Reglamento de 1987.

Esto se decidió realizar debido a que no existen programas comerciales disponibles de revisión de secciones de acero de acuerdo con el Reglamento del Distrito Federal, y no se consideró conveniente emplear programas

basados en Reglamentos extranjeros y sólo efectuar algunas revisiones manuales de secciones de las estructuras, alternativamente.

Fue necesario hacer algunas suposiciones y se optó por utilizar la revisión llamada conservadora en las normas para las columnas, donde el efecto de la compresión se considera de forma explícita en la fórmula de interacción y no sólo de manera indirecta alterando exponentes.

También se desarrolló un programa para secciones compuesta de vigas y losas de concreto, empleando para ello la información de vigas tipo IR de AMHSA, el cual fue proporcionado en un diskette, por el fabricante.

Para el diseño de juntas, el programa encuentra las incidencias de trabes y columnas, siguiendo indicaciones paramétricas, se encuentra el número de tornillos de alta resistencia requeridas en el trabajo por fricción y agarre, así como las dimensiones de placa. Se puede utilizar el criterio reglamentario para garantizar la capacidad de la junta, definida por el diámetro menor de los tornillos, espesor de placa o longitud de soldadura, excediendo en 1.25 veces los elementos mecánicos del análisis de la viga. Así, se encontró que el número mayor de los tornillos requeridos para las juntas de cortante era de 8, sin necesidad de colocar soldadura adicional. En este caso existe disparidad con el manual AISC, en el que se establece la necesidad de colocar la soldadura, además de los tornillos, en aquellas vigas en las que la relación de momentos plásticos de los patines y el momento plástico total sea menor de 0.70, sin importar los elementos mecánicos calculados.

En las NTC del Reglamento para el D. F., también se menciona este criterio, pero se permiten alternativas como el empleo de factores de reducción de resistencia ligeramente menores a las normales. Con este criterio, se determinó el número de tornillos que fue de 10.

Debido al procedimiento que se emplea en los Estados Unidos y Canadá, en el que la empresa que fabrica la estructura es la encargada de efectuar el diseño de las juntas siguiendo el criterio que indique el ingeniero estructurista, se generalizó para todas las trabes y en toda la altura, la colocación de 10 u 11 tornillos, ocupando todo el peralte permitido del alma de la trabe, además de colocar la soldadura. Finalmente, se optó por eliminar la soldadura.

En los cuerpos C y D, por razones de tiempo de fabricación, fue necesario cambiar aceros, utilizando A-36 para las columnas y grado 50 para las trabes.

Fue necesario también realizar algunos ajustes para encontrar las dimensiones adecuadas y revisar las juntas con calidad de acero menor, por el tipo de soldadura a emplear.

Para el cuerpo B (calle) se proyectaron 2 estructuras, la que permanecerá después de terminada la construcción, con capacidad de 1.5 T/m² como promedio, y un esfuerzo temporal circulación en esa zona de la grúa torre de 35 toneladas, para apoyo en el montaje.

6.2 TRANSPORTE

Diseño complementario.

Se requirió llevar a cabo revisiones a los diseños complementarios, posteriores a la obtención de los planos estructurales a nivel ejecutivo debido a ajustes arquitectónicos, procedimientos constructivos, etc.; mencionándose como los mas importantes, la necesidad de proyectar una plataforma de maniobras en la proximidad del Teatro Insurgentes, junto al cuerpo A, y un viaducto paralelo a la Av. Insurgentes, con el objeto de almacenar material para la estructura metálica y permitir el acceso de trailers sin obstruir la circulación en calle y banqueteta.

También fue indispensable el proyecto para el soporte de la grúa Potain, adosada a cuatro columnas de la propia estructura montada previamente, esta grúa, de acuerdo con su tipo, es una de las 3 mas grandes del mundo por su brazo y capacidad de izado. Por último, fue necesario hacer revisiones complementarias de acuerdo a las soluciones arquitectónicas finales que afortunadamente no obligaron a ninguna descarga adicional a las columnas de concreto de los sótanos y zapatas de cimentación.

6.3 MONTAJE.

PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO.

El proyecto por resolver trataba acerca de una torre de 130 m sobre el nivel de la banqueteta, destinado a oficinas corporativas, centro comercial, habitacional y estacionamientos, clasificándose como mixto; el área total construida es de 105,000 m².

Se incorporó al proyecto, por medio de un arrendamiento, la cerrada Perpetua, respetándose como tal.

Para satisfacer los requerimientos de estacionamiento se diseñaron 6 niveles en sótano con una profundidad de excavación con agua de 20 m bajo el nivel

de banqueta, previniendo el punto más bajo de la cuenca hidráulica que se forma desde Plateros, ubicando el nivel freático a 2.50 m de profundidad.

Se definió al proyecto como un conjunto de subsistemas integrados al sistema central, mismo que finalmente representaba al proyecto como un todo, pero en su forma dinámica como sucede en la realidad.

Había que considerar muchas variables imprevistas o incondicionadas para diseñar la envolvente que tomaría en cuenta la mayor cantidad de situaciones probables y darle al proyecto la flexibilidad de adecuarse a ellas. Esta excepción garantizaría la viabilidad del proyecto.

Variables Críticas.

Cada subsistema se analizó en función de sus variables críticas y su interrelación entre los otros subsistemas, par facilitar la toma de desiciones.

Los subsistemas básicos en que se dividió el proyecto fueron : estructura y procedimiento constructivo de fachadas, transporte eléctrico, alumbrado y fuerza, hidráulico y sanitario, de seguridad y aprovechamiento energético, comunicaciones, acondicionamiento de aire, funcionamiento y estético.

Como aspectos relevantes del sistema estructural y procedimiento constructivo se tuvo que resolver la excavación de 180,000 m³ a una profundidad de 20 m, con edificios de distintas características en la mayoría del perímetro de la excavación, de los cuales el más crítico era un edificio de 11 niveles, de base triangular resuelto con cimentación superficial y que colinda en dos caras con la excavación del Centro Insurgentes. Se debía garantizar la estabilidad de los edificios durante todo el procedimiento de construcción y durante la operación.

Adicionalmente, el terreno se encontraba en el punto más bajo de la cuenca *hidráulica formada de Plateros a Barranca del Muerto (cuyo sifón se encuentra saturado)*, la excavación llegaría al fondo en plena temporada de lluvias. El estudio de mecánica de suelos reportaba toba volcánica, con capacidad de carga superior a las 70 Ton/m², altamente sensible a cambios en el contenido del agua. Esta situación condujo a elegir un sistema de protección de taludes mediante tirantes postensados, técnica que a sido utilizada en taludes de carreteras, pero poco en edificaciones. Se perforaron dos pozos de 11 m cada uno y se construyó un colector perimetral de 1.20 m de diámetro.

Ventajas del procedimiento.

Las principales ventajas del procedimiento fueron : empotrar adecuadamente las estructuras vecinas al terreno, asegurandolas contra efectos de sismo,

carga vertical y erosión del terreno, la posibilidad de trabajar en seco sin alterar (por reblandecimiento) las propiedades del terreno, efectuar toda la excavación en una sola etapa continua (4 retroexcavadoras y 2 tractores D-8 hicieron toda la excavación). Construir la subestructura en tramos francos minimizó muchos riesgos inherentes en este tipo de trabajos y económicamente resultó un procedimiento competitivo.

Un aspecto relevante del sistema estructural consistió en la elección de los materiales para la misma, la subestructura se resolvió con marcos de concreto reforzado desde las zapatas hasta el nivel de banqueta, el sistema de piso a base de losas reticulares (50,000 m² de las mismas), requirieron 28,000 m³ de concreto y 3,850 toneladas de acero de refuerzo. El procedimiento utilizado para el cimbrado fue tradicional y únicamente se contó con dos bombas de concreto y una grúa torre de 1 tonelada de capacidad.

Entre las ventajas del procedimiento se pueden contar el aprovechamiento de la capacidad de carga del terreno, donde la masa no tenía relevancia, y poder traslapar actividades de acondicionamiento desde el principio.

Como ventaja adicional se pudo utilizar el estacionamiento con bastante anticipación, lo que ayudó en la logística de la obra, ya que muchos espacios se pudieron aprovechar para talleres de ensamblado durante el resto de la construcción.

Solución estructural de la torre.

Un aspecto muy interesante de la obra era la solución estructural de la torre, había que seleccionar los materiales adecuados, integrarlos al proyecto arquitectónico y de seguridad estructural, así como resolverlo con las posibilidades del equipo existente, esto permitió cumplir con un programa muy ambicioso de construcción.

La primera elección fue resolver con estructura metálica en vez de continuar la de concreto; las ventajas que se encontraban eran tiempo y ventajas arquitectónicas.

Después de un profundo estudio, se corroboró que utilizando acero A-50 para la estructura metálica se obtendría 40 % más de capacidad de trabajo en casi todos los elementos, lo que reducía el peso de los mismos reflejándose directamente en la descarga del edificio.

Resuelto este punto, se tuvo que elegir el equipo de montaje. Conocidas las características básicas de la estructura, se inició la búsqueda del equipo, capaz de montar 6,500 toneladas de acero en 8 meses, se requería montar tramos de columnas de 24 toneladas cada uno, a una distancia de 35 metros para garantizar un avance de obra tal que permitiera terminar en programa. Finalmente, se encontraron 2 alternativas probables: una grúa Lehmor radicada en Toronto, Canadá, y una grúa Potan, radicada en Yugoslavia, resolviendo, por razones económicas, se decidió por la Potan. Las ventajas de utilizar un equipo de esa capacidad se pueden resumir en rapidez de montaje y menores uniones en columnas.

Parte importante de la estructura metálica eran las juntas trabe-trabe. Se hizo un estudio detallado de las alternativas, resolviéndose por juntas mixtas tornillo-soldadura, las ventajas de la decisión fueron velocidad en el montaje y menor cantidad de soldadura de campo.

El sistema de piso para la torre se resolvió con lámina galvanizada con capa de compresión (losa-acero), sistema que daba ligereza y mayor aprovechamiento a la capacidad instalada de la grúa, además de ser altamente compatible con la estructura metálica.

El sistema de fachadas

Resuelto el sistema estructural, el siguiente reto fue resolver el sistema de fachadas. Se buscaba romper con las modernas cajas de cristal, incorporando materiales más trascendentes, tales como los pétreos, sin embargo no se encontró ningún antecedente en México que pudiera servir como base de partida para este proyecto. Ingenieros mexicanos especialistas en fachadas, arquitectos y estructuristas, apoyados por especialistas en selladores, vidrio, aluminio y geólogos, a base de investigación y prueba, desarrollaron el sistema.

Al confirmarse la posibilidad de utilizar material pétreo se inició la búsqueda del mismo, optándose por granito de Baja California, material que compite en belleza y cualidades físicas con los más reconocidos del mundo, resultando un material altamente recomendable.

Una variable siempre crítica, es el tiempo; la investigación y desarrollo habían tomado más tiempo del programado, y la cantidad de variables que afectaban el sistema de recubrimiento del edificio fueron más de las que originalmente se habían considerado como críticas. Se consideró que ya no habría posibilidad de recuperarlo, sin embargo, gracias al detallado estudio que se obtuvo del sistema, elegir el procedimiento constructivo fue poco complejo ya que se hicieron elementos prefabricados en taller, los cuales se colgaron directamente en las preparaciones de la estructura.

En todos los sistemas se obtuvo ventajas similares a las mencionadas debido al interés de ingenieros mexicanos de superar las barreras tecnológicas hasta la fecha conocidas, obteniéndose grandes ventajas prácticas con soluciones tales como la integración de pisos transfer y la zonificación del sistema de transporte entre otros.

Consideramos importante mencionar que la ingeniería mexicana superó en mucho la tecnología más avanzada conocida a la fecha, y demostró la capacidad de trabajo interdisciplinario en la solución de problemas complejos.

Montaje de estructura metálica y colados de losacero.

Para realizar el montaje se contó con un área de maniobras de descarga de los elementos metálicos, se trataba de una pasarela reforzada para tal fin; entrando sobre la Av. Insurgentes, la cual es suficientemente amplia para no causar problemas a la circulación de vehículos.

La estructura metálica se empotra a las columnas de concreto por medio de anclas de acero con escuadra y rosca para tuerca en un extremo. Las columnas, en este punto, tienen una placa base con perforaciones para dar paso a las anclas, se nivelan y plomean por medio de las mismas. Posteriormente, se recibe la base metálica con un estabilizador de volumen, los siguientes tramos de columnas se sueldan a cada 12 m.

La estructura se arma con la ayuda de una grúa torre de gran capacidad, colocando las columnas, traveses principales y secundarias, los cuales se fijan por medio de tornillos y soldadura en algunos puntos determinados. Se coloca la lámina metálica "Romsa" entre apoyos de traveses secundarias; a los patines de las traveses se les sueldan pernos que actúan como conectores de cortante.

El colado de capas de compresión de los entrepisos se va realizando conforme las áreas van quedando terminadas de montaje y soldadura, para esto se utiliza concreto $f'c=250 \text{ kg/cm}^2$ con fluidizante para evitar problemas de taponaduras. Se dejan sin colar huecos para pasos de instalaciones.

6.4 MANTENIMIENTO

Comportamiento observado y control de calidad

Desde el inicio de la obra se lleva a cabo un trabajo de nivelaciones para conocer el comportamiento de calles, banquetas y edificios colindantes, además de la propia cimentación y estructura del conjunto.

Afirmando que los movimientos verticales y horizontales del terreno, relacionados con excavación y anclajes han resultado insignificantes, con valores menores de 5 mm, aún en el edificio colindante de 11 niveles, se puede decir que el sistema y procedimiento constructivo adoptado resultó un acierto.

Durante toda la obra se implantó en forma permanente, un control de calidad de materiales (resistencia de concreto y acero, etc.), realizando además, una inspección y supervisión constante de los trabajos, para que la mano de obra y materiales utilizados estén de acuerdo al proyecto y especificaciones, como ha resultado hasta la fecha.

CONCLUSIONES :

ALGUNOS ASPECTOS DESTACADOS DEL PROYECTO

Excavación y protección de taludes

Debido a la necesidad de espacios para estacionamientos, se realizó una excavación de la totalidad de la superficie del terreno desde el nivel de la banqueta hasta la cota -18.35 m. El volumen del material por extraer (180,000 m³ aproximadamente) exigía excavación mediante maquinaria pesada y una solución adecuada para la carga y tránsito interior de los camiones para su transporte al exterior, ya que la localización del terreno, se encuentra en una zona de alto tránsito urbano, y esto, provocaría congestionamientos en la vía pública.

En vista de lo anterior y buscando dar una mayor rapidez a la excavación, se analizó la posibilidad de una excavación total, usando para ello un sistema de contención mediante anclaje. La aplicación efectiva de este sistema de anclaje está basado en las características propias del terreno, debiéndose localizar estratos resistentes que ofrezcan los parámetros de fricción y cohesión requeridos.

La construcción del muro de contención perimetral, contempló :

La construcción de un muro de concreto armado in situ hasta un nivel de -18.35 m. bajo el nivel del terreno.

La instalación de 6 niveles de cabezales, ubicados con 3.0 m. de separación de centro a centro, tanto vertical como horizontalmente.

La inyección de 900 bulbos de longitud variable de acuerdo a las características del suelo.

Sistema de Anclaje

Dicho sistema consta básicamente de :

- I. Bulbo, que constituye el elemento básico para resistir los esfuerzos de carga del terreno sobre el muro, está formado por un tubo central de PVC de 1" de diámetro cuya longitud está determinada por una resistencia teórica de 10 ton/ml. Este tubo cuenta con perforaciones espaciadas simétricamente a cada 33 cm., con el propósito de permitir una buena inyección de la lechada de cemento sobre el terreno. Estas perforaciones están cubiertas por unos anillos de hule denominados "manguitos" que permiten la salida de la mezcla, pero impiden su reingreso al tubo de PVC. En el extremo del ancla, se cuenta con un regatón de hierro al cual han sido soldados los extremos de los cables de acero, integrantes del anclaje. Estos, a su vez, son distribuidos perimetralmente a lo largo del tubo mediante unos anillos acanalados de hule colocados a cada 3 cm con capacidad para recibir hasta 12 cables.

En la parte media de estos tramos se colocan cinchos de fleje que aprietan el tubo de PVC sobre los cables, logrando con esto un perfil ondulado a lo largo del bulbo, que otorgará mayor seguridad.

- II. Al extremo interior del bulbo se conecta un tubo de PVC de 2 ½" en el que se alojarán los cables que integran la parte libre del anclaje, existiendo un tapón epóxico en la junta entre el bulbo y la parte libre.
- III. Sobre un muro de contención se cuele un cabezal perpendicular al eje del anclaje, en aquellos sitios determinados por el análisis de esfuerzos de carga.
- IV. Sobre estos cabezales se empotra una placa metálica con una cuña cilíndrica que fijará los extremos de los cables.

Cimentación y Subestructura de concreto.

Con el objeto de determinar el tipo de cimentaciones más apropiado para la estructura de los cuerpos bajos y la torre corporativa, así como para definir el procedimiento constructivo de la excavación para alojar los sótanos, se llevó a cabo un estudio de mecánica de suelos consistente en muestreo y exploración del subsuelo, pruebas de laboratorio y análisis de resultados. Considerando las características estratigráficas y físicas del subsuelo se juzgó como adecuada la siguiente solución de cimentación.

La torre de 30 niveles y los cuerpos bajos comprendidos entre los ejes "E" a "I", zapatas aisladas desplantadas a 3.0 m de profundidad bajo el nivel del piso terminado del sótano inferior, diseñadas para una capacidad de carga admisible del suelo de 170 ton/m^2 , excepto las columnas, donde la capa de materiales pumíticos se profundiza hasta el nivel -23.0m, que se cimentaron mediante pilas con ampliación de base, desplantadas a la cota -26.0 m y diseñadas para una capacidad de carga del suelo de apoyo de 350 ton/m^2 . Para los cuerpos bajos, zapatas aisladas desplantadas a 2.0 m de profundidad bajo el nivel del piso terminado del sótano inferior.

Se excavaron cárcamos en el área de zapatas para poder bombear el agua producto de las lluvias, que para estas fechas eran muy abundantes y obstaculizaban las labores de afine, colado de plantillas, armado de acero de refuerzo y cimbrado. Para darle continuidad al acero de refuerzo se realizó soldadura a las varillas de diámetros mayores a 1"; para realizar los colados se utilizó un aditivo fluidizante, ya que las distancias de ubicación de las bombas a los lugares de colado eran muy largas y podían ocurrir taponaduras en la tubería. Para el armado de columnas se tuvo que soldar el armado principal cada 6 m, dado que era muy difícil trabajar la varilla a 12 m por la dificultad en poder pararla, ponerle unos contraventeos y colocar los estribos. Las columnas con mayor armado corresponden al área de la torre, que en unos casos eran 100VS de 1 ½" de armado principal y 14 juegos de estribos con VS, de ½".

En el caso de las losas, fueron del tipo reticular a base de nervaduras, ábacos en intersección de columnas con losa y casetones de fibra de vidrio.

Los volúmenes más representativos para todo esta etapa son :

Concreto $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$, estructural ($28,000 \text{ m}^3$, aprox.) Acero de refuerzo (4,300 Ton aprox.) Cimbra de contacto ($82,500 \text{ m}^2$, aprox.)

COMENTARIOS Y RECOMENDACIONES

Por lo descrito en el presente trabajo se puede decir que las estructuras de acero son una solución práctica y económica en las necesidades actuales de estructuración, para los diseños arquitectónicos cada vez más complicados, principalmente cuando existen limitaciones de espacio y restricciones, en cuanto a movimientos de materiales y equipo tanto para transporte como para ejecución de trabajos que aumentan conjuntamente con el grado de urbanización con que se cuenta.

El desarrollo de la tecnología ha traído consigo materiales de mayor calidad y métodos de producción más precisos y controlados, al igual que nuevas herramientas y equipo con los que se obtienen altos rendimientos en la fabricación y montaje de los elementos estructurales. Si bien lo anterior reditúa un gran beneficio en tiempo, economía y esfuerzo, cabe resaltar que para poder obtener estos beneficios es necesario contar con personal entrenado y altamente calificado, extendiendo esta capacitación para el uso de las computadoras y los programas de diseño y dibujo que en realidad son una gran ayuda para los dibujantes y estructuristas, siempre y cuando se cuente con los conocimientos suficientes en lo que se refiere a características de los materiales y su comportamiento como estructura y algo que aunque muy trillado es muy cierto e indispensable: *La experiencia.*

Una de las partes principales en la fabricación de elementos estructurales de acero es la elaboración de los planos de taller donde la ingeniería de detalle juega un papel sumamente importante ya que con una buena aplicación se puede abatir el costo. En este punto se hace notar que aunque existe literatura que muestra detalles, no profundizan en el proceso o técnica de elaboración, esta transmisión de conocimiento se concentra en los departamentos técnicos de los talleres de estructuras.

El medio de unión entre elementos estructurales deben proporcionar la continuidad requerida, para lograrlo se pueden utilizar tornillos de alta resistencia, soldadura o una combinación de ambos, dependiendo del tipo de estructura y condiciones de montaje. El control de calidad en campo como en talleres es parte fundamental y se rige por las normas y los comentarios contenidos en los reglamentos y manuales. En México el Instituto Mexicano de la Construcción con Acero A.C. edita el Manual de Construcciones en Acero; por lo que se debe de consultar para la elaboración de cualquier proyecto de estructuras de acero.

En cuanto al montaje, debido a que son relativamente pocos los ingenieros que se dedican a estos trabajos, la experiencia en este campo se encuentra concentrada en pocos residentes de obra.

La experiencia en montaje se adquiere al trabajar siempre en lo relacionado a ello, tanto es así que se puede trabajar sin consultar los planos de montaje, en obras de poca magnitud.

Para la elaboración de los presupuestos de fabricación y montaje de los elementos metálicos es importante que se tome en cuenta factores de variación de costo como es la inflación, para lo que se hace necesario realizar un estudio especial.

El equipo debe recibir un adecuado mantenimiento tanto en almacén como cuando esta en función, ya que si no cuenta con el debido servicio se pueden dañar sus partes o presentar un desgaste prematuro. Un buen mantenimiento lograra que la vida útil del equipo se alargue, evitando contratiempos o accidentes cuando se utilice y proporcionará máxima eficiencia, abatiendo así los costos.

Aun cuando existen normas de seguridad, muchas veces por falta de interés de los responsables del montaje o negligencia de los montadores, algunos de ellos realmente temerarios, no es utilizado el equipo de seguridad como son las bandolas y cinturones o las gafas y el casco, cuando se labora en sexto piso, por ejemplo; los ingenieros residentes deben tener cuidado de obligar al personal a que utilice el equipo de seguridad, con lo que se logra minimizar los accidentes. Igualmente las compañías montadoras deben atender con mayor interés las normas de seguridad.

BIBLIOGRAFIA

- Análisis Elemental de Estructuras, Norris, Wilbur, Utku Mc. Graw Hill.
- Arquitectura Habitacional Volúmen II, Plazola, Noriega Limusa
- Biblioteca del Ingeniero Civil, Tomos VIII y IX, William G. Rapp Limusa
- Conexiones Atornilladas en Estructuras de Acero, Rubén Manuel Márquez F. Trabajo de Tesis
- Diseño de Estructuras de Acero, Método LRFD, Mc. Cormac Alfa Omega
- Estructuras Modernas de Acero, Linten E. Grinter Diana
- Manual AHMSA para Constructores de Acero, Altos Hornos de México AHMSA
- Manual del Ingeniero Civil, Frederick S. Merrit. Mc. Graw Hill
- Manual de Construcción en Acero IMCA, Volúmen I Limusa
- Manual para la Construcción de la Compañía Fundidora de Aceros de Monterrey, S. A. de C. V.
- Materiales y Procedimientos de Construcción, Fernando Barbará, IV Ed. Editorial Herrero, S. A.
- Normas Técnicas Complementarias para Estructuras de Acero, del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal
- Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal
- Revistas de Ingeniería Civil, Nums. 299, 303 y 322, Colegio de Ingenieros Civiles CICM
- V Curso Internacional de Construcción, Módulo III, División de Educación Continua de la Facultad de Ingeniería de la UNAM DECFI

SEÑOR

*Te doy gracias
porque se que existes,
porque en el mundo y la vida
estás presente Tú.*

*Te doy gracias porque cuanto soy,
cuanto puedo y cuanto recibo,
es regalo tuyo.*

*Te doy gracias
porque has puesto cerca de mí
a mucha gente :
familiares, compañeros y amigos;
en ellos encuentro
reflejos de tu amor.*

*Gracias también por la tristeza,
por el dolor y la necesidad
que me hacen acordarme de Ti.*

*Gracias, Señor, por las cosas
por la gente, por la alegría,
por la presencia, por el amor.....*

Por todo : !GRACIAS, SEÑOR;

FERNANDO SANCHEZ SUAREZ