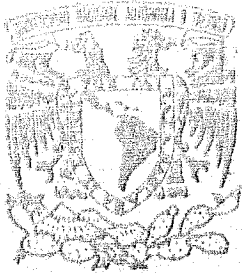


139

ZES



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

LA INGENIERIA DE DETALLE EN LA FABRICACION  
DE ESTRUCTURAS DE ACERO

**TESIS PROFESIONAL**

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
**INGENIERO CIVIL**  
P R E S E N T A N :

**GABRIEL ROSAS RIOS**  
**ALEJANDRO VILLASEÑOR TREJO**

DIRECTOR: ING. MIGUEL MORAYTA MARTINEZ



MEXICO, D. F.

1995

**FALLA DE ORIGEN**

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**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.

# TESIS CON FALLA DE ORIGEN

A mi padre Roberto y a mi madre Ma. del Refugio:

Porque con su involuntaria muestra de fuerza y humildad ante la vida he comprendido la verdadera importancia de los objetivos de cada ser humano.

A mis hermanos Estela, Olivia, Silvia, Roberto, Yolanda y Jacqueline:

Porque gracias a ellos puedo compartir mis logros y angustias con gente que me quiere y apoya. Por su amistad y sinceridad.

Y especialmente a mi esposa Edith:

Por su presencia siempre a mi lado, que me apoya e impulsa en todos los aspectos; por su vitalidad que me incentiva siempre a seguir adelante; y por su inmenso amor por mí.

a todos gracias...

Alejandro

Esta tesis la dedico:

A mis adorados padres, Sra. Amelia de Rosas y Sr. Gabriel Rosas del Monte, con profundo agradecimiento por su cariño, por su apoyo, por el ejemplo, por su comprensión, los quiero mucho.

A mi linda esposa por su amor, su sencillez y por el apoyo brindado para llegar a la culminación de ese trabajo.

A mis adorados hijos Mario Gabriel y Nilia Naxhieell, su sonrisa, su amor y la ternura de su ser, son la mayor felicidad que Dios me ha obsequiado.

A mis queridos hermanos: Raúl, Miguel Ángel, Elba, Jorge Luis y Leandro, que cada uno de ustedes alcance sus más bellos anhelos.

a todos gracias...

Gabriel

Agradecemos conjuntamente el apoyo del Ingeniero Miguel Morayta Martínez en la dirección de esta tesis, por su paciencia y sus valiosas recomendaciones.

Agradecemos también el apoyo de nuestra Universidad a través de la Facultad de Ingeniería, porque gracias a todo lo que nos ha dado somos hombres productivos y conscientes de las necesidades de nuestro país, y por ende, estamos comprometidos a aplicarlo en el bien de México, para lograr un mejor lugar de convivencia humana, para nuestros hijos y para todos los que nos rodean.

# LA INGENIERÍA DE DETALLE EN LA FABRICACIÓN DE ESTRUCTURAS METÁLICAS

## INDICE

<b>1</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>2</b>
1-1	Descripción del entorno	4
1-2	Herramientas Computacionales Actuales	5
1-3	Alcances del Trabajo	8
<b>2</b>	<b>GENERALIDADES</b>	<b>10</b>
2-1	Estructuras de Acero	10
2-2	La Ingeniería de Detalle	12
2-3	Objetivos Esenciales de la Ingeniería de Detalle	18
2-3-1	Planos de Taller	19
2-3-2	Tablas de Materiales	25
2-3-4	Planos de Montaje	27
<b>3</b>	<b>INGENIERÍA DE DETALLE EN LAS ESTRUCTURAS DE ACERO</b>	<b>29</b>
	PRODUCTOS DE ACERO	29
3-1	Descripción de Elementos	34
3-1-1	Columnas	34
3-1-2	Trabes y Vigas	37
3-1-3	Armaduras	38
3-1-4	Conexiones	44
3-1-5	Contraventeos	47
3-2	Descripción de las formas de ensamble	54
3-2-1	CONEXIONES SOLDADAS	54
3-2-2	REMACHES Y TORNILLOS	71
3-3	Procedimiento Típico Para La Ingeniería de Detalle	78
<b>4</b>	<b>PROPUESTA DE LA AUTOMATIZACIÓN DE LA INGENIERÍA DE DETALLE</b>	<b>82</b>
4-1	Propuesta	82
4-2	Metodología para la Automatización	89
<b>5</b>	<b>APLICACIONES DE LA AUTOMATIZACIÓN A CASOS REALES</b>	<b>98</b>
	Aplicación en Armaduras	98
<b>6</b>	<b>COMENTARIOS Y CONCLUSIONES</b>	<b>106</b>
6-1	Importancia de la Ingeniería de Detalle	106
6-2	Análisis comparativo y potencialidad	107
6-2-1	Análisis de Actividades y Tiempos	108
6-2-2	Costo de Salarios	111
6-2-3	Análisis de Equipo	111
6-2-4	Comparación de resultados	112
6-3	Mejoras al trabajo	113
6-3-1	Utillerías	114
6-3-2	El modelado tridimensional	115
6-3-3	La Pailería	116
6-4	Recomendaciones Finales	117
	<b>ANEXO A</b>	<b>119</b>
	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>134</b>

# 1 INTRODUCCIÓN

La Ingeniería de Detalle es una rama de la ingeniería que se desconoce en el período escolar de un candidato a ingeniero. Esto se explica, con el hecho que es en los procesos de fabricación donde ésta se emplea, mismos que sólo se presentan en la práctica.

Podríamos definirla a grandes rasgos como "la parte encargada de transmitir al fabricante lo que el diseñador define en sus análisis". Esta transmisión se lleva a cabo por métodos gráficos (planos), en su mayor parte.

Dado su primordial medio de transmisión, son dibujantes los que principalmente participan en esta doctrina de la ingeniería y los ingenieros se convierten en supervisores de estos largos procesos de dibujo y análisis geométrico.

Donde radica la importancia de la ingeniería de detalle, es en el costo de las obras. Su valor monetario es muy elevado, cualquier mecanismo que abata



este valor es de esencial importancia para la economía de los procesos constructivos.

Por otro lado, actualmente sólo se aprende a "detallar" con la práctica, pues la literatura de esta tarea es escasa y/o ineficiente, además los programas de estudio en las universidades, no contemplan estos temas. Se ha delegado esta transmisión del conocimiento a los departamentos técnicos del taller de estructuras y no se le ha dado la importancia académica a esta etapa. La responsabilidad de las modificaciones hechas por estos colaboradores en su trabajo, debería de recaer en profesionales con conocimientos de análisis y diseño estructural y no en prácticas empíricas dadas por un simple sentimiento.

Es el interés de este trabajo el describir en primer término dónde recae y cuáles son las tareas de la Ingeniería de Detalle aplicada a Estructuras Metálicas; y en segundo (y el más importante de los términos) el cómo concebir de una manera especial a la ingeniería de detalle, de tal forma que pueda ser sistematizada con el empleo de computadoras y programas dedicados a la asistencia en el diseño. Se presentan, en la última sección del trabajo, ejemplos reales de este intento por reducir costos en la fabricación de estructuras metálicas, así como aumentar sus potencialidades y evitar errores humanos al máximo.

Por otro lado, cualquier obra realizada por el hombre es motivada por una necesidad, ya sea estética, de abrigo, de alimento o de supervivencia, y para satisfacerla, es necesaria una técnica para planearla, un tiempo para construirla y los recursos necesarios para llevarla a cabo. Respecto a la técnica, podemos decir que actualmente no existe obra que el hombre no pueda realizar, ya que tanto la propia tecnología, como el desarrollo de los procesos constructivos, han alcanzado horizontes no imaginados.

En relación al tiempo, podemos afirmar que las nuevas disciplinas de programación proporcionan al hombre moderno, la posibilidad de realizar

cualquier obra en condiciones de tiempo que anteriormente se podrían considerar imposibles.

Con lo que concierne al costo (recursos), si bien aceptamos que está intrínsecamente ligado con los anteriores elementos de base, tiene un valor sustancial hasta cierto punto incommovible; es decir, los dos factores anteriores están, en cierta forma, supeditados al tercero. Es más común en la época moderna encontrar la palabra incoesteable que la palabra irrealizable o interminable, y en última instancia podemos decir que si el elemento costo, de una obra cualquiera, está dentro de los rangos lógicos acostumbrados para ese momento o época histórica, es posible realizar la misma reduciendo los tiempos de ejecución y aún supliendo en muchos casos la carencia de técnica.

Es por eso, que nuestro principal interés es establecer un vínculo entre un problema actual y la forma de resolverlo con métodos y técnicas modernas, en tiempos reducidos y que por lo tanto, abatan en lo posible los costos de edificación en acero.

En México, no se ha ondeado mucho en este aspecto, por ende este trabajo podemos considerarlo como una forma pionera de atacar un problema de tiempo atrás.

## **1-1 DESCRIPCIÓN DEL ENTORNO**

El proceso de erección de una obra sigue pasos bien definidos: etapa de proyección, etapa de planeación y etapa de construcción, administración y control.

Una vez que se ha decidido que la obra se realice utilizando acero estructural como elemento base en la edificación, es el fabricante de estructuras de acero, quien se ocupa de los planos de ingeniería o arquitectura para producir dibujos detallados de taller, de los que se obtienen las dimensiones requeridas para cortar con soplete o mediante erosión, los perfiles de acuerdo al tamaño

requerida y localizar los agujeros para borenar o punzonar. En estos dibujos, también indica el acabado de la superficie para las piezas cortadas. A menudo las piezas se arman en el taller para determinar si se tiene el ajuste apropiado. Las piezas se marcan para poder ser identificadas en el campo y son embarcadas junto con las piezas sueltas o armadas parcialmente para su traslado hasta el sitio de la obra para su montaje. El montaje en el sitio lo lleva a cabo este mismo fabricante la mayor parte de las ocasiones, pero de igual forma lo puede realizar el contratista de la obra.

## **1-2 Herramientas Computacionales Actuales**

Presentemos en la siguiente parte una descripción de la necesidad de emplear herramientas modernas que auxilien los trabajos de Ingeniería, especialmente el de la mecanización computacional de La Ingeniería de Detalle.

### Comunicación abstracta.

Dentro del argot ingenieril, la comunicación de la información cobra un papel importante. Dada la existencia de una participación colectiva en los proyectos de ingeniería, es imprescindible que exista un buen entendimiento para el logro exitoso de los objetivos, todos los conceptos deben quedar perfectamente estipulados y sin lugar a dudas o equivocación alguna; sin redundancia y sin ambigüedad. Debe de existir un mecanismo de comunicación permanente y sin que se pueda alterar con el tiempo. La mejor manera de evitar estos posibles problemas es el empleo de un lenguaje gráfico.

En este lenguaje gráfico se plasman la abstracción de las ideas de una manera predefinida y bien conceptualizada por sus usuarios. El uso de tecnicismos y simbología es constante, y la participación de organismos internacionales que reglamenten las especificaciones del lenguaje se hace presente (ASTM, NOM, AISC etc.). Las gráficas son el instrumento más veraz para

representar las ideas en el pensamiento. Las gráficas, son la manera más clara y definida que ha existido en la representación del conocimiento.

De tal manera, los modelos gráficos de las obras civiles son de primordial importancia para la concepción de las mismas. Es muy difícil construir algo sin antes dibujarlo, y mucho menos en el caso de que en la construcción participen más de una persona (situación general).

La presentación de modelos gráficos se aplica en todo momento: desde el inicio hasta el fin del proyecto; sea desde un bosquejo en la planificación de espacios, hasta la especificación en un plano de los materiales y su estructura final. La Ingeniería de Detalle emplea modelos gráficos fundamentalmente.

Por otro lado, se maneja otro tipo de información además de la gráfica: la información numérica, la que especifica directamente las dimensiones de los modelos, la cantidad de elementos y sobre todo la cuantificación monetaria de un proyecto, como es el caso de las tablas de materiales en los planos de taller o las hojas de cuantificación para cobro de una armadura hecha en el taller.

#### Computadoras que asisten el trabajo:

En el desarrollo de las computadoras se han contemplado estas situaciones de comunicación y de organización en proyectos de ingeniería y gracias a esto, se ha pasado, en el ámbito laboral, de una metodología manual hacia una metodología mecanizada en la que, para el ingeniero, el criterio es más relevante que la precisión, y la segunda se le destina a una máquina.

Los ingenieros involucrados en los procesos de fabricación de estructuras metálicas que son usuarios de estos herramientas computacionales son altamente beneficiados, y sus tareas repetitivas, largas y tediosas son reducidas al empleo de sistemas de cómputo versátiles y excesivamente fáciles de usar.

Estas áreas de la computación que asisten y auxilian el trabajo de diseño, dibujo, cuantificación y control de proyectos son las denominadas CAD y CAE (Computer Aided Design Drawing y Computer Aided Engineering) y han tenido auge con el desarrollo de las computadoras personales. Diversas empresas que desarrollan programas de aplicación específica (paquetes) han dirigido su cobertura hacia estas áreas desde principio de la década de los ochenta.

Los sistemas de cómputo hacen que el ingeniero modifique sus patrones de trabajo, en la búsqueda de un aumento en el índice de productividad en su desarrollo individual y de grupo. Más aún, éstos demandan cada vez más un perfeccionamiento tanto de los equipos como de los programas CAD, y esta necesidad se refleja en un desarrollo acelerado de la misma tecnología. Las firmas más importantes renuevan sus productos año con año, y constantemente se encuentran en el mercado nuevas versiones de los programas, actualizadas y mejoradas. De la misma manera, los equipos son cada vez más rápidos en su ejecución y sus capacidades gráficas son impresionantes, aún y para aquel que trabaja cotidianamente con ellos.

#### Beneficios:

El ingeniero actual se preocupa más por el raciocinio en su trabajo y delega sus esfuerzos físicos a una computadora. Situación que, manejada adecuadamente, abre el camino hacia la creatividad y el desarrollo mental, se definen nuevos horizontes más ambiciosos y lógicamente más atractivos para fines de la productividad y calidad total.

Las ventajas que encontramos en el uso de los sistemas CAD en forma más específica, pueden ser por un lado, la velocidad de generación de los proyectos; pero especialmente es la potencialidad que se adquiere cuando se desarrolla con CAD. Los mecanismos de dibujo se perfeccionan y de un simple bosquejo se puede obtener una liga con programas de cuantificación,

con programas de animación tridimensional y hasta con programas para predicción del comportamiento del modelo en situaciones a las que va a estar expuesta la obra civil. Estos modeladores pueden ir desde una predicción del impacto visual que se tendrá en el medio físico circundante (análisis de proyección de sombras y ocultamiento de áreas debidas a la obra civil) hasta un análisis de la estructura bajo diferentes tipos de solicitaciones. Es de importancia igualmente relevante lo referente a la administración del proyecto y al mantenimiento del mismo. Los avances en la construcción son posibles de almacenar en la computadora, dando así posibilidad de que en cualquier momento se consulte el estado actual que impera en el proyecto.

### **1-3 Alcances del Trabajo**

En este trabajo, se intenta formalizar desde un punto de vista académico, lo relativo a el proceso de elaboración de La Ingeniería de Detalle en las tareas de fabricación de Estructuras Metálicas. Esta formalización se lleva a cabo por medio de la definición y ubicación de esta parte de la Ingeniería dentro del proceso constructivo. Así mismo, es de especial interés presentar una metodología para el desempeño y la automatización de esta ingeniería de fabricación y montaje en estructuras de acero. También se presenta el desarrollo de programas de cómputo que funcionan como herramientas para el logro de una automatización total.

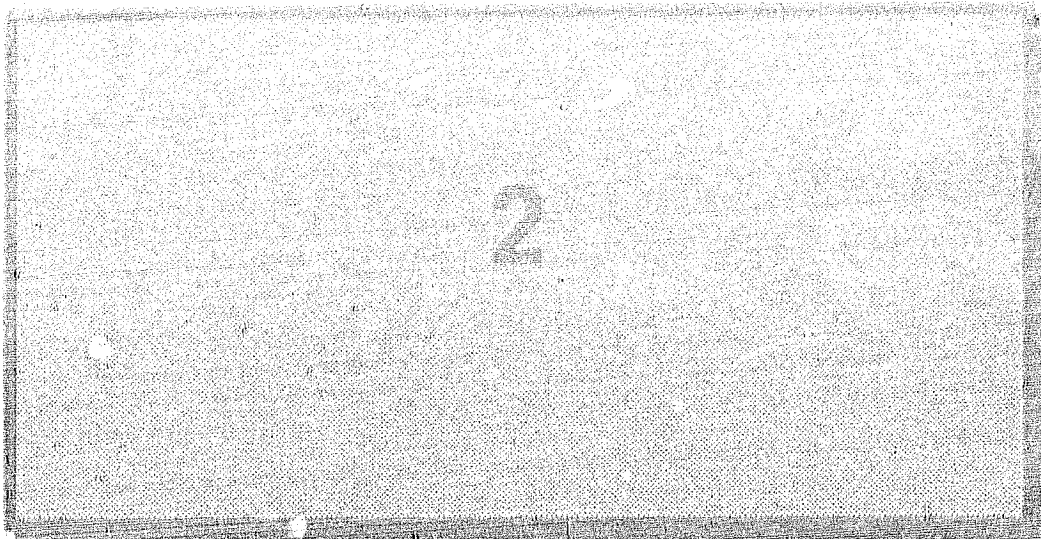
Se pretende que cualquier persona interesada al respecto, pueda implementar fácilmente esta manera de desarrollar las fases de fabricación, montaje y administración de estructuras de acero.

El nivel de mecanización que se propone es: que los planos de fabricación de elementos estructurales (trabes, columnas, etc.) se lleven a cabo por una simple especificación paramétrica del elemento a fabricar. Esta especificación se realiza por medio de una interfase en el programa CAD que se esté usando (es objetivo del trabajo proveer los elementos para la construcción de

interfases propias de cada aplicación). Lo anterior como primera instancia; de igual forma, se busca en la propuesta de mecanización computacional para que los planos hechos con un paquete de CAD estén ligados a procesos de cuantificación en la estimación de costos, avances de obra, y modelos geométricos tridimensionales, esto último para tratamiento con programas de animación computacional y proyección del aspecto visual que tendrá el modelo al final, ayudas esenciales en la etapa de diseño arquitectónico.

Se contemplan ejemplos con rutinas para la fabricación de elementos típicos como armaduras de cuerdas paralelas, fabricadas con ángulos de acero y soldadas entre sí.

Dada la tipificación de los elementos anteriores y debido a que para su fabricación se requieren cálculos geométricos complejos, estos casos se han generalizado como parte de una librería de elementos tipo. Sería difícil tratar de generalizar otro tipos de elementos, como columnas y vigas, ya que su constitución resulta única en cada proyecto. La ingeniería de detalle varía siempre, y es totalmente dependiente de la ingeniería básica (análisis y diseño estructural), pero su procedimiento está bien definido, sólo basta con dar un nuevo enfoque a la manera de trabajar.



## **2-1 Construcción con Estructuras de Acero**

En el pasado, la construcción se llevaba a cabo por un reducido grupo de profesionales con innumerable cantidad de obreros, las obras tenían costos muy elevados debido a su largo tiempo de fabricación. Los desperdicios de materiales utilizados, eran excesivos, pues siempre se rebasaban los límites mínimos necesarios, resultando así el desarrollo de obras sobradas en su diseño.

Con los avances en la tecnología y el desarrollo de campos de especialización en la construcción, los trabajos fueron erigidos de manera más óptima a la tradicional. Los procesos constructivos de obras civiles actuales demandan de la participación colectiva de profesionistas constructores, diseñadores y fabricantes. Esta integración de esfuerzos da lugar a la generación de importantes obras en tiempos reducidos y con el uso adecuado de materiales.

Los materiales para la construcción de hoy en día, son muy diferentes en su composición a los que se usaban en tiempos pasados. Dada la abundancia del Mineral Hierro en la corteza terrestre (5% del total de la corteza) y los diversos usos que se le han designado, hacen que éste sea uno de los



principales minerales hoy en día. En combinación con carbón mineral y piedra caliza y fundidos a altas temperaturas en los denominados Altos Hornos se obtiene el material ACERO. Dependiendo de la cantidad de carbono utilizada en la fundición se obtiene diferentes resistencias del Acero.

En 1960 la industria del acero anunció un acero al carbono mejorado, el acero A-36, con punto de fluencia más elevado y una cantidad de carbono adecuada para soldadura, eliminando otros aceros de este ámbito y convirtiéndose en el material más utilizado en la construcción con Acero. Su alta resistencia comparada con cualquier otro material y su ductilidad refuerzan esta aplicación. Cabe señalar que es de los materiales que más deformación pueden sufrir ya sea en tensión o en compresión antes de fallar.

En la CONSTRUCCION CON ACERO, los procesos de desarrollo son, en la mayor parte de las ocasiones, repetitivos. La forma de los elementos varía de unos a otros sólo en algunos pequeños detalles, sobretodo, el cambio se refleja en las dimensiones más que en la forma de los elementos; más aún, a cada uno de los componentes se les aplican tareas comunes realizadas por diversos especialistas; así, por cada elemento tenemos una cuantificación que determinará la demanda de material necesaria para su construcción y por ende el costo de la pieza; se tiene de igual forma, el proceso de pintado del elemento, el proceso de traslado (flete), el proceso de montaje y ensamble en el campo. Cada uno de estos procesos siguen una mecánica bien definida que sólo se adapta apropiadamente al elemento en cuestión.

En el ser humano, este tipo de trabajo repetitivo desencadena una falta de concentración y el individuo se ve afectado en su raciocinio. Hecho que da lugar a una frecuencia grande de errores. Por lo mismo, estos procesos son revisados en más de una ocasión. Esta repetición de elementos puede ser mecanizada con el empleo de tecnología computacional moderna.

Los procesos repetitivos son fáciles de mecanizar con el uso de una adecuada sistematización de los pasos en su desarrollo. Los mecanismos electrónicos

digitales programables (computadoras) auxilian de manera extraordinaria a esta sistematización.

## 2.2 La Ingeniería de Detalle

En la siguiente sección, se describe y ubica a la ingeniería de detalle.

Una vez elaborada la ingeniería básica (análisis y diseño estructural) de la obra civil, así como el diseño de cada uno de sus componentes, se procede a la fabricación de los mismos. Esta fabricación puede hacerse, dependiendo de la magnitud de la obra, en campo o en un taller. La especificación en planos de la constitución de los elementos a construir, su forma de ensamble, así como sus dimensiones constituyen la denominada **Ingeniería de Detalle**. Que, como su nombre lo implica, es aquella en la que las expresiones de dibujo en los planos arquitectónicos y estructurales van al mayor grado de especificación posible.

El diseño estructural supone una idealización de los componentes en sus dimensiones y sus características, los detalles de conexiones rara vez son completamente desarrollados en los planos estructurales. Es labor de la ingeniería de detalle que se cumpla lo mayor posible esta idealización y que se describan perfectamente los componentes de cada uno de los elementos que conforman un miembro estructural, por medio de análisis geométricos de los componentes, factibilidad de fabricación, aprovechamiento de materiales y una predicción de la secuencia de fabricación y montaje de cada elemento, entre otros factores.

Este trabajo requiere de mucha precisión y alto grado de legibilidad, pues una inadecuada coordinación entre el ingeniero detallista y el taller fabricante puede dar lugar a errores costosos y muchas veces irreparables. Para ser más claros, pensemos en el caso de que se haya mandado la dimensión "faltada" de la longitud de una viga que tiene placas de conexión para atornillado con la columna, no es posible añadir un segmento más a la viga, y ésta tiene que ser

vuelta a fabricar. Probablemente esta viga pertenecía a una parte principal de la obra. Este error retrasaría el ensamble de vigas secundarias conectadas a ella. El costo de flete, prefabricación, tiempos perdidos de grúa y montadores, tendrán que ser absorbidos por el culpable. La Ingeniería de Detalle debe excluirse de estos problemas. Los trabajos de revisión deben ser mejorados para un mayor control de calidad en el proceso.

### El taller y la producción

Las obras importantes (en términos de magnitud) requieren de fabricar los elementos en un taller especializado. Los talleres donde se fabrican estructuras de acero son los talleres más versátiles que existen en el ámbito de la fabricación, pues construyen piezas de toda índole, por ejemplo, mientras se prefabrican grandes vigas para un puente, paralelamente pueden estarse fabricando los elementos para una nave industrial o una tienda de autoservicio. Esta diversidad de elementos hacen del taller un lugar flexible y variado. Es responsabilidad del departamento de Ingeniería de Detalle que los trabajos sean definidos clara y precisamente, de tal forma que el Taller pueda fácilmente interpretarlos, y por ende, sus procesos de fabricación no sean retrasados por motivos de mala comunicación o deficiencia de la misma.

Actualmente, los talleres cuentan con maquinaria moderna para la prefabricación de elementos. Hoy en día, se emplean máquinas de control numérico para la precisión y automatización en la fabricación. Las máquinas cortadoras y soldadoras guiadas con riel son de uso exhaustivo. Por lo tanto, la velocidad de fabricación en un taller podría sobrepasar a la velocidad a una ineficiente Ingeniería de Detalle. No estamos en tiempos en el que las jornadas de trabajo deben ser dobles para el fin de cada proyecto, pues no es justo que el tiempo sea mal utilizado (todo a las carreras), de manera similar, ya no deben de existir demasiados restiradores para dibujar los planos o varios procesos de revisión a los mismos, cuando existen formas modernas, alternas a estas prácticas. La ingeniería de detalle debe ser automatizada con el uso de computadoras.

### Pasos a la automatización

Es necesario escribir sobre los elementos que intervienen en las estructuras de acero para poder automatizar su especificación de fabricación. Esta descripción se llevará a cabo en el Capítulo 3. Se deben contemplar todas las técnicas empleadas por las metodologías tradicionales para poder establecer esta mecánica moderna, en forma eficiente.

### Proceso de fabricación

Los elementos son fabricados a partir de placas de acero o perfiles y ángulos de acero. En algunas ocasiones, los perfiles se fabrican a partir de placas de acero por diversas circunstancias (carencia del perfil en forma comercial, abundancia de material tipo placa, costo de flete del lugar de procedencia del perfil, etc.). El habilitado del material puede provenir de tres diferentes lugares: desde los talleres de laminación, del almacén propio del taller o de pedidos a almacenes proveedores de este material.

Generalmente se hacen pedidos a los talleres de laminación para fabricaciones específicas. Estos pedidos los lleva a cabo el departamento correspondiente, y es él quien el que se encarga de tener el material necesario para la fabricación en el Taller.

El material que se encuentra en el almacén propio, se usa para trabajos pequeños, que puedan ser cubiertos con este material. El aprovechamiento óptimo del acero del almacén del Taller es de preponderante importancia en la economía de la empresa.

Los pedidos a los almacenes de los proveedores, se realizan cuando no es posible esperar el tiempo de entrega de los talleres de laminación. Definitivamente los precios de estos almacenes son especiales y tienen que ser contemplados de igual forma por la administración de la empresa.

Una vez que llega el acero al taller, éste es identificado y se corrobora con las listas de pedidos.

Las normas internacionales (AISC) especifican que el material tiene que estar marcado con calor para su fácil identificación, los datos de fabricante, las medidas y el tipo de material, son algunas de estas especificaciones requeridas. Esta manera de marcar a las placas o a los elementos de acero que llegan al taller, es una manera segura de que los materiales puedan ser identificados en cada uno de los procesos de fabricación que lo requieran.

Es tarea de la ingeniería de detalle la especificación geométrica y la especificación de los materiales de estos componentes, principalmente.

Cada plano resultante de la ingeniería de detalle necesario para la fabricación de cada elemento en el taller, debe de cumplir con ciertas características que se mencionan más adelante.

### EL DETALLISTA

El fabricar planos de taller es la ciencia y arte que representa lo determinado por la ingeniería estructural básica. En los planos de taller el Detallista debe incluir, con un lenguaje técnico, todas las especificaciones necesarias para que el taller fabrique diferentes tipos de elementos estructurales. Para preparar estos planos, el Detallista debe tener un conocimiento de cuáles son las especificaciones que la ingeniería marca para estas tareas, y de igual forma debe de relacionar las técnicas especiales que se aplican en la fabricación en los talleres con la construcción en el campo. Un Detallista calificado requiere del conocimiento de las diferentes tipos de conexiones que puede tener un elemento estructural, así como de sus procedimientos de construcción y los materiales que se requieren para su fabricación.

En la práctica, los detallistas son, en un principio, dibujantes que aprenden el Arte de Detallar con la ayuda de personas experimentadas y asesoradas por los ingenieros que tienen a su cargo el área de la Ingeniería de Detalle. La alta calidad que define a estos grupos, está dada por la velocidad de trabajo y el nivel de legibilidad de Planos de Fabricación. Para lograr esta meta, los detallistas se involucran con el taller fabricante a través de un lenguaje pictográfico plasmado en sus planos, este lenguaje está enriquecido por estándares de nomenclatura para cada uno de los elementos dibujados en los planos. Los fabricantes tienen que interactuar con los detallistas para que esta comunicación sea fructífera y con el menor número de errores posibles.

Un dato interesante que sucede en México, es que muchas tareas de detalle se realizan "por fuera", es decir, se contratan detallistas que trabajan en lugares externos al taller. Estas personas, laboran por lo regular en horas de trabajo ajenas a su horario normal, pues pertenecen a otras empresas en las que también desempeñan funciones de detalle. El grupo de detallistas de México, particularmente del D.F. es muy reducido, y está ya bien definido. Aunque constantemente se capacitan a nuevos detallistas, las llamadas vacas sagradas del detalle son las más buscadas.

### PROBLEMATICA

Un punto que cabe destacar es la del proceso de revisión de planos. Como se había indicado, es de suma importancia que lo que se está representando en los planos de taller para ser fabricado, sea acorde con lo que se solicita en los planos de diseño.

El encargado de la revisión debe ser un ingeniero responsable, con la experiencia y el criterio suficiente para anotar todo aquello que merece cambio, nulificación o que carece de importancia, con los argumentos técnicos para transmitirlos al dibujante para que éste haga las correcciones pertinentes; por esta razón, al fabricante le beneficia el contar con el personal capaz, en el que se pueda depositar la confianza de los mecanismos de

revisión, ya que en obras de gran magnitud, es imposible que el mismo fabricante realice la total inspección de los planos, pero si puede auxiliarse de ingenieros que efectúen este trabajo con el cuidado que se le debe tener.

Con frecuencia, es dado que en muchos proyectos, antes, después o durante su ejecución, tanto en gabinete como en obra, existan modificaciones, se van dejando detalles pendientes por definir y en el momento de solucionarlos se denota que éstos repercutirán en varias etapas del proyecto.

Si escribimos acerca de los planos arquitectónicos desde su elaboración existen modificaciones en la creación del proyecto, en el momento del diseño estructural, si al calculista no se le otorga toda la información, éste no puede tomar decisiones para ejecutar su trabajo, dejando así una secuela de pendientes. De igual forma, como ejemplo, existen cambios arquitectónicos y el diseñador ya realizó sus planos estructurales, estos cambios, afectarán los detalles de uno o varios planos dependiendo de la magnitud de las modificaciones, por lo que se tiene que invertir en un nuevo dibujo y tiempo sobre lo que se tenía ya terminado. Todos estos puntos son importantes para tomarse en cuenta, puesto que si ya han sido aprobados los planos, y se están efectuando los planos de taller éstos tendrán que ser corregidos con las modificaciones anteriores antes de pasar a la fabricación; por lo que se recomienda hacer los cambios y modificaciones antes de que sean aprobados para su construcción y ser revisados por el cliente o su representante técnico.

Así también, en obra se van dando modificaciones y cambios por diversos motivos de la misma construcción, lo que origina que todas esas modificaciones deban quedar definidas, solucionadas y asentadas en boletines y/o bitácora de obra. Toda esta información se vaciará en los planos correspondientes, con las indicaciones de cómo fue llevada a cabo la modificación y cómo fue que se construyó, lo que puede generar de nueva cuenta cambios en los detalles de varios planos.

De la problemática actual, se observa que las modificaciones en una obra pueden repercutir en inversiones inesperadas de tiempo y dinero. Sin embargo, es tan complejo y variado el origen de estos cambios que no los podemos evitar, pero con la aplicación de un estricto control de calidad y ejecución de todos los procesos y con el uso de computadoras que faciliten estas modificaciones que reporten las repercusiones que puede tener un cambio en forma automática a cada área respectiva, estas inversiones de tiempo y dinero no esperadas, se ven disminuidas en su costo de manera sustancial. El uso de mecanismos electrónicos digitales es hoy en día no sólo una necesidad sino una manera fundamental de erigir una obra con su poderosa ayuda.

### **2-3 Objetivos Esenciales de la Ingeniería de Detalle**

La representación gráfica o planos constructivos, es el medio que transcribe la localización, posición, dimensiones y ensambles de todos y cada uno de los elementos estructurales diseñados, hasta su construcción en el sitio de la obra.

Este lenguaje debe ser claro, necesario y suficiente, para que durante la vida útil, cada elemento estructural pueda contener, soportar y permitir la operación de las componentes adicionales y se cumpla el objetivo para el cual ha sido diseñado.

En ocasiones, la construcción in situ de los elementos estructurales diseñados, requiere de una precisión tan sofisticada, que se hace necesario realizarla en taller, para lo cual dichos planos constructivos deberán detallarse adecuadamente, dando lugar a la elaboración de planos de taller y de montaje de estructuras.

El contratista suministrará todo el equipo, materiales, mano de obra y la supervisión requerida para la elaboración de los planos del contratista de "estructuras de acero" (planos de taller), en base a los planos de diseño y especificaciones recibidas del contratante (cliente).



Los planos del contratista de estructuras de acero por elaborar, que comúnmente se denominan "planos de taller", deberán ser los siguientes:

- Planos de taller (propriadamente dichos).
- Planos de montaje.
- + Lista de tornillos.
- Lista de electrodos.

Se describe a continuación una serie de especificaciones o características que nos servirán para la elaboración de los planos de taller y además el fabricante de estructuras metálicas, las deberá complementar con las especificaciones correspondientes a:

- Fabricación de estructuras de acero.
- Montaje de estructuras de acero.
- Control de calidad y pruebas de estructuras de acero.

#### **2-3-1 Planos de Taller.**

Los planos de taller deben de incluir la información necesaria y suficiente para la fabricación de cada parte componente de una estructura, elementos estructurales, placas (si se especifica), tipo y tamaño de tornillos o remaches (si se especifica), tipo de electrodos y dimensiones de soldadura.

Los planos de taller deben elaborarse:

- Siguiendo la mejor y más moderna práctica de ingeniería y computación.
- Procurando rapidez y economía en fabricación, transporte y montaje.
- Según las presentes especificaciones, y lo indicado en los manuales del AISC, AWS, ASTM, (preferentemente lo que se refiere a detalles).

Los planos de taller deben contener:

- Los detalles de las piezas por fabricar, transportar y montar.
- La lista de materiales correspondiente a cada elemento estructural, indicado convenientemente el elemento, pieza, dimensiones, peso unitario, peso parcial y peso total.
- Y la siguiente información:
  - a. Unidades, tipo de materiales y especificaciones.
  - b. Número y título del plano del diseño generador.
  - c. Número del plano de montaje con el que deben ensamblarse y elegirse las piezas detalladas.
  - d. Número del plano o de la lista donde aparezcan tornillos, electrodos, etc.
  - e. Número del plano o taller, fecha de elaboración, nombre y firma del diseñador y del revisor, título del plano.
  - f. Un sello de aprobación para fabricación y montaje.

El contratista de estructuras de acero podrá prescindir de la elaboración de los planos de taller, si no se especifica en el alcance y la estructura cumple los siguientes requisitos y facilidades:

- Si la estructura por fabricar corresponde al tipo ligero.
- Si los marcos son regularmente típicos.
- Si los planos de diseño son sencillamente detallados, es decir, los planos de diseño no son planos de taller; por lo tanto, la información en los primeros debe ser necesaria y suficiente, sin detalles exagerados e innecesarios.
- Si el tonelaje total del conjunto no excede de 100 toneladas.
- Si se cuenta con equipo y personal calificado.
- Si el diseño está totalmente terminado, es decir, un plano totalmente terminado se refiere a un plano sin pendientes.

#### El dimensionamiento en los planos

La especificación del dimensionamiento de cada elemento es tarea fundamental de la Ingeniería de Detalle. Cada sección debe especificarse al milímetro y todas las cotas deben estar referidas en forma absoluta a los ejes de los elementos, pues de esta manera el taller evita acarreos de error en la fabricación. Los señalamientos de cotas en los planos deben ser dibujados con un trazador diferente al usado para el dibujo del elemento, generalmente se usan plumillas más delgadas y tenues. Las cotas no deben saturar al dibujo, pues podría complicar su interpretación, por lo que se debe procurar acotar en secciones apartadas del trazo general, estas secciones son las llamadas detalle de dibujo.

Las acotaciones en los elementos inclinados como diagonales, vigas para escaleras, contravientos, etc. deben señalarse en forma alineada al objeto, pues la fabricación de este tipo de elementos es en forma horizontal. Los números que representan las distancias en las cotas no deben contener fracciones decimales, y es por esta razón que las unidades seleccionadas son los milímetros. En cada especificación de una cota, deben de señalarse dos puntos del objeto que se están tomando como referencia y en cada extremo de la línea de dimensión debe de haber un símbolo que define a este extremo, el más usual de estos símbolos es la punta de flecha; sin embargo, el que se recomienda es una línea diagonal que intersecta a la línea de dimensión, esto por la facilidad y mayor claridad (ver figura 2.1)

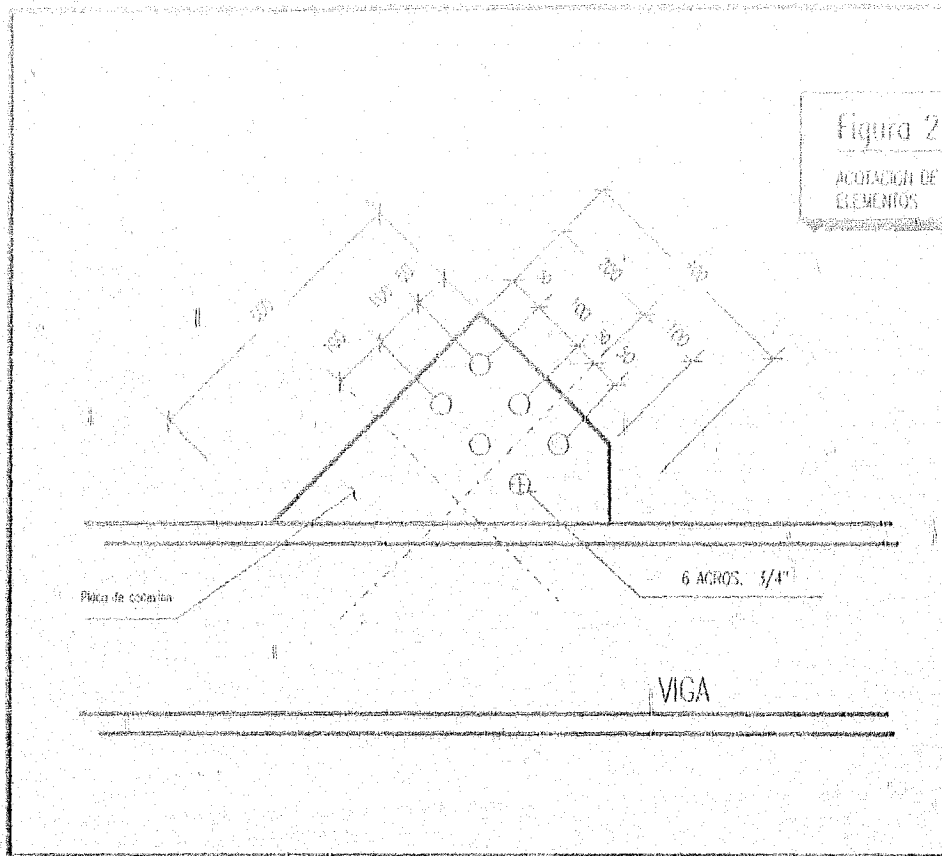


Figura 2.1

ACOTACION DE  
ELEMENTOS

### Especificación de ensamble

La manera de especificar cómo van a ser ensamblados los materiales para conformar una pieza, tiene que llevarse a cabo usando la simbología correspondiente para el caso de soldadura. Se deben indicar los elementos que se sueldan en el taller y los elementos que se sueldan en campo.

El ensamble con tornillería se usa en el montaje en la obra. Las holguras deben ser determinadas con especial cuidado. En el caso de anclas, los agujeros de las placas base son generalmente un 30% mayores que el diámetro del ancla, esta holgura se ajusta con placas superpuestas que se sueldan a la placa base.

### La cuantificación

En un plano de fabricación también existe una tabla de materiales usados para la formación del elemento en cuestión. En esta tabla, se indican qué tipo de placas o perfiles se requieren, con sus dimensiones, y de acuerdo a sus factores de carga por unidad de longitud, se obtienen los pesos correspondientes a cada material requerido y el peso total de la pieza o piezas del plano.

La Ingeniería de Detalle cuantifica su valor monetario en relación al peso de la estructura a construir, por lo que cada plano lleva implícito su costo de Ingeniería, así como su costo de fabricación.

Los detalles de los planos deben limitarse a lo siguiente:

- Cumplir con lo indicado en las especificaciones para la fabricación de estructuras de acero.
- Dar una nomenclatura a todos los elementos estructurales, orientarlos convenientemente y ubicarlos consecuentemente en los planos de montaje.
- Lo indicado en planos de diseño.

### EN COLUMNAS:

- a. Lo indicado en planos de diseño.
- b. Indicar localización y detalle de empalmes de taller.
- c. En perfiles de tres placas de fabricación estandar (por ejemplo, perfil AHMSA IC), que no se encuentren en el mercado y que tengan que fabricarse en taller o campo, indicar espesor de soldadura almapatines mínimo, si no se ha especificado en los planos de diseño.
- d. Localizar simétricamente los agujeros, puntos y líneas de trabajo, topes de perfiles, etc., que coinciden en un nudo.

### EN TRABES Y VIGAS

- a. Lo indicado en planos de diseño.
- b. Ninguna viga o trabe debe tener empalmes.
- c. Idem inciso "c" de columnas (aplicado a vigas y trabes).
- d. Localizar simétricamente los agujeros para tornillos.
- e. Acotar las zonas que han de despatinarse, así como holguras.

### EN CONTRAVIENTOS:

- a. Lo indicado en planos de diseño.
- b. Ningún contraviento debe tener empalmes.
- c. Localizar simétricamente los agujeros para tornillos (zig-zag o tresbolillo, línea, etc.).
- d. Localizar simétricamente las líneas de trabajo.

### EN CONEXIONES:

- a. Lo indicado en planos de diseño.
- b. Diámetros de agujeros.
- c. Acotación de agujeros (distancias mínimas).
- d. Dimensiones de placas de conexión de contravientos.
- e. Completar la rigidez de nudos y elementos estructurales con placas tapa, cartabones, placas separadoras, placas atiesadoras, etc., omitidas o que complementen los planos de diseño.
- f. Holguras y dimensionamiento de clips referidos a normas y no detallados en planos de diseño.
- g. Localización y dimensionamiento de tornillos de montaje.
- h. Procedimientos de construcción para evitar dejar piezas sin soldar.

### EN GENERAL:

- A. Todo aquello que complementa lo indicado en planos de diseño.
- B. Cualquier detalle que presente dificultad para fabricarse, soldarse, transportarse y montarse, será modificado, siempre y cuando no se afecte la estabilidad estructural del conjunto y siguiendo una buena práctica de ingeniería.

#### 2-3-2. Tablas de Materiales.

Como ya se mencionó, se deberá asentar en el plano de taller la lista de materiales correspondientes a los elementos estructurales, dibujados en el mismo; es conveniente realizarla en cada plano para evitar referirla a otros planos para tenerla a la mano y manejar con mayor facilidad los materiales. Algunas de las ventajas que ofrece el listado de los materiales, son las siguientes:

- a. Facilidad para el manejo y el ensamble de las piezas para trabajar en el taller en el momento de la fabricación de los elementos estructurales.
- b. Rapidez para la revisión de los planos, ya que se verifica con mayor sencillez que las piezas de la lista aparezcan en los detalles dibujados, dando lugar a omitir o anexar material según se requiera.
- c. Si existen modificaciones, permite omitir o anexar materiales con una pronta localización y fácil ordenación de los mismos.

A continuación, se indica la especificación de los materiales estructurales a la cual, deberán de ajustarse los fabricantes de los mismos:

#### MATERIALES:

Perfiles, placas y barras de acero estructural.

- Especificación: ASTM A-36.

- Los fabricantes de perfiles, placas y barras cubiertos en esta sección y a menos que se especifique y apruebe por el cliente, podrán ser:

- a. Siderúrgica Lázaro Cárdenas Las Truchas.
- b. Altos Hornos de México, S.A. (AHMSA).
- c. Hojalata y Lámina, S.A. (HYLSA).

Perfiles ligeros de acero, formados en frío.

- Especificación ASTM A-440.
- Fabricantes recomendados (a menos que se especifique lo contrario por el cliente), Cía. Fundidora F. y A. de Mont. y AHMSA.

Perfiles tubulares rectangulares (PTR).

- Especificación: ASTM A-500.
- Fabricante recomendado (a menos que se autorice lo contrario por el cliente):

Hojalata y Lámina, S.A. (HYLSA).

## SOLDADURA.

Especificación:

Acero A-36 (taller) electrodo E 6010 ASTM A-233

Acero A-36 (campo) electrodo E 7014 ASTM A-233

Perfiles F, en frío y PTR electrodo E 6012 ASTM A-233

Tornillos, tuercas y rondanas.

- Todas las partes atornilladas llevarán rondanas en un solo extremo de cada tornillo, según la parte que gire al apretar.



• Especificación:

- Tornillos grado estructural Grado A, rondanas no end ASTM A-307.
- Tornillos alta resistencia, Tuercas y cabeza hexag. ASTM A-325.
- Tornillos especiales: Tuercas A-194 grado 2H, rond. A-325 ASTM A-490.

Los fabricantes recomendados podrán ser:

- a. Tornillos Spasser, S.A.
- b. Unbrako Mexicana, S.A.
- c. Tornillos de México, S.A.

**2-3-4. Planos de Montaje.**

Los planos de montaje deberán ser elevados por el contratista de fabricación de estructuras de acero para servir de guía en el montaje de las mismas.

Los planos de montaje deben elaborarse:

- Siguiendo la mejor y más moderna práctica de ingeniería y computación.
- Procurando rapidez y economía en la erección de las estructuras.

Los planos de montaje deben de contener:

- La posición definitiva de cualquier elemento estructural fabricado (orientación, nivel y posición).
- La conexión con elementos contiguos, a menos que se especifique otra cosa en el alcance.
- Los pesos de los elementos por montar, cuando éstos rebasan los 1,000 kgs.

Y la siguiente información:

- Número y título del plano de diseño generador.
- Número y título del plano de taller en el que se detallan las piezas por montar.
- Número y título del plano de montaje, fecha de elaboración, nombre y firma del diseñador y del revisor.
- Sello de aprobación para montaje.

El contratista de estructuras de acero podrá prescindir de la elaboración de los planos de montaje, si no se especifica en el alcance en tal caso, se dibujarán los datos de montaje en los planos de taller y la estructura por montar cumple con los siguientes requisitos y facilidades:

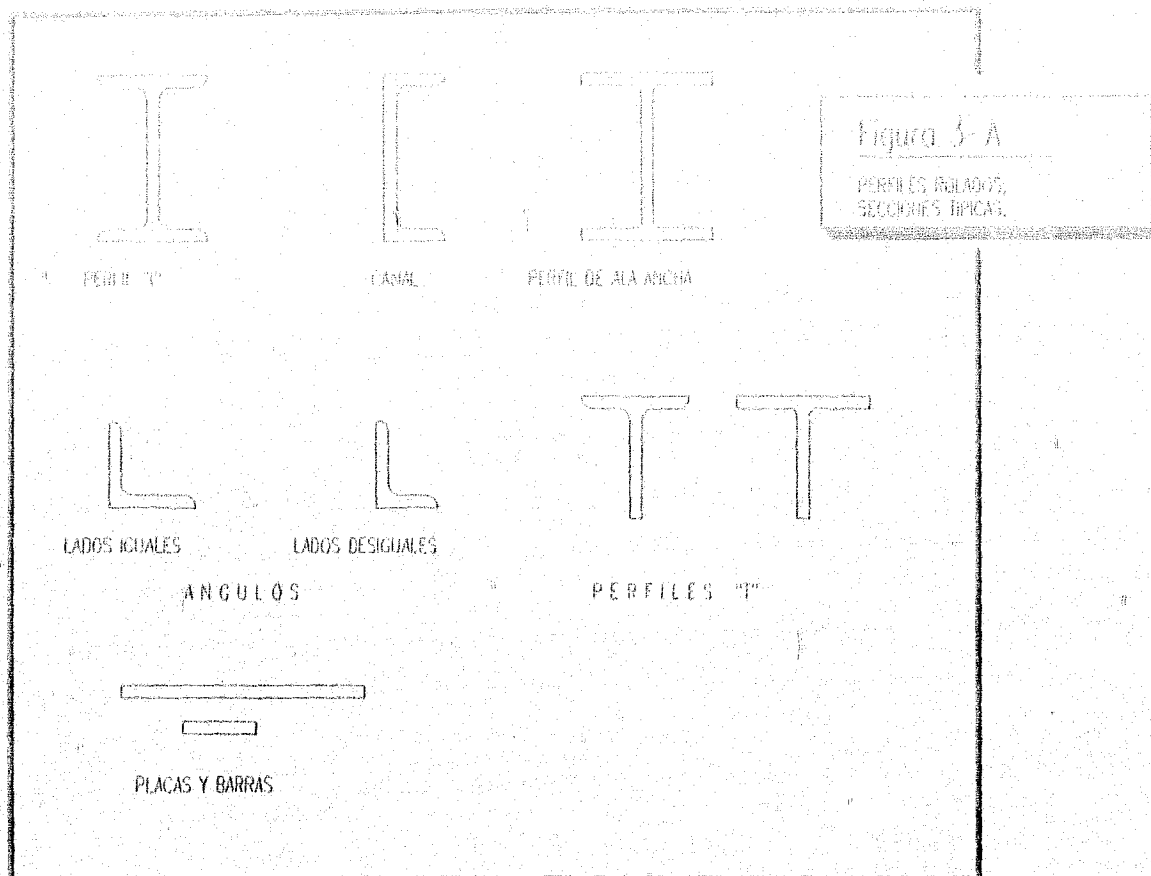
- Si los marcos son regularmente típicos.
- Si se facilita el montaje exclusivamente con los planos de diseño y de taller.
- Si en campo se cuenta con un buen respaldo de equipo, materiales y personal calificado.

# 3 INGENIERÍA DE DETALLE EN LAS ESTRUCTURAS DE ACERO

## PRODUCTOS DE ACERO

Los lingotes de acero de la refinación del arrabio se laminan para formar placas de anchos y espesores variables, diversos perfiles estructurales, tubos, barras redondas, cuadradas y rectangulares. La mayor parte del laminado se efectúa sobre el acero en caliente y el producto se llama "acero laminado en caliente".

En el siguiente espacio se hace referencia a algunos productos laminados:



### Perfiles Laminados

El gran volúmen de los perfiles laminados se puede clasificar dentro de los siguientes grupos:

1. Perfil "I" (antes llamado viga estandar americana), es generalmente conocido como viga I por la semejanza que tiene con dicha letra.
2. Perfil en Canal (C).
3. Perfil en Patín o Ala Ancha (WF); en ocasiones se hace referencia a perfiles H, B ó CB, dependiendo del productor.
4. Perfiles Ligeros (B) y Perfiles misceláneos (M); éstos son perfiles de peso ligero y tienen una sección transversal similar a la de los perfiles I ó WF.

5. Vigas Menores (JR) y Canales Menores (JRC); éstos son perfiles de peso ligero y similares a los perfiles "I" o los canales.
6. Perfiles T (ST); estos perfiles son miembros que se obtienen cortando los perfiles WF, I, N) y JR; usualmente el alma se prolonga hacia el centro.
7. Angulos (L); se tienen de dos tipos, ángulos de lados iguales y ángulos con lados desiguales.
8. Placas (PL) y barras planas (Bar), son de sección transversal rectangular y llegar a producirse de diversos anchos y espesores. Las barras están limitadas a un ancho máximo de 6 a 8 pulgadas, dependiendo del espesor; las placas tienen un rango desde 8 a 200 pulgadas, sujeto a limitaciones de longitud y espesor.

Un claro entendimiento de las formas de los perfiles disponibles de acero estructural, es esencial para que los dibujantes puedan preparar los detalles de dibujo.

Se ha preparado una tabla donde se muestra un método para la designación y/o cuantificación de las piezas individuales de los perfiles estructurales y placas.



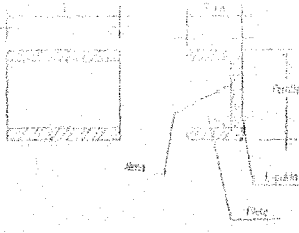
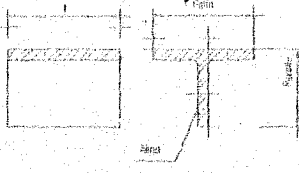
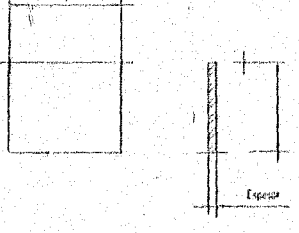
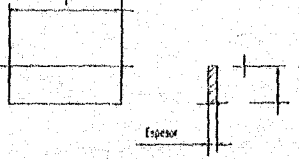
NÚMERO	DESIGNACIÓN PARA IDENTIFICACIÓN DE PERFILES CON MATERIA	SÍMBOLO Y PLAZA O PLAZA SUPLENTE DE PERFILES PARA LA IDENTIFICACIÓN DE LA FORMA CORRESPONDIENTE	UNIDADES
CANALES Y CANALES MENORES	Símbolo Fijate en pág. 10 y 13.3.4 Perfil en pulgadas Peso en kg/m Longitud en mm		En detalles de acero con espesores menores, los de 20 mm se redondea en los bordes de los perfiles. Si los espesores que están entre el canal y placas se permitieron los perfiles sustitutos. Evitar el uso de perfiles del canal y los perfiles como sea conveniente.
"T" ESTRUCTURAL	Símbolo Fijate número en pág. 51 Perfil base en pulgadas Peso en kg/m Longitud en mm		En detalles de acero con espesores menores, los de 20 mm se redondea en los bordes de los perfiles. Si los espesores que están entre el canal y placas se permitieron los perfiles sustitutos. Evitar el uso de perfiles del canal y los perfiles como sea conveniente.
PLACAS Lam. cortada Universal Modelo a ejecutar	Designación del producto Símbolo Ancho en pulg. o mm. Espesor en pulgadas Long. en mm		En detalles de acero con espesores pequeños, procurar el espesor de las placas y barras según convenga. Ver el manual AISC para la clasificación de dimensiones de placas y barras.
BARRAS PLANAS (Soleras)	Símbolo Ancho en pulg. o mm. Espesor en pulgadas Long. en mm		En detalles de acero con espesores pequeños, procurar el espesor de las placas y barras según convenga. Ver el manual AISC para la clasificación de dimensiones de placas y barras.

Figura 3.0  
DETALLES DE ACERO ESTRUCTURAL

En esta tabla se maneja el patrón convencional de los dibujos de esos perfiles y los nombres correctos de las partes que los componen.

Este sistema es generalmente aceptado y usado en los departamentos de dibujo estructural, se presentan cambios menores en el nombre o en la designación de las propiedades.

### 3-1 Descripción de Elementos

#### 3-1-1 Columnas

A los miembros estructurales, sujetos indistintamente a cargas axiales (tensión o compresión), y momentos flexionantes en ambas direcciones les nombramos columnas. La estabilidad de una estructura depende fundamentalmente de su rigidez y transmite en unión de los contraventeos las reacciones para el diseño de la cimentación.

A continuación, se mencionan los tipos de columnas de acero y elementos que las conforman, atendiendo el tipo de estructura donde se utilizarán:

1. COLUMNAS SIMPLES: Son las que su sección transversal la conforma un perfil laminado como se muestra en la figura 3.1



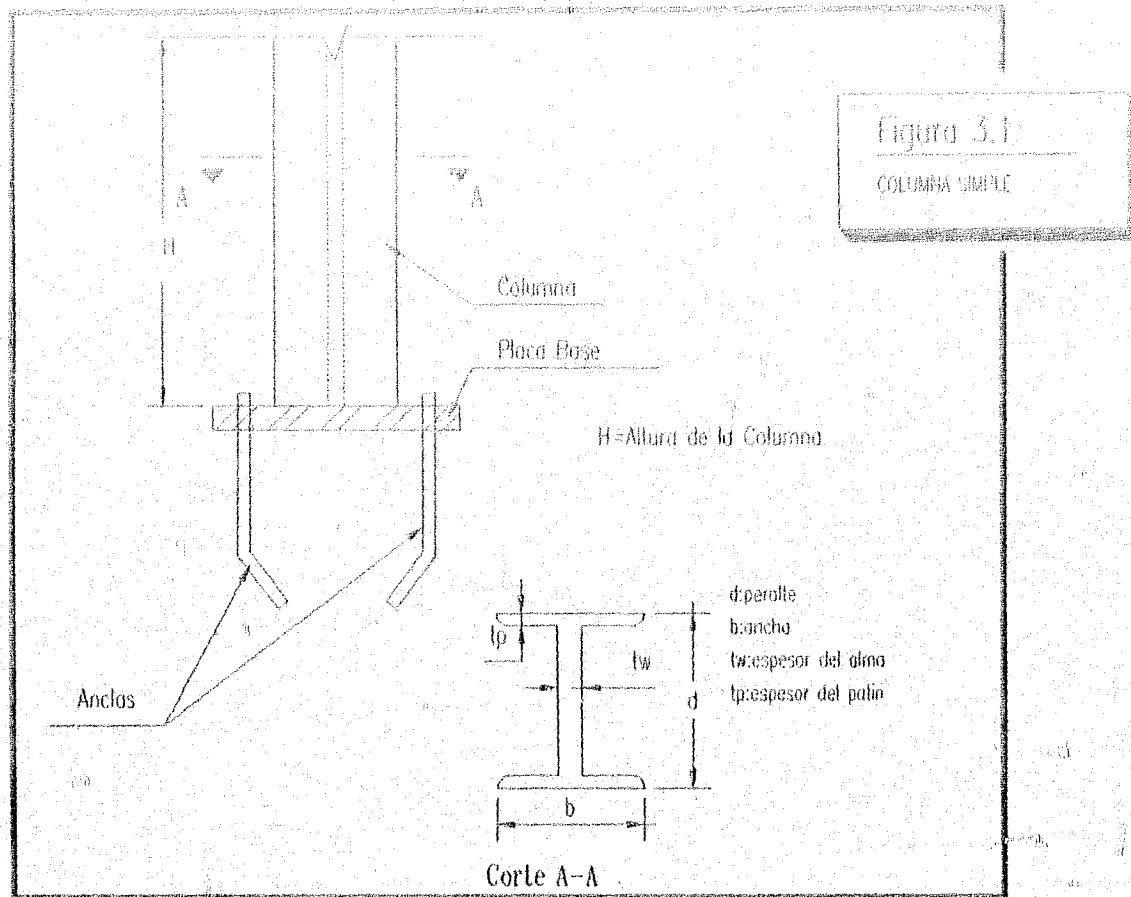


Figura 3.1

COLUMNA SIMPLE

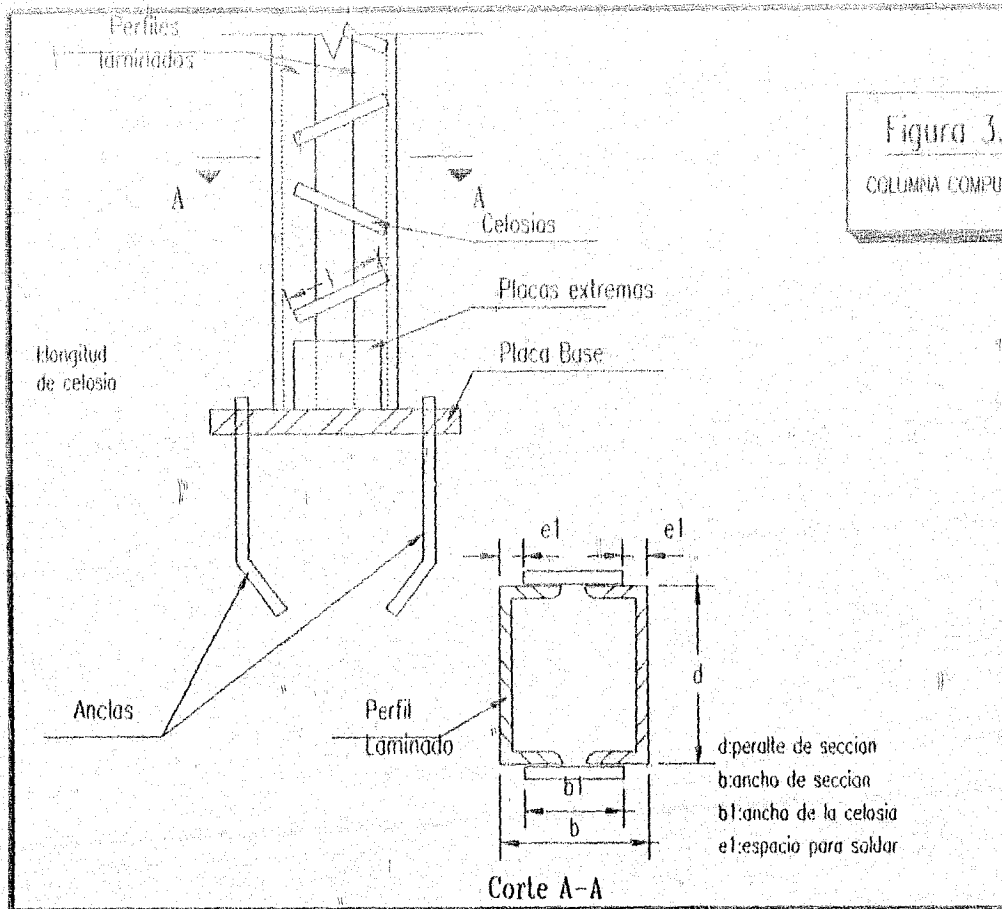
Columnas de sección compuesta con perfiles laminados.

2. COLUMNAS ARMADAS CON PERFILES LAMINADOS: Este tipo de columnas, para que trabajen como una sola unidad, se requieren del auxilio de los elementos siguientes:

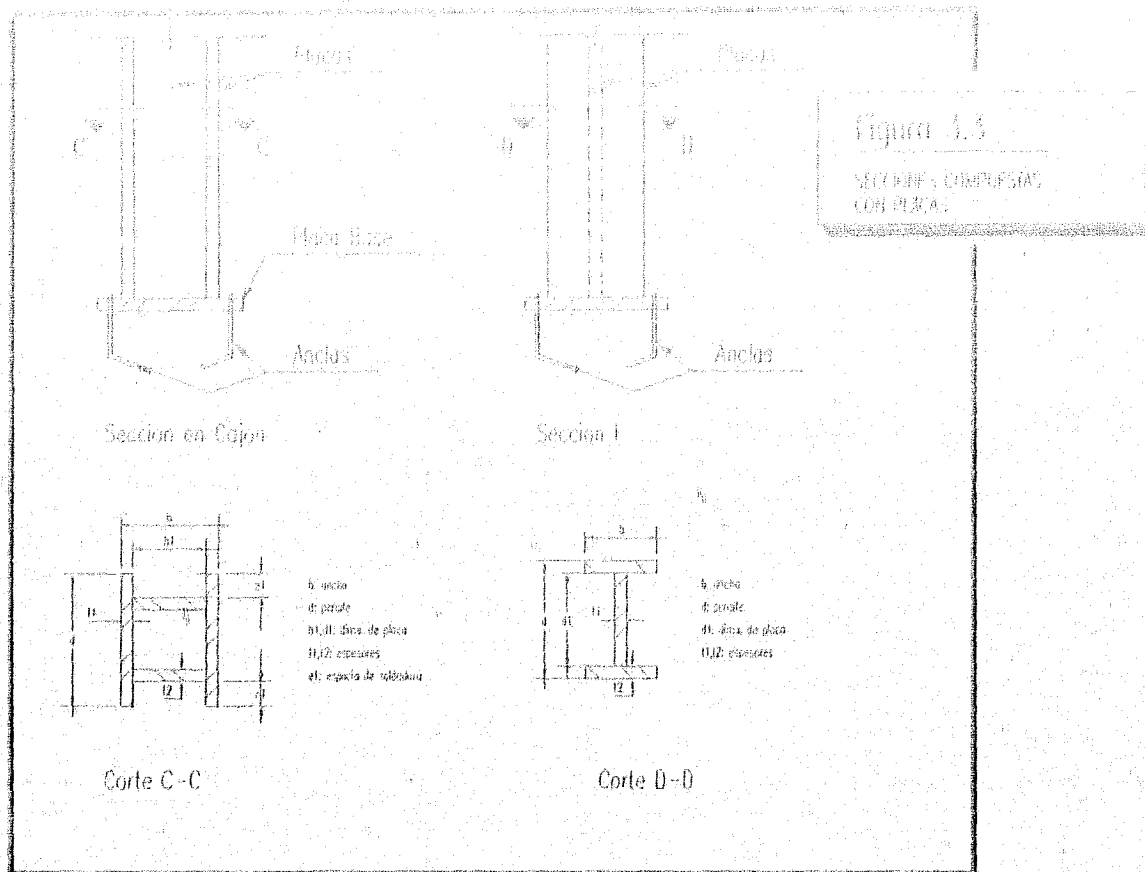
- a. Placas extremas.
- b. Placas intermedias (de ajuste).

- c. Celosías.
- d. Soldaduras de unión.

Se presenta este tipo de columna en la figura 3.2:



3. COLUMNAS DE SECCION COMPUESTA CON PLACAS: Estas columnas, como su nombre lo indica, se forma a base de placas y se unen por medio de soldadura, las secciones mas comunes que se efectúan con placas, son las que a continuación se muestran.



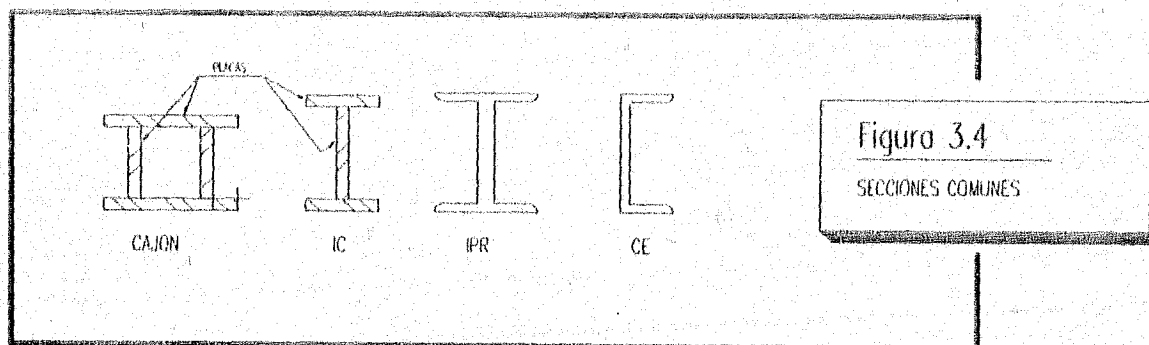
Es importante destacar que, para cualquier columna simple, estarán ligados dos elementos que trabajarán conjuntamente durante toda la vida útil de la estructura y son la placa de base y las anclas, los cuales también son debidamente diseñados y después especificados en los planos de taller para posteriormente pasar a la fabricación.

### 3-1-2 Trabes y Vigas

Estos elementos estructurales, los definiremos de acuerdo a la función estructural que desempeñarán en la estructuración de cualquier edificación. Así por lo consiguiente, tendremos lo siguiente:

1. **VIGA:** Es aquel miembro estructural sujeto indistintamente a cargas axiales (de tensión o de compresión) y a momentos flexionantes, estando conectadas solo para transmitir fuerzas cortantes; estructuralmente se les considera como elementos secundarios y se apoyarán o conectarán a los elementos principales (trabes o columnas).
2. **TRABE:** Es aquel miembro estructural que se encuentra sujeto indistintamente a cargas axiales (tensión o compresión) y a momentos flexionantes en la dirección de su mayor momento de inercia, inclusive en sus extremos, por lo que se conecta para transmitir fuerzas cortantes en el alma y cargas axiales de tensión o compresión en los patines, estructuralmente se les considera como miembros principales y se conectarán a las columnas.

A continuación se describen algunas de las secciones que son más utilizadas como trabes o vigas, en la figura 3.4:

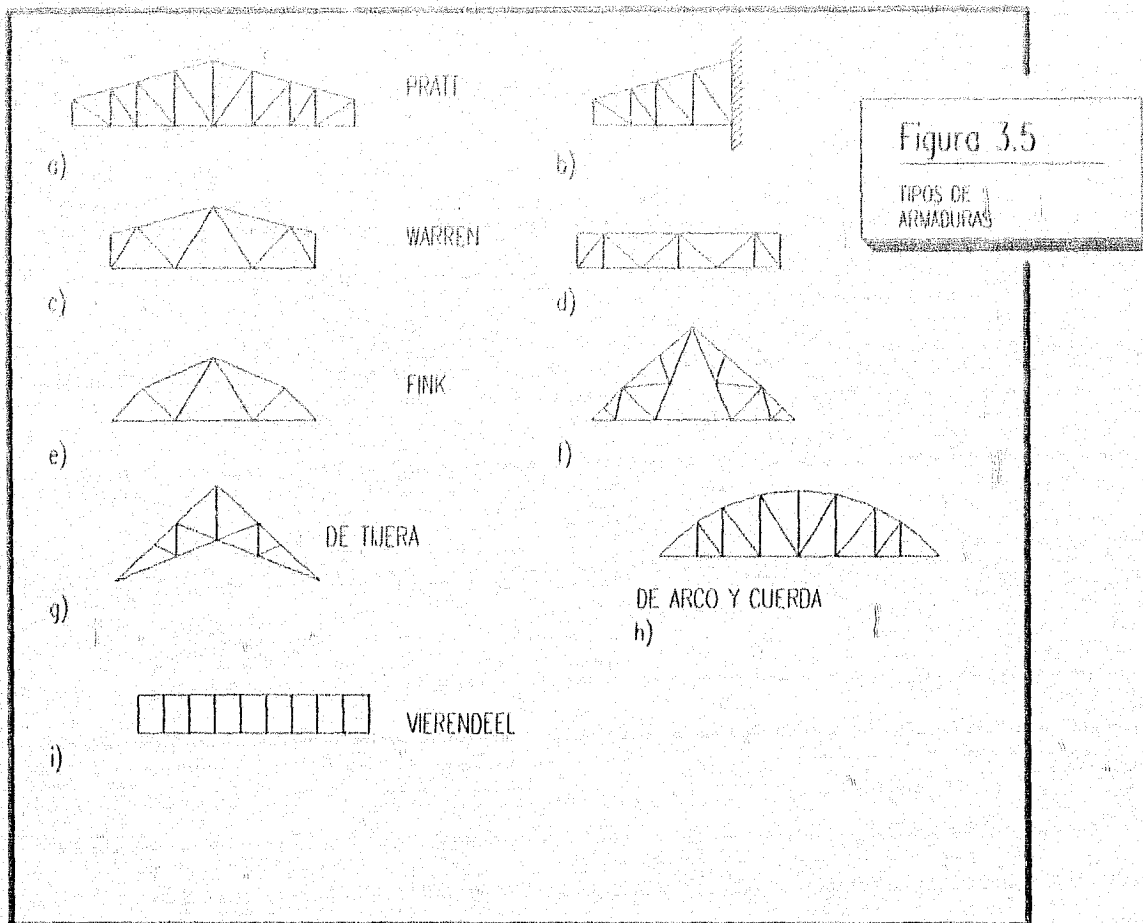


### 3-1-3 Armaduras

Cuando así lo permiten los límites de peralte, una manera más económica de cubrir grandes distancias es con el empleo de las armaduras, tanto en el caso de techos como en el de entresijos.

Puesto que su peso es mucho mayor, las armaduras son más resistentes a la deflexión al comparadas kilogramo por kilogramo, con la viga rolada o la traba de placas.

En la siguiente figura se presentan algunos tipos de armaduras de uso frecuente en las estructuras de edificios, junto con las variaciones que se pueden hacer para adaptarlas a las condiciones particulares.



Las armaduras de las figuras (a) a (d) e (i) sirven como los principales elementos de soporte de las estructuras de techos y entrepisos; los tipos (e) a (h) tienen la misma función en las estructuras para techos asimétricos con pendiente pronunciada. Cuando en los tipos (a) a (d) la cuerda superior no es paralela a la inferior, es con el objeto de facilitar el drenaje de los techos

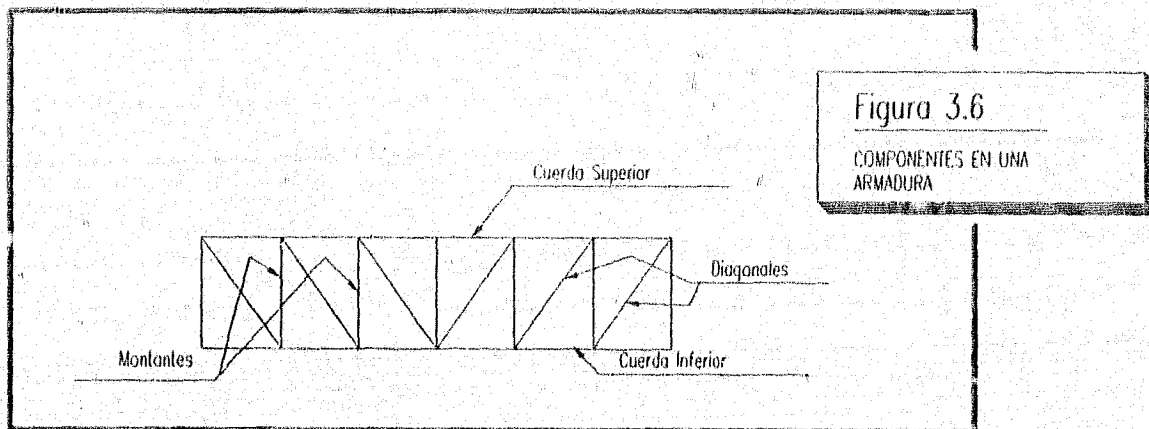
planos; cuando se usan en pisos, las armaduras (a) y (d) tienen las cuerdas paralelas.

Por otro lado, a pesar de que es relativamente costoso darle forma al arco, este tipo de armadura se prefiere en muchos casos para techar claros con longitudes moderadas de 30 metros.

La armadura Vierendel, se suelda generalmente en el taller con el objeto de lograr la máxima rigidez en las conexiones de los montantes verticales y las cuerdas.

También se usan armaduras para cubrir claros largos, ya sean armaduras tridimensionales (marcos espaciales) o como retículas. En el caso de las retículas bidireccionales, una serie de líneas paralelas es intersectada en un ángulo de  $90^\circ$  por otra serie de armaduras, de modo que los montantes verticales son compartidos por ambas series; algunas de las ventajas de estas retículas, son su menor peralte y la economía de su peso.

En la construcción de cada tipo de estos se debe contemplar sus siguientes elementos:



Cada uno de estos elementos son ensamblados entre sí, con soldadura y algunas veces van atornillados, por ejemplo:

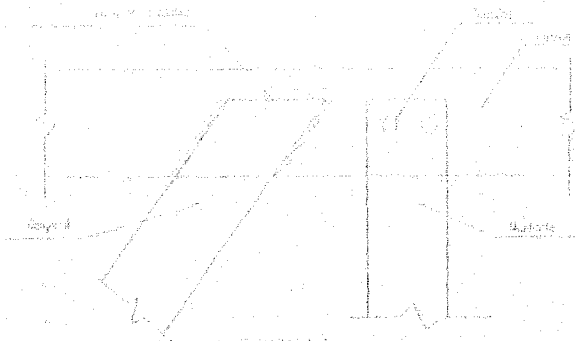


FIGURA 3.7

Los parámetros, en general, de una armadura son:

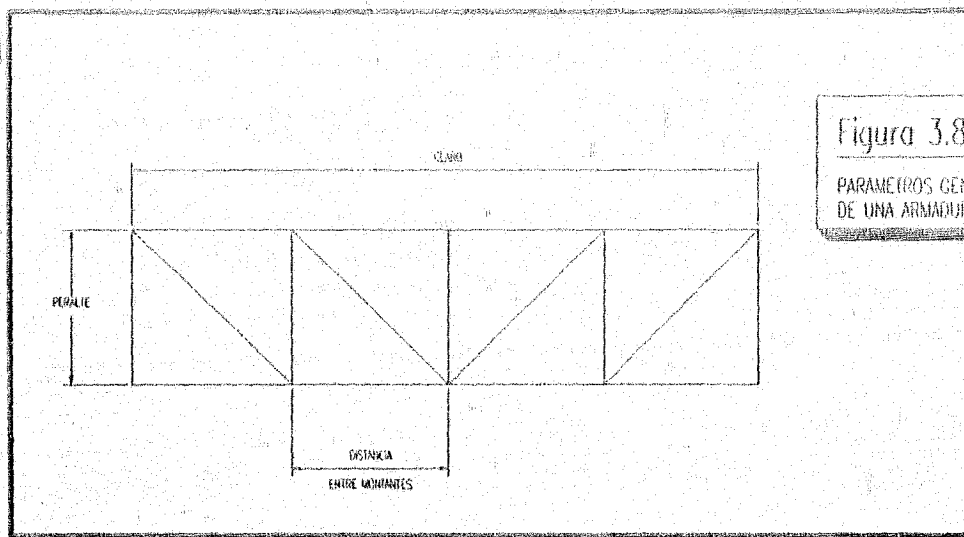


Figura 3.8

PARAMETROS GENERALES DE UNA ARMADURA

**CLARO (l):**

Este parámetro determina la longitud de las cuerdas:

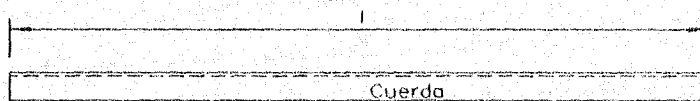


FIGURA 3.9

Y en el caso de que las conexiones con traveses y/o columnas necesiten de una conexión, la distancia (L) debe ser reducida al claro libre:

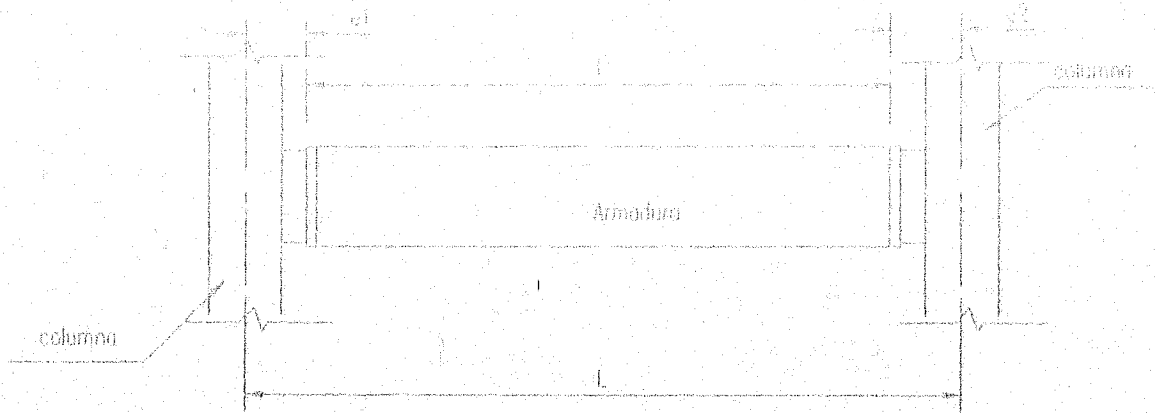


FIGURA 3.10

**PERALTE (P):**

Este parámetro define la altura nominal de la armadura y de él se obtendrá la longitud de los montantes con las siguientes consideraciones:

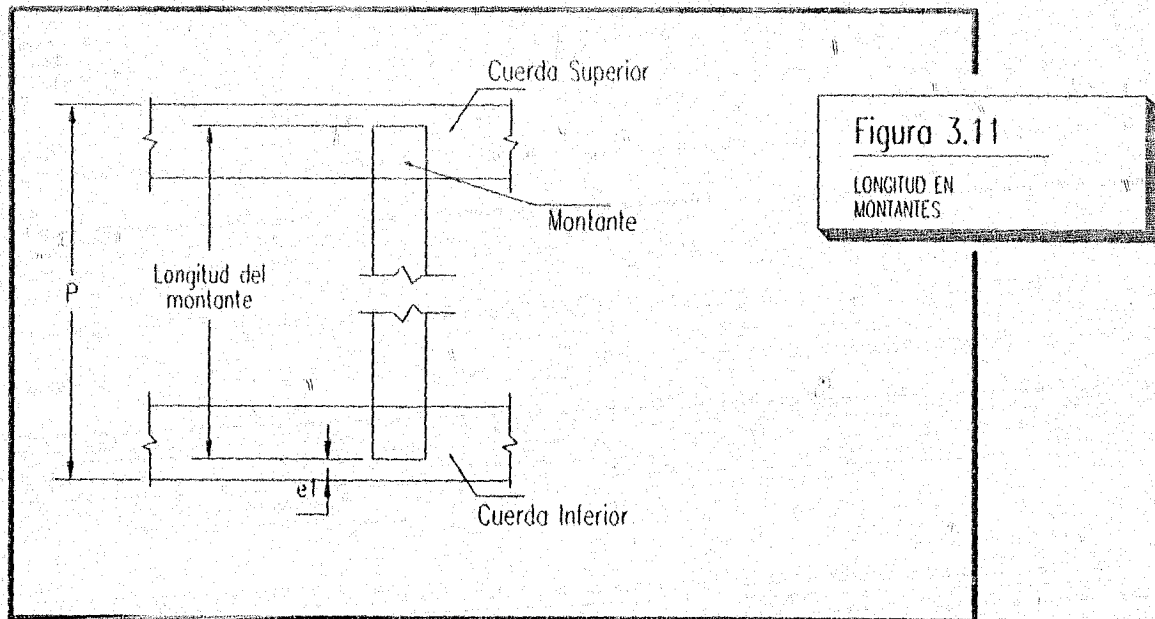


Figura 3.11

LONGITUD EN MONTANTES



La distancia  $e$  está determinada por la distancia que ocupe la soldadura y por el radio del ángulo de la cuerda, así como el espesor de su patín.

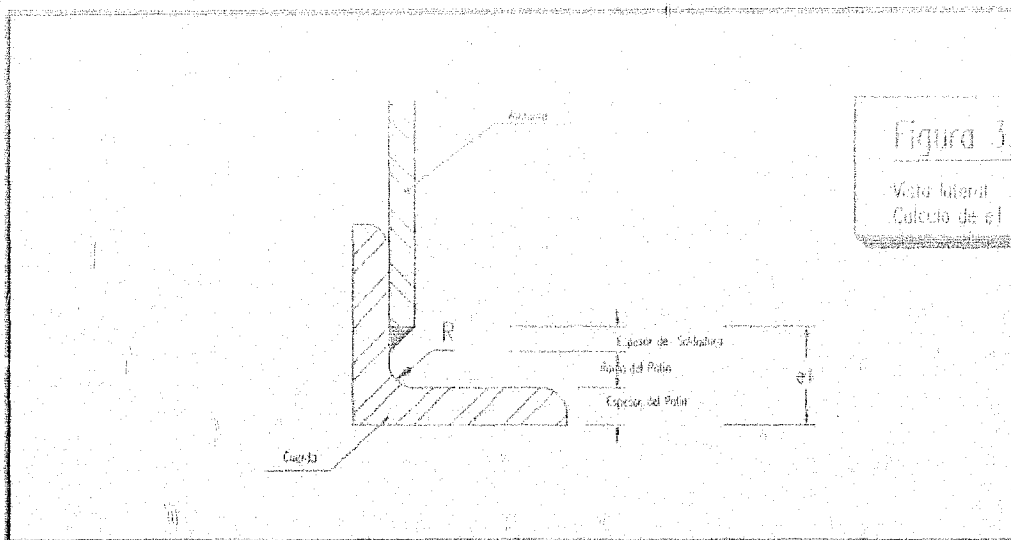


Figura 3.12

Vista lateral  
Cálculo de  $e$

### ESPACIO ENTRE MONTANTES:

Esta distancia está determinada por el número de claros en la armadura y por las posibles conexiones secundarias que vayan a existir, por ejemplo:

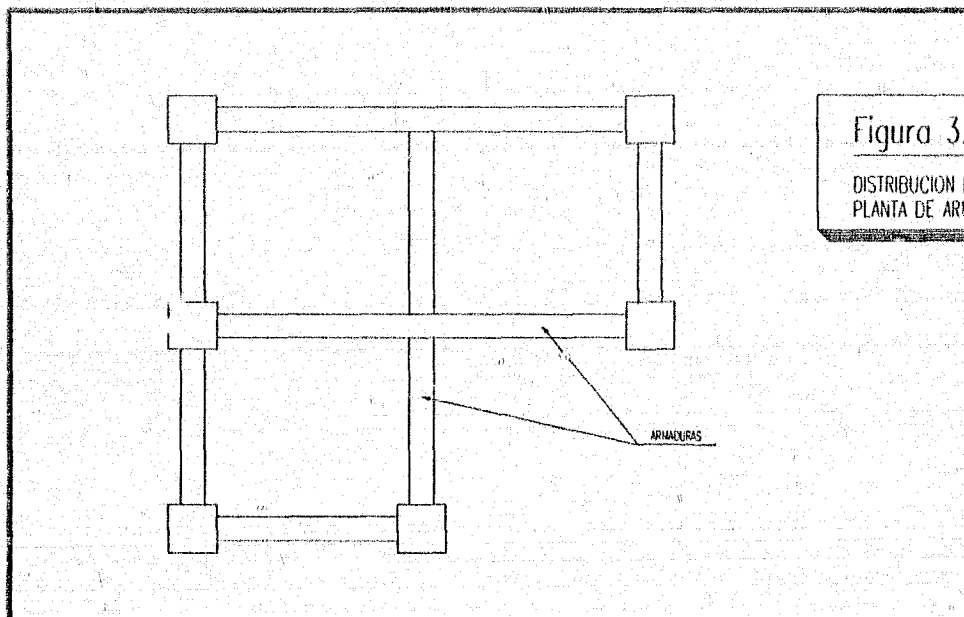
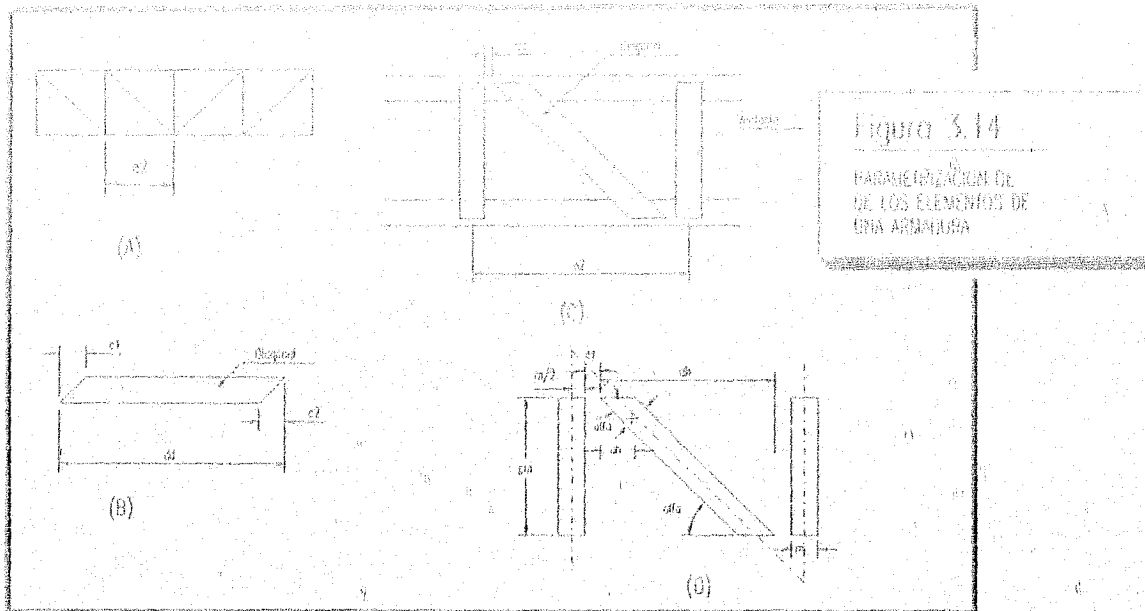


Figura 3.13

DISTRIBUCION EN  
PLANTA DE ARMADURAS

Para este ejemplo la armadura podría ser:



Con los que se determinarán las distancias:

$dd$ ,  $c1$  y  $c2$  necesarias para el taller.

### 3-1-4 Conexiones

Una conexión es un medio de unión de miembros armados y/o perfiles laminados que formen una estructura reticular, convencional, cuya función es la de transmitir cargas de un elemento estructural a otro.

Es de gran importancia seleccionar y dar la debida consideración al diseño de las conexiones, por las cuales los miembros se incorporan a la estructura completa. La resistencia y seguridad de una estructura, depende de los detalles de conexión que unen los miembros, transfiriendo cargas a ellos y suministrando las fuerzas reactivas.

Han ocurrido más fallas en estructuras, debido a detalles de conexión incorrectos, que por excesivos esfuerzos en los miembros principales. La mayoría de las veces, el ingeniero deja al detallista de acero estructural el trabajo de seleccionar las conexiones, siendo que éste no trata con fuerzas y cargas, sino con dimensiones y espacios de sujetadores. Esto es un defecto frecuente y ostensible de los proyectistas que, después de diseñar con todo cuidado los elementos de una estructura, no seleccionan con el mismo cuidado las conexiones, que pueden ser o no del tamaño adecuado, dejando este trabajo, como ya se dijo, a los fabricantes o mas aún, al dibujante de planos de taller.

A continuación se muestran algunas conexiones que tienen mayor aplicación:

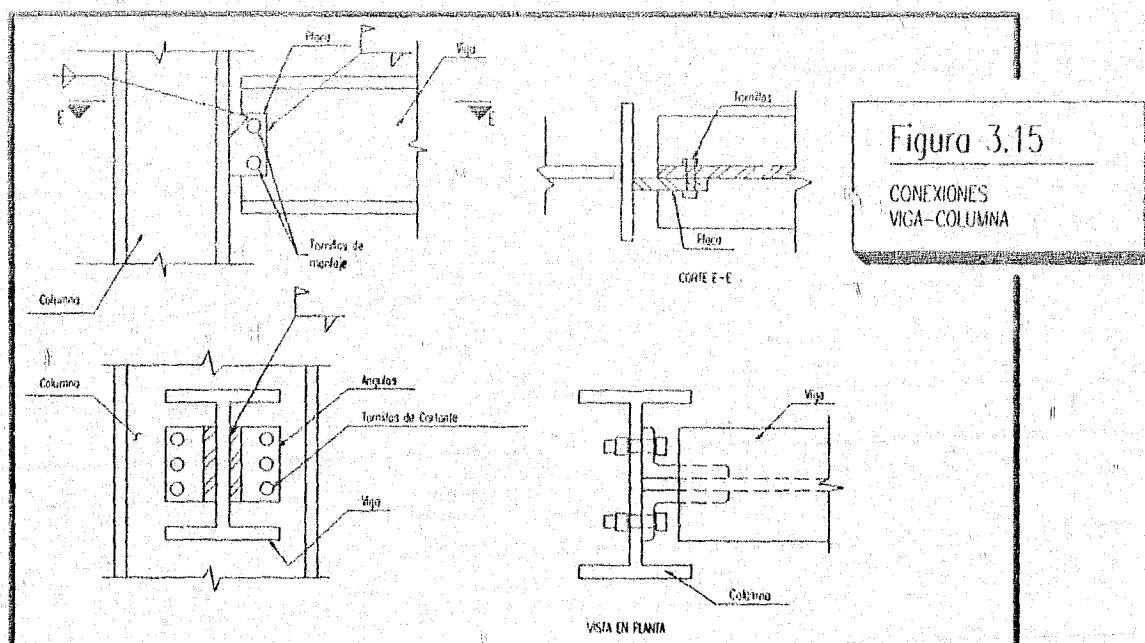


Figura 3.15

CONEXIONES  
VIGA-COLUMNA

CONEXIONES A CORTANTE

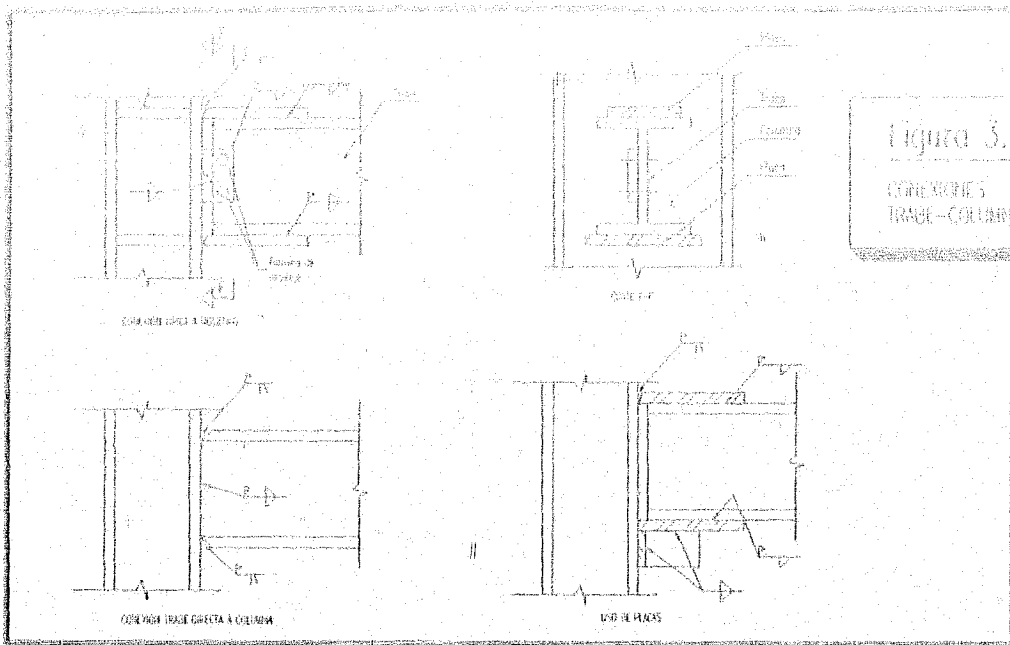


Figura 3.16  
CONEXIONES  
TRABE-COLUMNA

CONEXIONES A MOMENTO

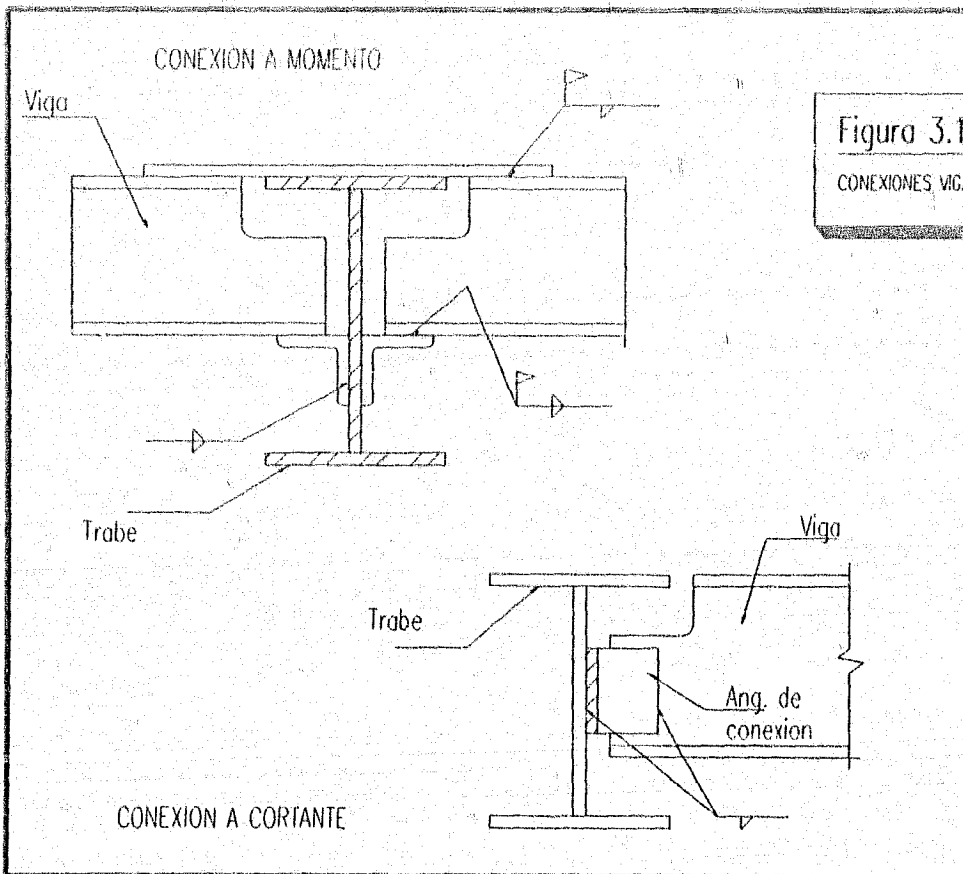


Figura 3.17  
CONEXIONES VIGA-TRABE

### 3-1-6 Contraventeos

Se le llama contraviento al elemento estructural capaz de transmitir y absorber los elementos mecánicos producidos por cargas accidentales (sismo y viento), para garantizar la estabilidad de la estructura. Los tipos más usuales son LI (simples, dobles a espalda, dobles en estrella), TR, IR, IC y CE en celosía; por otra parte, el arreglo más común es en "X", en "V" y combinaciones de estos, colocándose como mínimo en los extremos del marco contraventeado.

En la figura 3.18, se presenta un arreglo típico de un marco contraventeado:

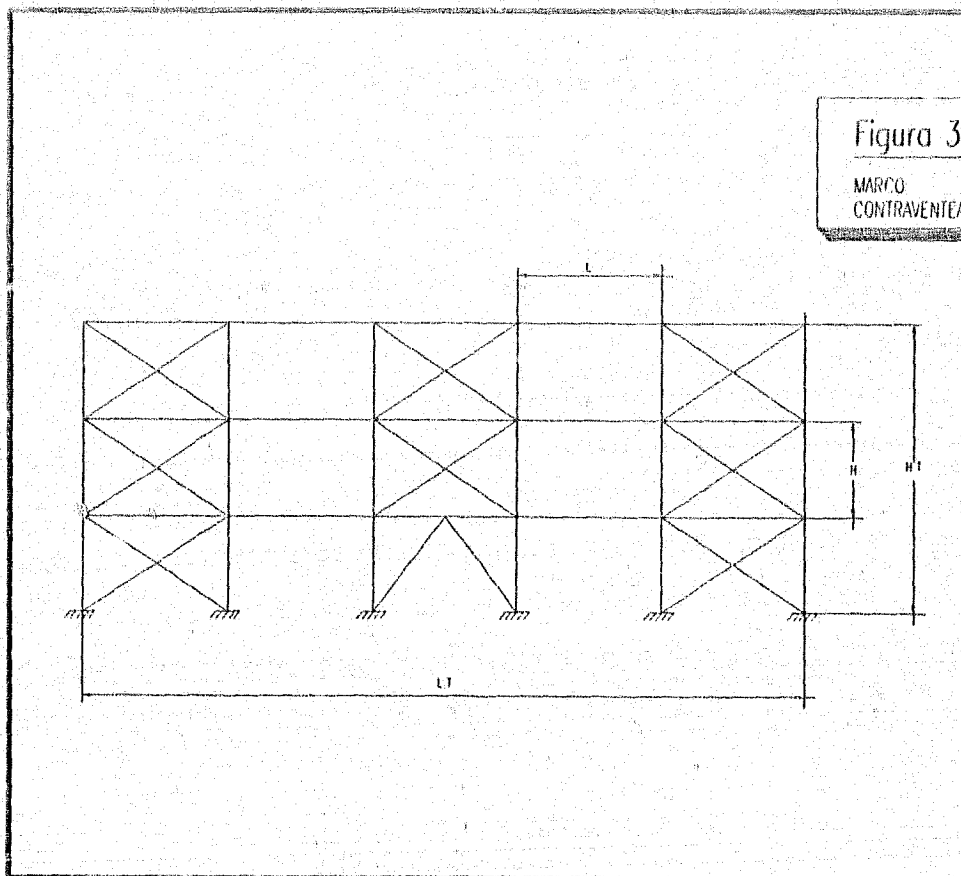
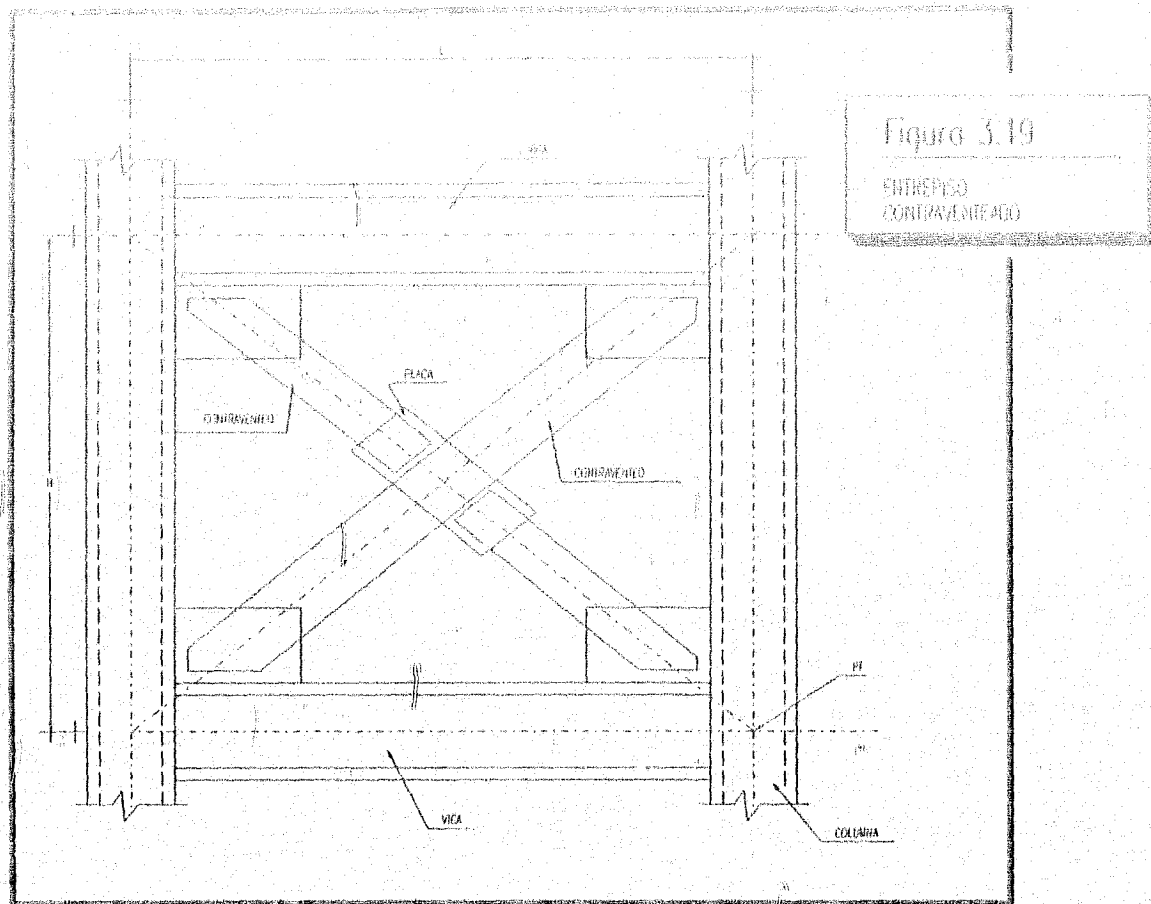


Figura 3.18

MARCO  
CONTRAVENTEADO

Tomando un entrepiso contraventeado para apreciar los elementos que lo conforman, este elemento es como el que se muestra en la figura 3.19.



Donde:

H = Altura del entrepiso medido a partir del centro del peralte de las vigas.

L = Longitud de la cruz medido a partir de ejes de columnas.

PT = Punto de trabajo.

Para obtener la longitud real del contraventeo, se procederá de la siguiente manera y considerando la figura 3.20:

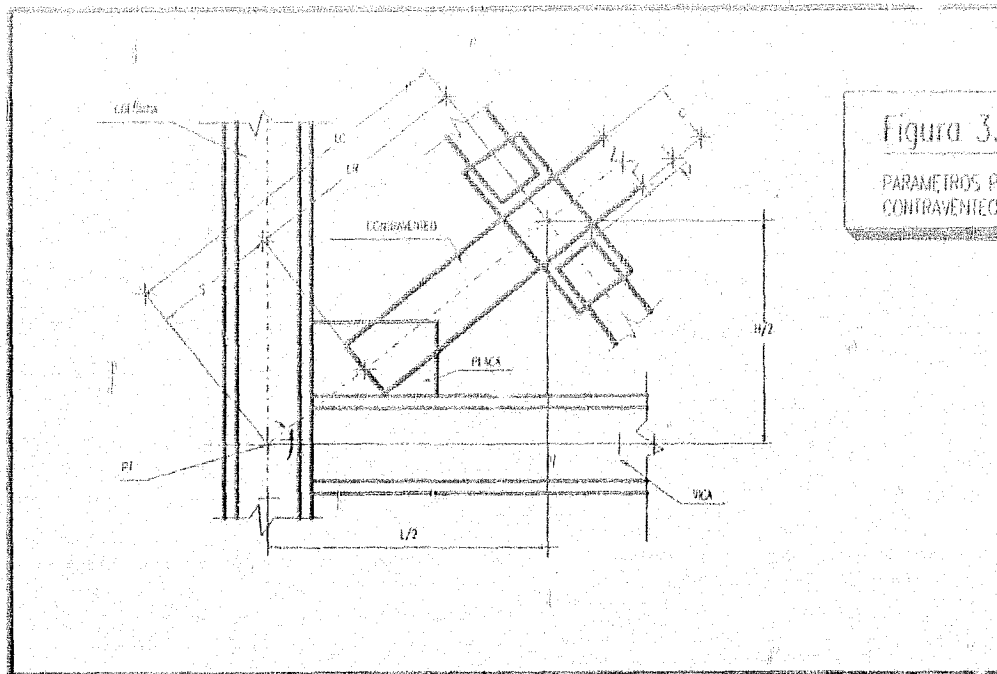


Figura 3.20  
PARAMETROS PARA CONTRAVENTEIO

Donde:

LC = Longitud desde PT hasta el centro del contraventeo.

LR = Longitud real del contraventeo, hasta el centro.

S = Separación para arranque de contraventeo.

C = Peralte del contraventeo.

t = Holgura entre contraventeos.

Así que:

$$LC = LR + S$$

Obteniendo el ángulo "X"

$$X = \text{ang } \tan(H/L)$$

$$\tan X = (H/2) / (L-C) \Rightarrow LC = \tan X \cdot (H/2)$$

La longitud del contraventeo se obtendrá:

$$LC = LR \cdot S$$

$$LR = LC / S$$

Para obtener la separación "S", se detalla la conexión en la figura 3.21

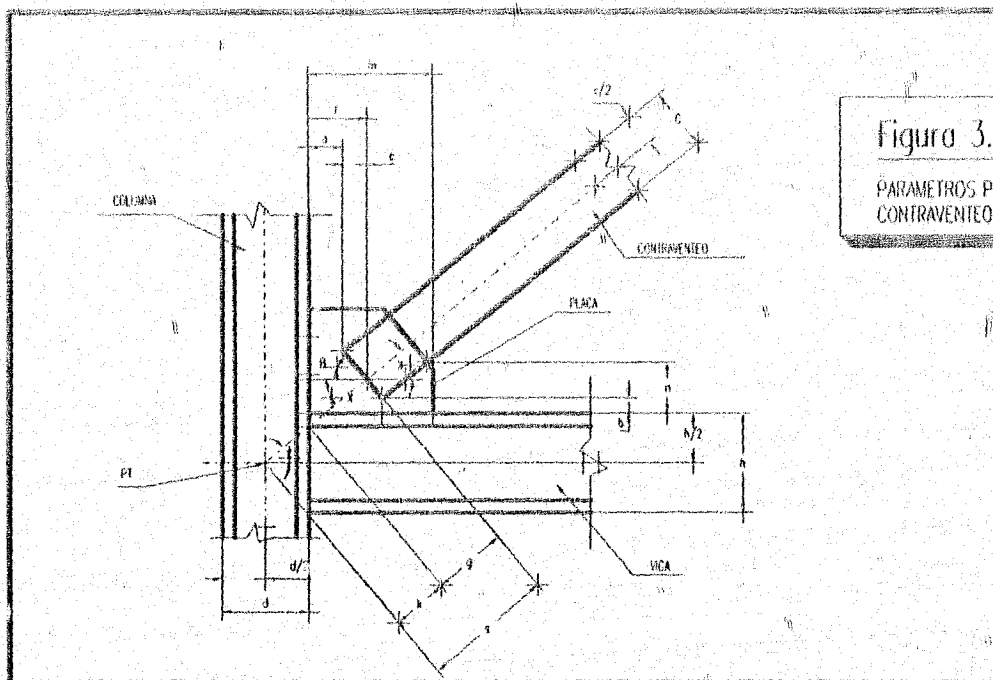


Figura 3.21

PARAMETROS PARA  
CONTRAVENTEO

donde:

a = Holgura entre contraventeo y columna.

b = Holgura entre contraventeo y viga.

d = Peralte de la columna.



$h$  = Peralte de la trabe.

$e$  = Peralte del contraventeo.

$m$  y  $n$  = Dimensiones de placa de conexión.

Para obtener la distancia "S" se realizará el siguiente análisis:

$$B = 90^\circ - X$$

Proyectando la mitad del peralte del contraventeo:

$$\cos B = e/(C/2) \Rightarrow e = \cos B \cdot (C/2)$$

Haciendo:

$$f = a + e$$

y por lo tanto si proyectamos "f", se obtiene "g"

$$\cos X = f/g \Rightarrow g = \cos X (f)$$

y también si encontramos la distancia "K" con:

$$\cos X = (d/2)/K \Rightarrow K = \cos X (d/2)$$

y finalmente:

$$S = g + K$$

y así:

$$LC = LR - S$$

$$LR = LC - S$$

Como se pudo observar en la figura 3.20, regularmente uno de los contraventeos para cubrir por la longitud del acero y el otro es cortado. De esta manera, la longitud  $L_1$  se multiplica por dos para obtener la longitud total de contraventeo entera, y para el contraventeo complementario, la longitud de cada tramo se obtendrá de la manera siguiente:

$$LC2 = LC - (C/2) - t$$

$$LR2 = LR - (C/2) - t$$

Donde:

- LC2 = Longitud de un tramo de contraventeo.
- C = Peralte del contraventeo.
- t = Holgura entre contraventeos.

Ahora también, para obtener las dimensiones de la placa de conexión, se analiza la figura 3.22:



$$\cos X = l_h / l_s \Rightarrow l_h = \cos X (l_s)$$

Obteniendo Ch:

$$\cos B = Ch / C \Rightarrow Ch = \cos B (C)$$

Por lo tanto:  $m = d + l_h + Ch$

Estas fórmulas permiten al detallista resolver sus análisis geométricos a través de un programa CAD. En el Capítulo 5 se utilizan estos análisis.

## 3-2 Descripción de las formas de ensamble

### 3-2-1 CONEXIONES SOLDADAS

La soldadura es un proceso en el que dos piezas de metal son fusionadas por medio de calor para formar una unión. La soldadura estructural, usualmente es acompañada por la adición de metal de aportación empleando un electrodo sometido a un calor intenso, donde el metal base también se funde localmente y se une con el metal depositado formando la conexión soldada.

Las funciones de las soldaduras en conexiones estructurales son similares a las de los remaches y tornillos. Las soldaduras son utilizadas para transferir fuerza cortante o esfuerzos de tensión o de compresión hacia las juntas estructurales, para transferir los esfuerzos calculados desde la parte reforzada de un miembro hacia el otro. Son también utilizadas para puntear (coser) las partes componentes de un ensamble, y para sellar los bordes de superficies en contacto para protegerlas contra la humedad.

Un uso secundario de la soldadura en el taller al momento del ensamble o montaje, es el de puntear en orden de importancia al material y detallarlo previamente ya remachado o soldado. El punteado de soldadura no es presentado en los dibujos y es empleado con discreción en el taller. Sin embargo, en especificaciones de trabajo o la presencia de material base inadecuado para ser soldado, se requieren notas prohibiendo su uso.

Temporalmente, la soldadura para propósitos de embarque se utiliza en lugar del atornillado, lo cual, también se practica por los fabricantes, ya que las soldaduras pequeñas permiten ser removidas con bastante facilidad en campo.

Los procedimientos para la soldadura estructural están estandarizados por la Sociedad Americana de Soldadura en el Código de Soldadura para la Construcción de Edificios y en las Especificaciones para el Soldado de Caminos y Puentes de Ferrocarril. Los requerimientos para el soldado de juntas para la construcción de edificios están previstas en las especificaciones del AISC, que también marca referencias propias del código D 1.0 de la AWS.

#### VENTAJAS DE LA SOLDADURA.

Las ventajas que nos presenta la soldadura con respecto a las conexiones remachadas o con tornillos son:

1. **ECONOMÍA.** El uso de la soldadura permite grandes ahorros en el peso de 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 apernadas, así como la eliminación de las cabezas de remaches o tornillos. En algunas estructuras de puentes es posible ahorrar hasta el 15% o más del peso de acero con el uso de la soldadura.

Con respecto a rendimiento de mano de obra, un soldador reemplaza a una cuadrilla normal remachadora de cuatro hombres.

2. **MAYOR VERSATILIDAD.** La soldadura tiene una zona de aplicación mucho mayor que el remachado o apernado; por ejemplo, las dificultades que se presentan para conectar una columna de acero de tubo a otros miembros de acero, con remaches o pernos; pero, una conexión con soldadura, cualquiera que sea, no presentará dificultades.

3. **CONEXIONES RIGIDAS.** Las estructuras soldadas son estructuras más rígidas porque los miembros normalmente están soldados directamente uno a

otro; en cambio, las conexiones con remaches o pernos requieren del uso de ángulos de conexión o placas que se deforman, debido a la transferencia de cargas, haciendo flexible a toda la estructura.

4. **CONTINUIDAD EN LAS ESTRUCTURAS.** El proceso de fusionar las partes por unir, hace que las estructuras realmente sean continuas. Lo que se traduce en construcciones de una pieza y puesto que las juntas soldadas son tan fuertes o más que el metal base, no se presentan restricciones en las uniones.

5. **CORRECCION DE ERRORES.** Es más fácil realizar cambios en el diseño y corregir errores durante el montaje, incluso a menor costo; con el uso de soldadura.

6. **MINIMO RUIDO.** Es importante el silencio al soldar, imaginemos el hecho de que se trabaja cerca de hospitales, escuelas u oficinas, si se usaran remaches sería un ruido muy alto que rompería la concentración de las gentes que ocupan o viven cerca de las obras, además es muy molesto.

7. **SEGURIDAD.** Se requieren menos precauciones de seguridad para el público en áreas congestionadas en comparación con las necesarias para una estructura remachada donde el lanzamiento al aire de los remaches calientes es indispensable.

8. **AHORRO DE TIEMPO.** Como se utilizan menos piezas, dá como resultado el ahorro de tiempo en detalle, fabricación montaje en la obra.

Por esta y otras ventajas, en este escrito se hace énfasis en los procedimientos para ensamblar con soldadura.

## **PROCESOS DE SOLDADURA.**

### **- SOLDADURA DE ARCO METÁLICO.**

La soldadura de arco metálico es un importante proceso de soldado, tanto para campo como para taller; algunas veces se le refiere como soldadura manual, o de varilla (electrodo). En trabajos de acero estructural, se usa muy a menudo la soldadura de arco metálico; el calor se genera por medio de un arco eléctrico formado entre un electrodo de acero y las partes que se van a soldar; el calor del arco funde simultáneamente el metal base y el electrodo, manual o automáticamente, a lo largo de la soldadura con una velocidad adecuada y depositando la cantidad necesaria de metal de aportación. La figura 3.23 muestra este tipo de soldadura.

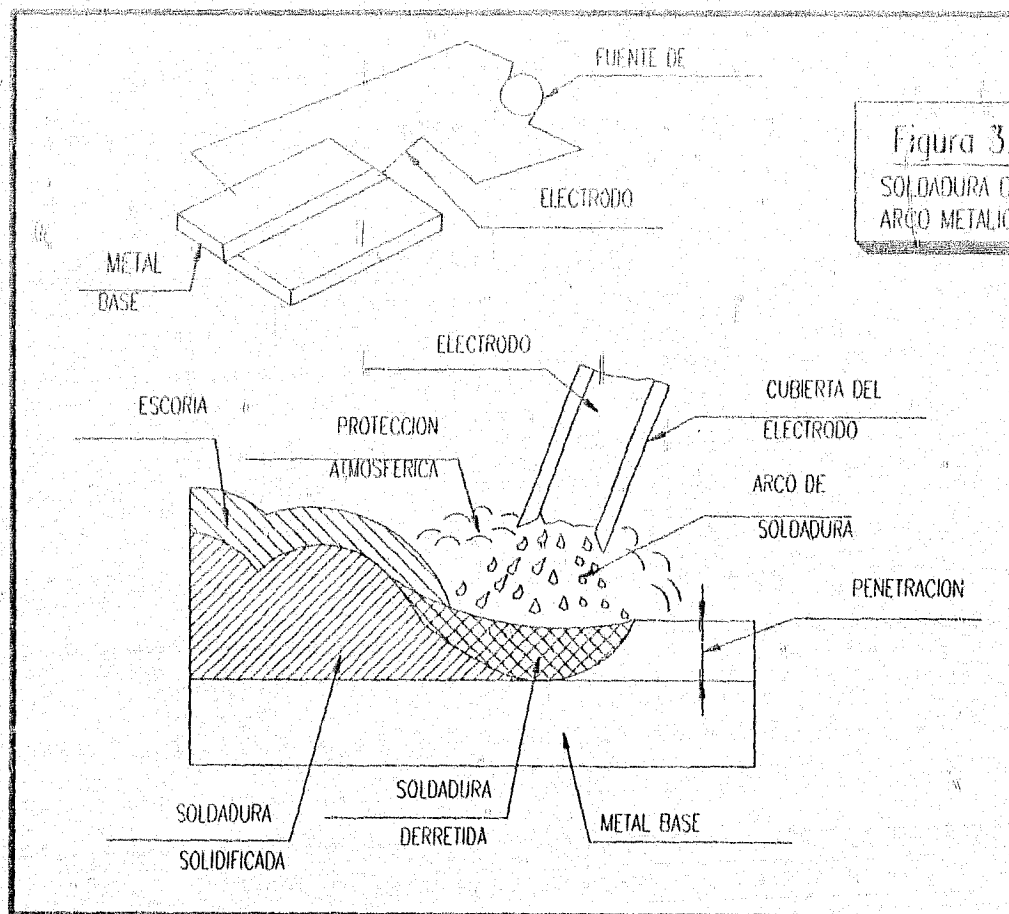


Figura 3.23  
SOLDADURA DE ARCO METÁLICO

Durante el proceso de soldado, el electrodo cubierto tiene dos propósitos:

1. El gas protector que se forma previene la absorción de impurezas provenientes de la atmósfera, el flujo de la cubierta va purificando al metal fundido. El flujo forma una escoria que va cubriendo la parte superior de la soldadura depositada, protegiéndola también.

2. La soldadura de arco metálico tiene como características primero, la escoria que se solidifica en la cara superior de la soldadura y en segundo, el salpicar la soldadura del electrodo hacia el área circundante del metal a soldar.

#### - SOLDADURA DE ARCO SUMERGIDO.

La soldadura de arco sumergido es un proceso importante; se ejecuta ya sea con un método automático o semiautomático. Su principio es similar al de la soldadura de arco metálico; sin embargo, se utiliza una barra de alambre como electrodo en lugar del electrodo cubierto, y el flujo se abastece por separado en forma granular (este material lo conforman gránulos fusibles que contienen agentes de aleación y de fusión, así como productores de gases inertes). El flujo, el cual es suelto, se va colocando encima de la junta que va a ser soldada, la barra de electrodo va siendo empujada por el flujo, se produce el arco, y tiene lugar la fusión del electrodo y el metal base; a medida que el arco es establecido, parte del flujo va formando una escoria protectora, la cual cubre al metal fundido.

La soldadura de arco sumergido resulta una soldadura de penetración profunda y es un proceso considerablemente rápido. Aquí también, la escoria puede ser removida, el flujo granular sin derretir es recuperado y utilizado de nuevo. El proceso se muestra en la figura 3.24.



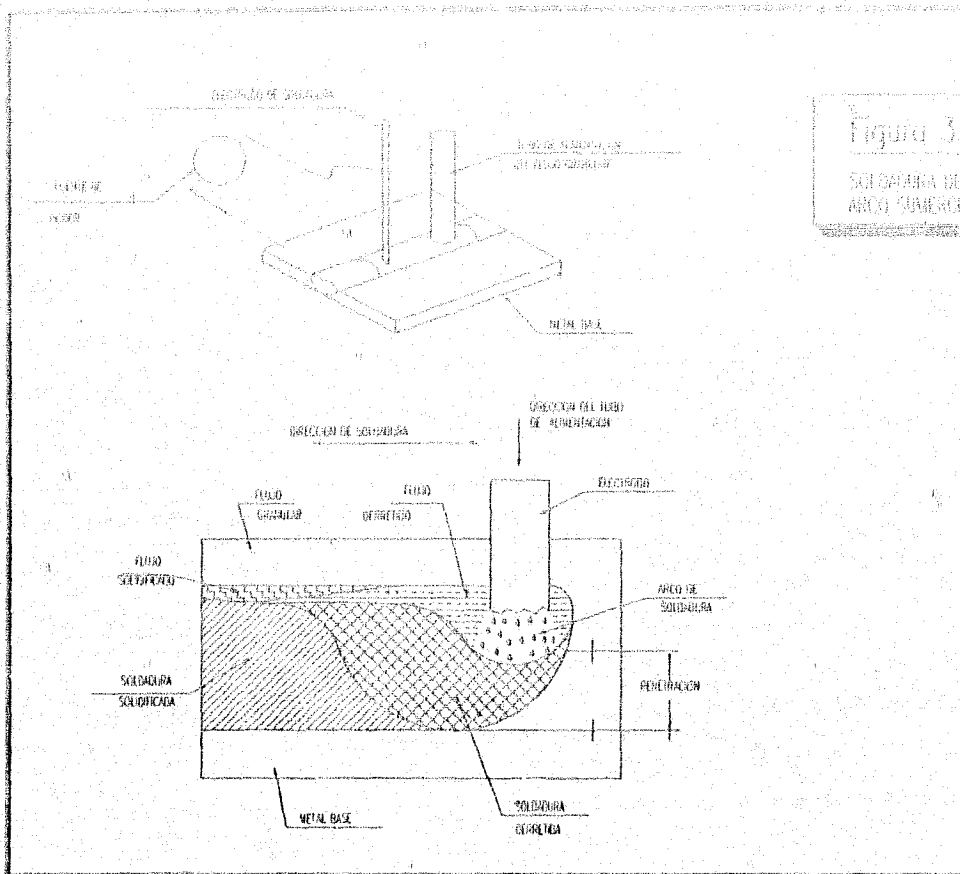


Figura 3.24  
SOLDADURA DE ARCO SUMERGIDO

- SOLDADURA DE ARCO METÁLICO PROTEGIDO CON GAS.

Este proceso de soldadura, tiene muchas semejanzas con respecto a la soldadura de arco sumergido, y es más conveniente y es el que se utiliza con mayor frecuencia en el taller para la fabricación estructural.

Este tipo de soldadura, es posible realizarla con un proceso automático o semiautomático, utilizando un electrodo descubierto; una corriente de gas inerte protege el arco de la atmósfera que la rodea y va depositando el metal fundido.

Por cambios en el tipo de gas o la polaridad del arco, este proceso de soldadura puede proporcionar soldaduras poco profundas, de penetración amplia o extensa, o relativamente presentan una penetración profunda en el

centro de la línea de la soldadura y de penetración superficial en los bordes. Ver la figura 3.25 para observar este proceso de soldadura.

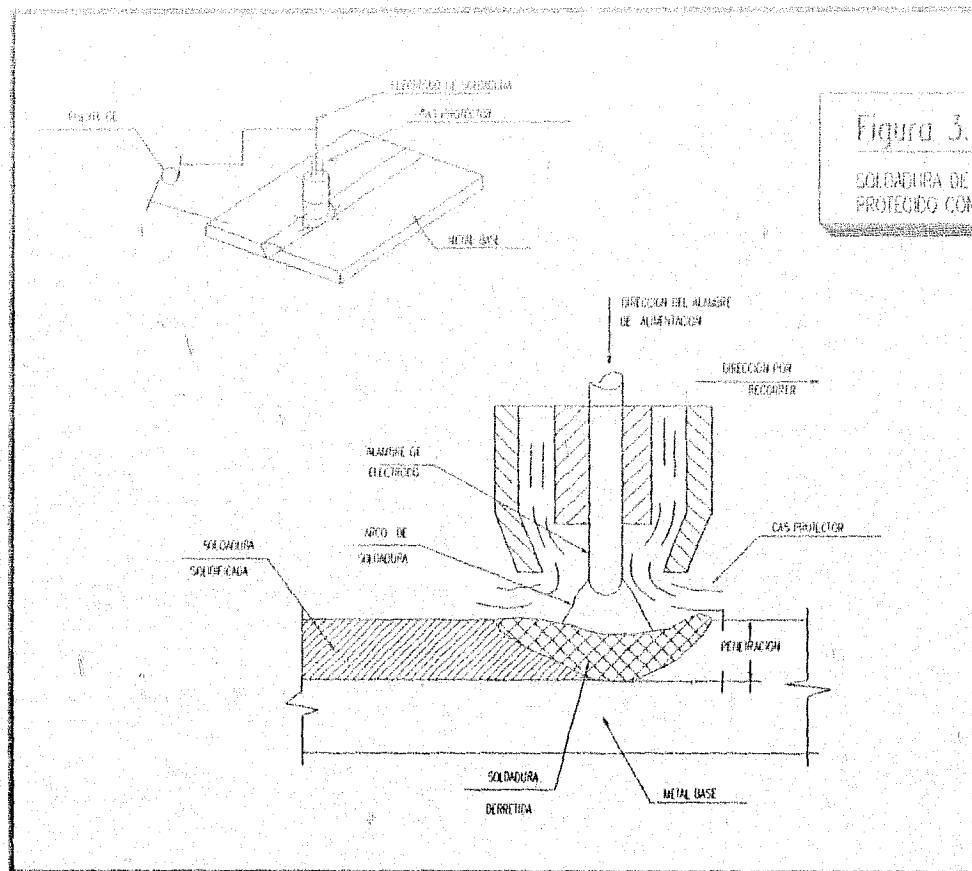


Figura 3.25

SOLDADURA DE ARCO PROTEGIDO CON GAS

## ELECTRODOS.

Las series de electrodos E-60 Y E-70 son los dos grados más comúnmente utilizados en trabajos estructurales para soldadura manual de arco metálico en los aceros enlistados por las especificaciones del AISC. Los tipos SAW-1 y 2, y el tipo GMAW-1 y 2 son los grados que corresponden a los métodos de soldadura de arco sumergido y de arco metálico protegido con gas respectivamente.

Los términos E-60 y E-70 (también presentados como E-60XX y E-70XX) son las abreviaturas para las clases de electrodos utilizados en el diseño donde se considera el grado de esfuerzo. La designación completa de un

electrodo consiste de una letra seguida por cuatro números, así por ejemplo: E-6010, E-6011, etc.; E-7014, E-7015, etc. La letra significa un electrodo, los dos primeros números indican la resistencia a la tensión del material a depositar; el tercer número designa la posición ó posiciones en la cual, el electrodo puede producir soldaduras satisfactorias, y el cuarto número indica la corriente a utilizarse y el tipo de cubierta del electrodo. Para un listado completo de designaciones de electrodos y una guía de sus clasificación, véase la especificación ASTM-A233.

## TIPOS DE SOLDADURAS.

Las soldaduras son identificadas por sus perfiles o por su sección transversal. Los dos tipos de soldadura más importantes para trabajos estructurales son la soldadura de filete y las soldaduras de ranura. Las soldaduras de respaldo, usados en conjunto con las soldaduras de ranura sencilla, sirven para completar la penetración hasta la raíz de la soldadura.

## SOLDADURA DE FILETE.

Las soldaduras de filete son soldaduras que teóricamente tienen una sección transversal triangular, se realiza juntando dos superficies formando un ángulo recto soldando en la junta y en la zona de final de las placas, en juntas en "T" y en juntas de esquina. Son utilizadas también en conjunto con soldaduras de ranura para el reforzamiento de juntas de esquina; ver la figura 3.26 donde se observan algunas aplicaciones de las soldaduras de filete.

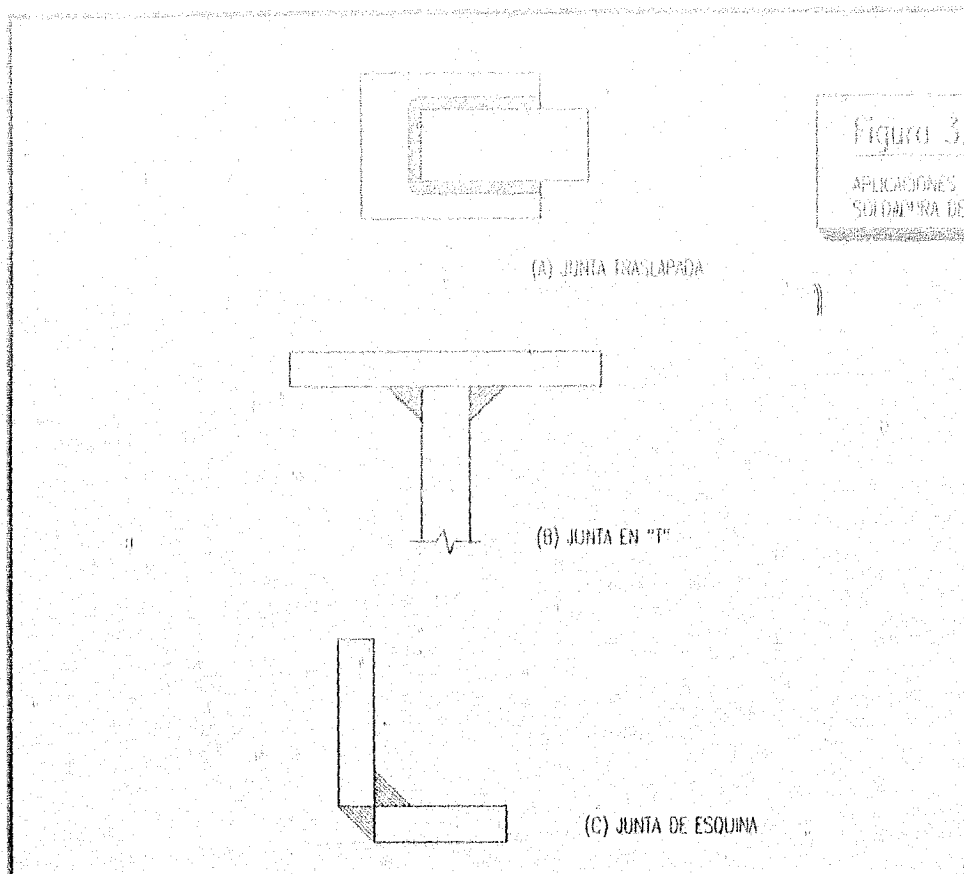


Figura 3.26

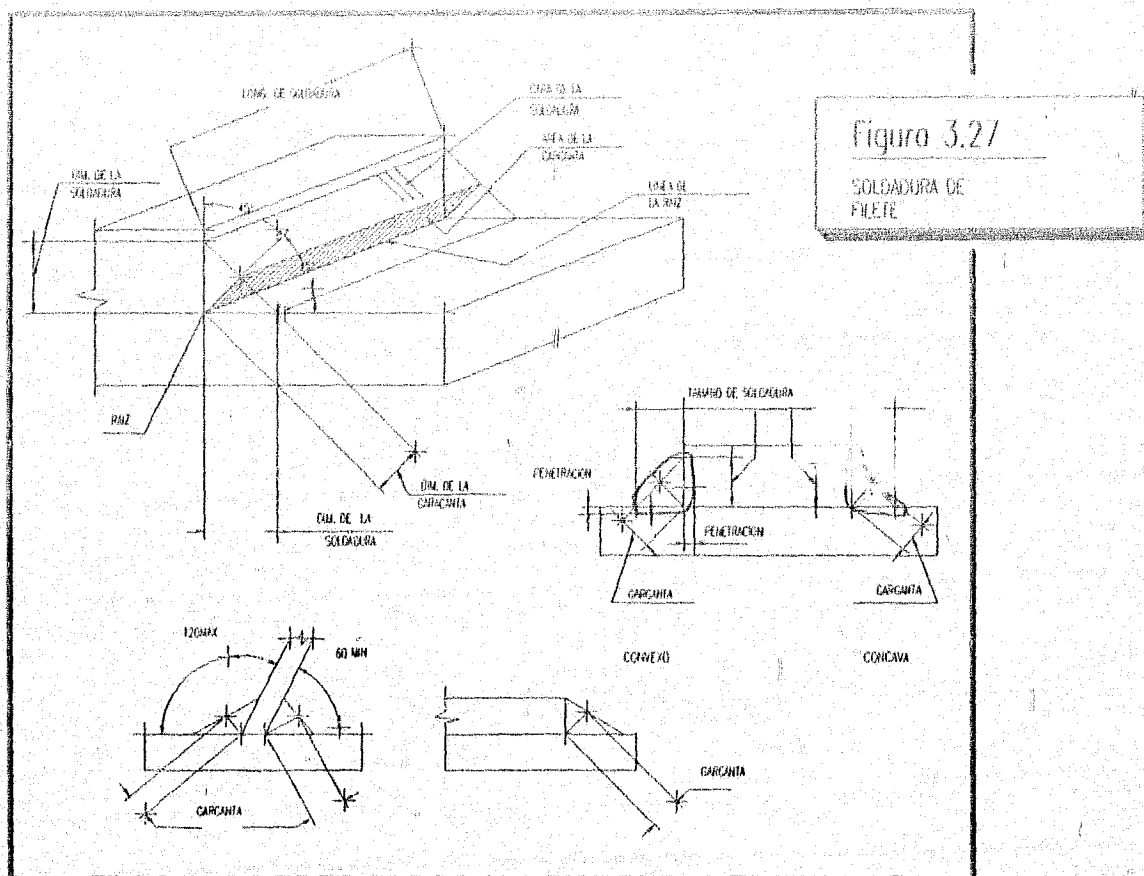
APLICACIONES DE LA SOLDADURA DE FILETE

La sección transversal de un filete de soldadura típico es un triángulo recto con lados iguales. La figura 3.27 ilustra sus partes. El tamaño de la pierna (o uno de sus lados) designa el tamaño de la soldadura. La raíz es el punto en el cual, las dos piernas se intersectan. Una línea perpendicular a la cara de la soldadura y que pasa a través de la raíz localiza la llamada garganta de la soldadura; la longitud de esta línea, desde la raíz hasta la cara de la soldadura, indica el tamaño de la garganta.

Un plano pasa entre las líneas de la raíz de la garganta y contienen el área de la garganta. La longitud efectiva de un filete de soldadura es la distancia de extremo a extremo de un filete completo, medido paralelamente a la línea de la raíz.

La presentación convexa o de concavidad en la cara de la soldadura, es usual en los filetes de soldadura; esto no necesariamente es un defecto de la

soldadura, los límites de tal desviación están sujetas a especificaciones; note en la figura 3.27 la dimensión de las piernas y las áreas efectivas de la garganta, están en base a el largo del triángulo teórico de soldadura, el cual puede quedar inscrito dentro de la línea de la sección cóncava o convexa.



#### - SOLDADURAS DE RANURA.

Las soldaduras de ranura son soldaduras que se aplican entre las ranuras de extremos adyacentes, en bordes o superficies de dos partes que van a unirse en una junta a tope, en una junta "T" o junta de esquina. Los tipos estándar de soldaduras de ranura son:

- Soldadura de ranura en escuadra.
- Soldadura de ranura en "V" sencilla.
- Soldadura de ranura con bisel sencillo.

- Soldadura de ranura en "U" sencilla
- Soldadura de ranura en "J" sencilla
- Soldadura de ranura en doble "V"
- Soldadura de ranura con doble bisel
- Soldadura de ranura con doble "U"
- Soldadura de ranura con doble "J"

Las soldaduras de ranura, además son clasificadas como soldaduras de penetración completa o de penetración parcial (ver figura 3.28). Una soldadura de penetración completa es aquella en la cuál, se realiza la fusión de la soldadura y el metal base en todo el peralte de la junta. Es hecha soldando por ambos lados de la junta o desde uno de sus lados, utilizando placa de respaldo o soldadura de respaldo.

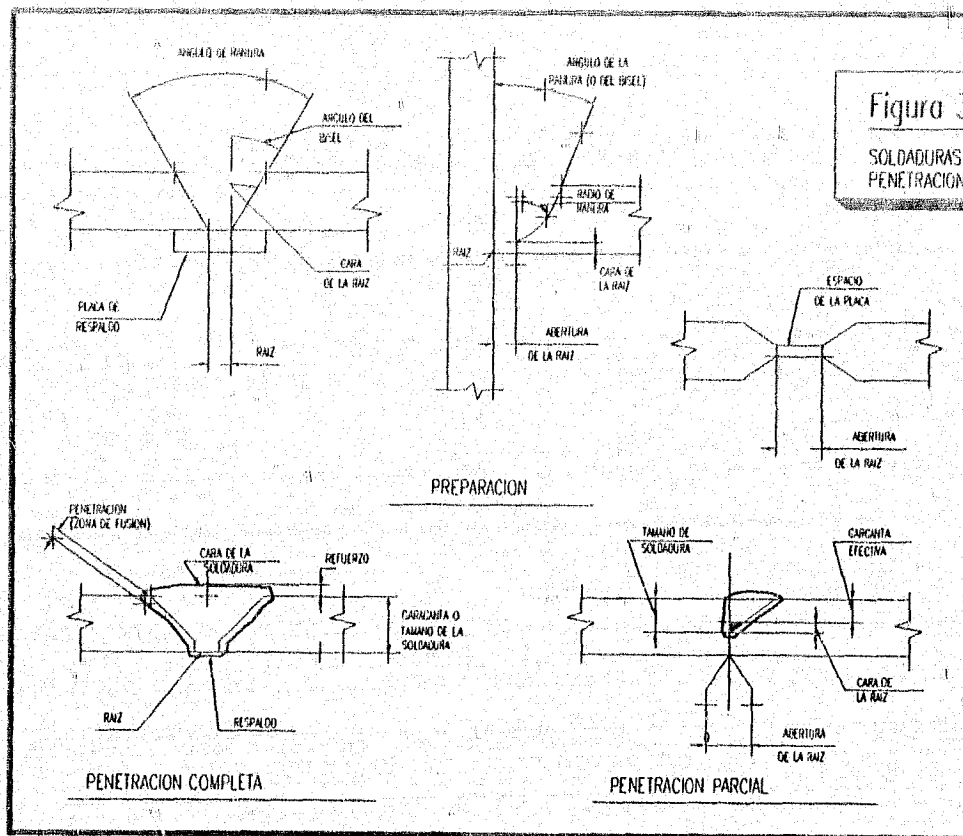


Figura 3.28

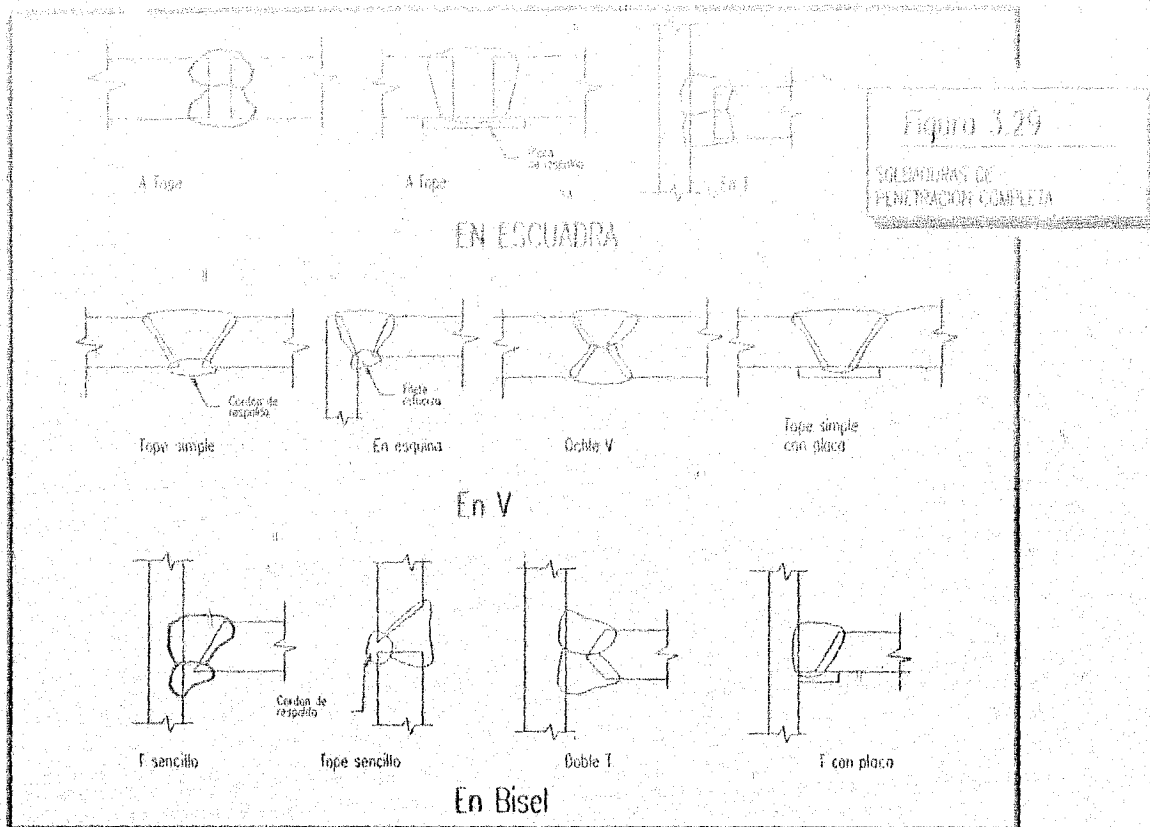
SOLDADURAS DE PENETRACION

Excepto donde sean empleadas las placas de respaldo, se requieren especificar aquellas soldaduras donde se debe trabajar la raíz, ya sea descascarando o picando antes de hacer una segunda soldadura. Para fines del cálculo de la resistencia, la dimensión de la garganta de una soldadura de penetración completa, se considera que es todo el espesor de las partes que se unirán exceptuando la dimensión del refuerzo (parte superior de la soldadura).

Las soldaduras de penetración parcial son empleadas donde los esfuerzos que serán transmitidos no requieren de penetración total o donde las soldaduras tienen que hacerse desde un lado de la junta y no es posible el uso de placas de respaldo ni trabajar la raíz para soldar el respaldo. La aplicación de soldaduras de ranura de penetración parcial es regida por especificaciones en las que se limita al espesor de la garganta y al espesor del material que serán usados, normalmente se toma el menor de los espesores de las partes a soldar.

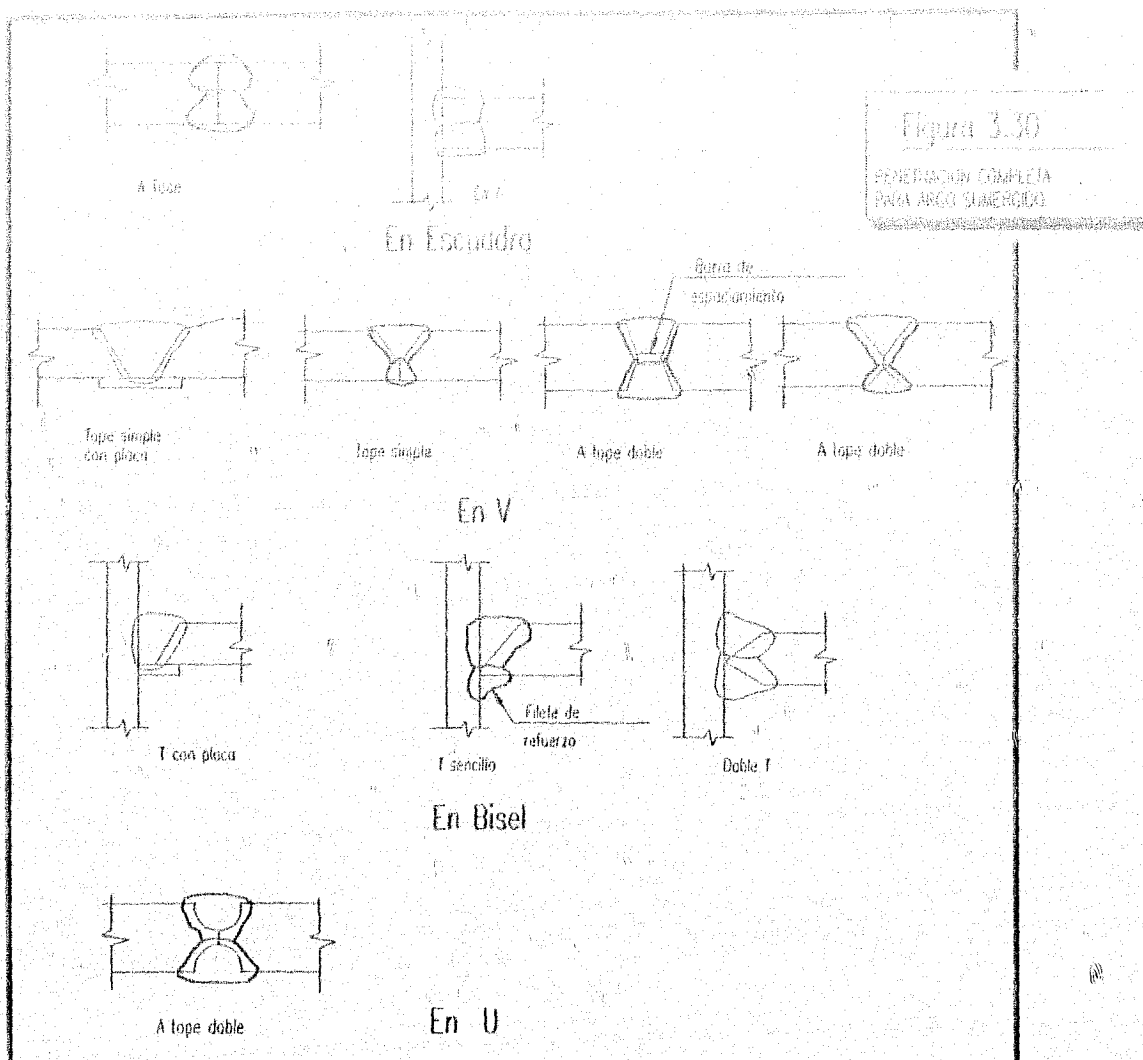
Las especificaciones para puentes de la AWS prohíben el uso de las soldaduras de penetración parcial.

En la figura 3.29 se presentan ejemplos típicos de soldaduras de penetración completa del manual de procesos de soldadura.



En la figura 3.30 se ilustran soldaduras de penetración completa para soldadura con arco sumergido; la preparación para la soldadura con arco sumergido deberá hacerse con cuidado y las caras de las juntas o las placas de respaldo deberán tener un trazo firme para prevenir la flexión del metal derretido, o el quemar las partes de la junta, debido al alto calor en penetraciones profundas.





### JUNTAS PRECALIFICADAS.

Las juntas que se soldaran conforme a las especificaciones que marca la AWS y en las que fueron previstas el diseño, el material y trabajos previos, son designadas como juntas precalificadas.

Estas especificaciones incluyen soldaduras de filete, de ranura, de tapón, etc., en juntas con una variedad suficiente para cubrir todos los requerimientos de trabajo estructural.

Estas juntas han sido probadas completamente y se recomienda su uso generalmente en la fabricación de estructuras como edificios y puentes.

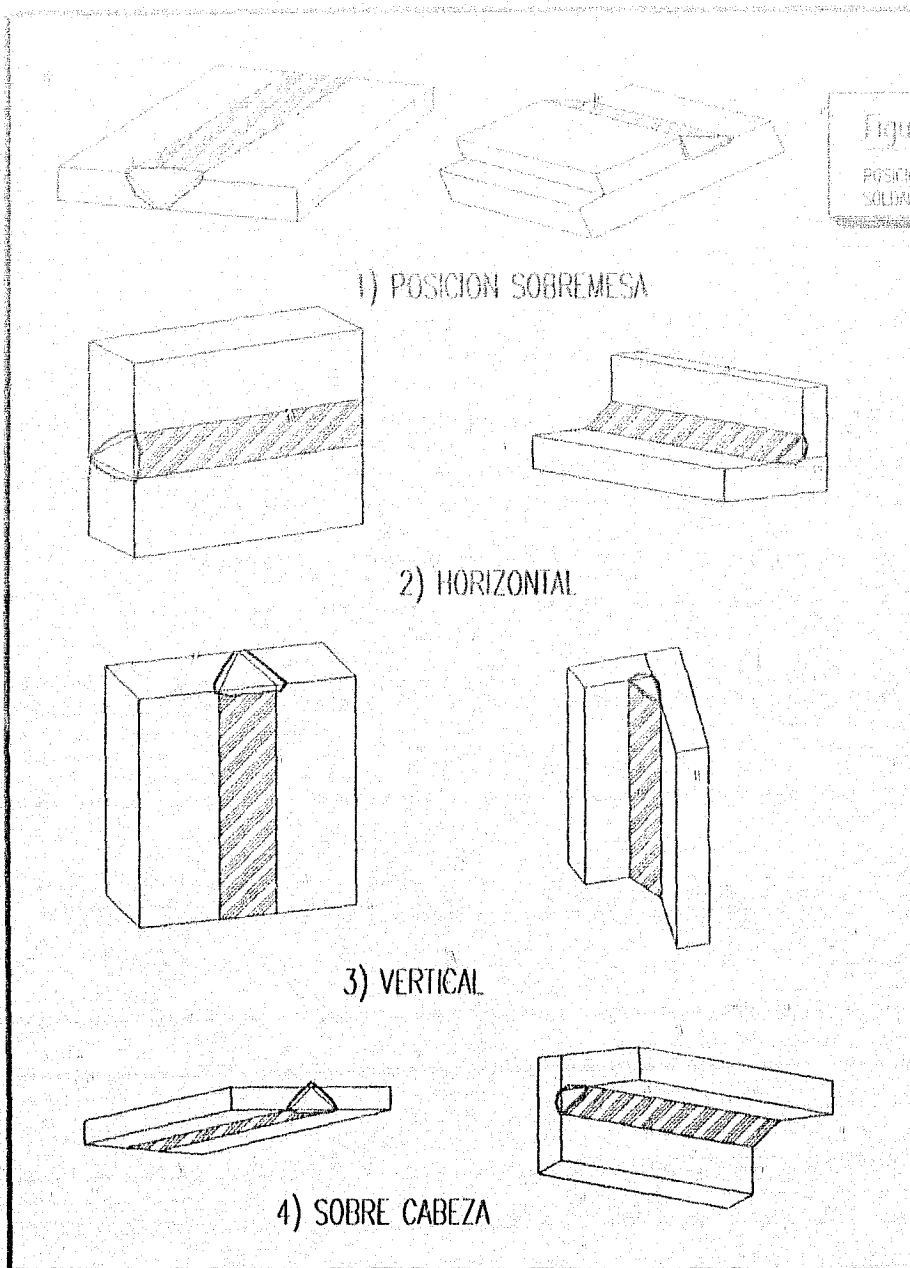
Para mayor información sobre juntas precalificadas, proceso de soldadura, materiales, procesos de soldadura, calificación e inspección de procedimientos, podrá consultarse en el código de la AWS para edificios y especificaciones para puentes.

#### POSICIONES PARA SOLDAR.

Por lo común, las soldaduras se efectúan en las siguientes cuatro posiciones: plana, horizontal, vertical y sobre cabeza.

Las soldaduras verticales y sobre cabeza son posibles debido a que el metal fundido es conducido de la varilla a la conexión por el campo electromagnético y no por la acción de la gravedad. A continuación se describen las posiciones básicas de soldado.

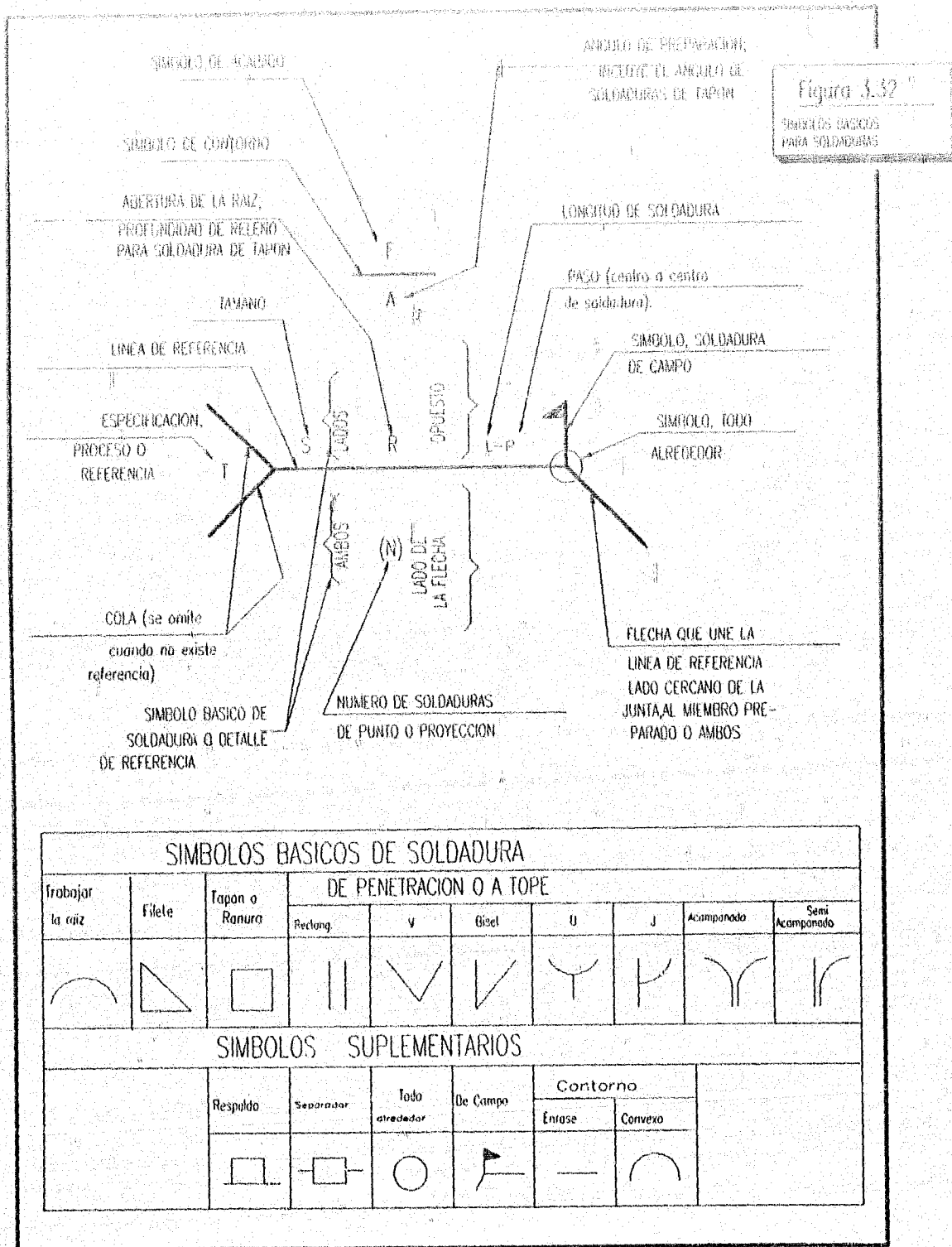
- a. Plana: la cara de la soldadura es aproximadamente horizontal y la soldadura es colocada por encima de la junta.
- b. Horizontal: el eje de la soldadura es horizontal; para soldaduras de ranura la cara de la soldadura es aproximadamente vertical; para soldaduras de filete la cara generalmente forma un ángulo de 45 grados con las superficies vertical y horizontal que se soldarán.
- c. Vertical: el eje de la soldadura aproximadamente es vertical.
- d. Sobre cabeza: la soldadura es colocada por debajo de la junta a soldar.



### SIMBOLOS PARA SOLDADURA.

La figura 3.32 nos presenta el método de la identificación de soldaduras mediante símbolos, desarrollado por la American Welding Society. Con este sistema se dá en general toda la información necesaria por unas cuantas líneas

y números ocupando apenas un pequeño espacio en los planos y dibujos de ingeniería.



### 3-2-2. REMACHES Y TORNILLOS.

Las vigas, los elementos de unión, las armaduras, columnas y otros miembros que conforman una estructura son diseñados para soportar ciertas cargas. Cada uno de estos miembros debe de transmitir la carga que están soportando a través de las juntas estructurales y hacia otros miembros. Por ejemplo, las vigas transmiten las cargas por los elementos de unión, éstos transmiten las cargas a las armaduras o a las columnas, y finalmente, las columnas transmiten todas las cargas a las bases que la transmitirán al suelo. Cada uno de los miembros en este sistema, debe de estar provisto de una conexión adecuada para transferir la carga asignada a otros miembros de una manera segura, económica y conforme a las especificaciones aplicables.

Todas las juntas requieren de medios de sujeción, ya sean tornillos, remaches o soldaduras. Adicionalmente, en las juntas estructurales se requiere de detallar el material de conexión, ya sea que se utilicen ángulos, placas o piezas de perfiles rolados. En este inciso hablaremos lo concerniente a los remaches y a los tornillos.

Hasta antes de ser aprobado el uso de tornillos de alta resistencia para la construcción de acero, los remaches abarcaban prácticamente la totalidad de las conexiones estructurales permanentes. Un remache es una pieza de sección transversal circular, de acero dúctil y es forjado en sitio para unir dos o más piezas de acero (placas, perfiles, ángulos, etc.)

Se fabrican con una cabeza especial, denominada cabeza manufacturada y se instala mediante una pistola remachadora, la cual forma otra cabeza, la denominada cabeza remachada.

El remachado es un proceso de forja esencialmente; la mayoría de los remaches son colocados en caliente, ya sea en el taller o en el campo, pero también existe el remachado en frío que se instala a temperatura ambiente.

La industria de la construcción con acero ha dejado de utilizar los remaches, casi en su totalidad, la razón principal es que no existe un control de la

calidad tan estricto como lo hay con el uso de los tornillos. Es por esto que describiremos con más detalle el uso y funcionamiento de estos últimos.

## CONEXIONES CON TORNILLOS

Este tipo de unión es probablemente el más utilizado en conexiones estructurales, debido a sus amplias ventajas sobre las remachadas, son empleados para conexiones de campo y de taller y dondequiera que su uso es permitido. Por lo que un tornillo lo definiremos como un pasador de metal con una cabeza en un extremo y el vástago roscado en el otro para recibir una tuerca.

Los tornillos tienen la función de unir entre sí piezas de metal, se insertan a través de agujeros hechos en dichas piezas, apretándose la tuerca en el extremo roscado.

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

- |                                              |                                          |
|----------------------------------------------|------------------------------------------|
| a) Tipo de vástago:                          | sin acabar o maquinado.                  |
| b) Material y resistencia:                   | acero estructural o de alta resistencia. |
| c) Por la forma de la cabeza y de la tuerca: | cuadrada o hexagonal.                    |
| d) Paso y tipo de la rosca:                  | estándar, gruesa o fina.                 |

Los tornillos sin acabar se forjan a partir de varillas redondas de acero laminado y tienen grandes tolerancias en las dimensiones del vástago y de la rosca. En algunas estructuras, cuando se desea tener un buen ajuste entre tornillos y agujeros, éstos se taladran o se riman, y los tornillos se maquinan o terminan al tamaño necesario para el ajuste requerido.

Los dos tipos de tornillos más utilizados en las estructuras, son el tornillo común A-307 y los tornillos de alta resistencia A-325 y A-490.

## TORNILLOS A-307

Estos tornillos están hechos de acero dulce con una resistencia última a la tensión de aproximadamente 4570 Kgs/cm<sup>2</sup>. Su manufactura y ensayo están cubiertos por la especificación ASTM A-307.

Las dimensiones de las cabezas y las tuercas hexagonal o cuadradas, también las proporciones de las roscas y su longitud son listadas en tablas, nosotros podemos encontrarlas en el manual AFMSA o Monterrey. En la siguiente figura se presentan las partes de un tornillo A-307 tanto con cabeza hexagonal y cuadrada.

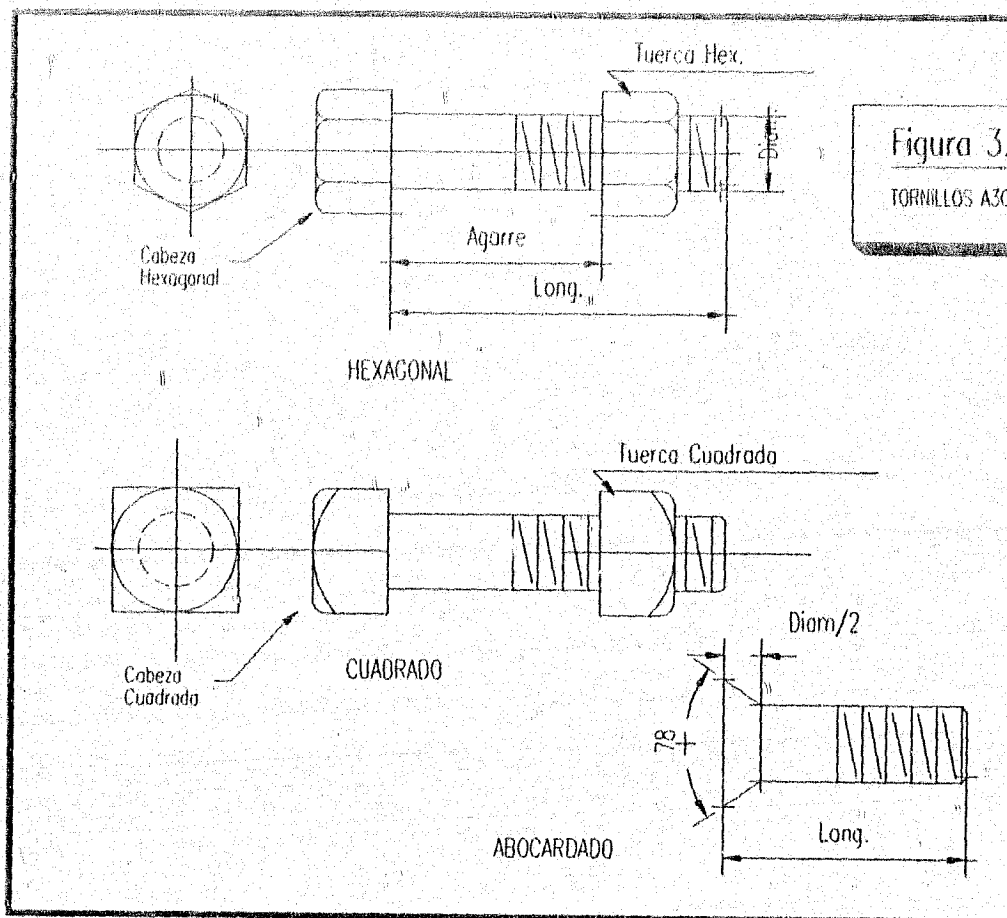


Figura 3.33

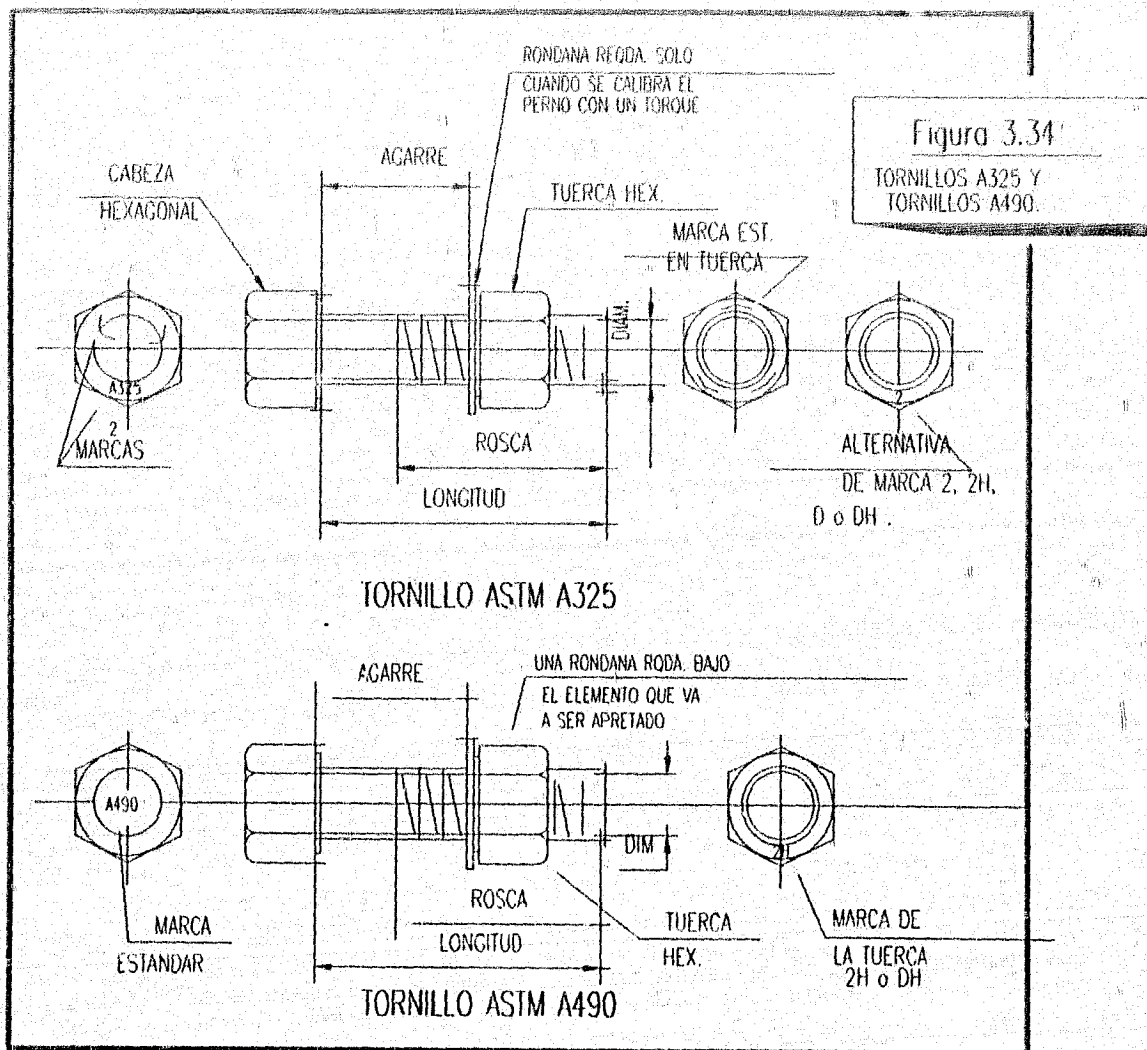
TORNILLOS A307

## TORNILLOS A-325 y A-490

Los tornillos de alta resistencia A-325 y A-490 están hechos de acero tratado y templado, con una resistencia última a la tensión de 7385 a 10,545 Kg/cm<sup>2</sup> y una resistencia de fluencia de 5,415 a 8,790 Kg/cm<sup>2</sup>.

Son usados extensamente en conexiones de campo y para todo tipo de estructuras. La ASTM A-325 para tornillos de acero de alta resistencia al carbón y la ASTM A-490 para tornillos de aleación de acero de alta resistencia son las especificaciones que cubren la manufactura y ensayo tanto de pernos, tuercas y las rondanas.

En la figura 3.34, se presentan los tipos de pernos mencionados.





Bajo la cabeza del tornillo y bajo la tuerca se usan comúnmente rondanas de acero con la finalidad de distribuir la presión de apriete en el miembro atornillado y para evitar que la parte roscada del tornillo se apoye directamente sobre las piezas conectadas. Para tornillos de alta resistencia puede ser necesario el uso de rondanas con superficie endurecidas.

Para asegurar el funcionamiento adecuado bajo carga de las conexiones atornilladas, las partes conectadas deben estar perfectamente apretadas entre la cabeza del tornillo y la tuerca. Cuando las conexiones atornilladas ordinarias se sujetan a cargas alternadas o a vibraciones, las tuercas se pueden aflojar, reduciéndose la resistencia de la conexión; por lo tanto, las tuercas deben ser aseguradas en su posición definitivamente. Para esto es conveniente usar tuercas acastilladas con tornillos con agujero de taladro en el vástago, a través del cual, se hace pasar una chaveta, que evita que la tuerca gire y se afloje. Las tuercas de cuña con la tuerca pesada por la parte exterior realizan el mismo propósito.

Se dispone comercialmente de varios tipos especiales de tuercas llamadas "tuercas de cierre", que evitan el aflojamiento de la conexión; también, se usa el sistema típico de tuercas de cierre, conocido como "tornillo estriado". Una alta tensión inicial en los tornillos sirve también, para evitar que se aflojen las tuercas, como en el caso de alta resistencia.

Los tornillos de alta resistencia basan su capacidad en la acción de apriete producida al ajustar el tornillo o tuerca hasta producir una fuerza de tensión predeterminada. Esta tensión se desarrolla al apretar la tuerca con llaves de torsión calibradas, o bien por el método del giro de la tuerca. Pueden usarse también llaves de impacto, las cuales deben ser de capacidad adecuada y con el suministro de aire suficiente para llevar a cabo el apriete requerido de cada tornillo en aproximadamente 10 seg.

La especificación para juntas estructurales a base de tornillos ASTM A-325 ó A-490 fija los siguientes requisitos para los procedimientos de apriete:

## TENSION DE LOS TORNILLOS

DIAMETRO DEL TORNILLO/TENSION MINIMA DEL TORNILLO EN TON. METRICAS

PULGADAS	TORNILLOS A-325	TORNILLOS A-490
1/2"	5.43	6.80
5/8"	8.62	10.90
3/4"	12.70	15.90
7/8"	17.65	22.25
1"	23.15	29.10
1 1/8"	25.40	36.30
1 1/4"	32.20	46.30
1 3/8"	38.60	55.00
1 1/2"	46.80	67.10

Por norma se puede decir que los tornillos se instalarán con una tensión inicial de 70% de la resistencia mínima a la tensión especificada del tornillo.

### APRIETE CON LLAVES CALIBRADAS.

Cuando se usan llaves calibradas para suministrar al tornillo, la tensión específica en la anterior tabla, deben ajustarse de tal manera que la tensión inducida en el tornillo sea de 5 a 10% mayor que el valor en cuestión. Estas llaves deben calibrarse cuando menos una vez por día de trabajo, apretando no menos de tres tornillos típicos de cada diámetro por instalar en un dispositivo capaz de indicar la tensión real del tornillo. Las llaves operadas mecánicamente deben ajustarse para que se detengan o dejen de funcionar al llegar a la tensión seleccionada.

Si se usan llaves manuales, debe anotarse la indicación de la torsión correspondiente a la tensión calibrada, para usarse en todos los tornillos instalados del lote probado.

Cuando se usan llaves calibradas para instalar varios tornillos en una misma junta, deben volverse a apretar los que se colocaron inicialmente, ya que pueden aflojarse durante la colocación de los siguientes, hasta lograr que todos queden apretados a la tensión especificada.

#### APRIETE POR EL METODO DEL GIRO DE LA TUERCA.

Cuando se usa este método para suministrar la tensión especificada en la tabla anterior, se entenderá por "apriete ajustado" una cantidad suficiente de tornillos para asegurar que todas las partes de la junta están en pleno contacto unas con otras. La condición de "apriete ajustado" se definirá como la que se obtiene con unos cuantos golpes de una llave de impacto o con el esfuerzo total de un hombre que use una llave de tuercas ordinaria. En seguida de esta operación inicial, se colocarán tornillos en cada uno de los agujeros restantes, apretándolos hasta la condición de "apriete ajustado". Deben entonces apretarse adicionalmente todos los tornillos de la junta, haciendo girar a la tuerca la cantidad especificada, empezando a apretar los tornillos de la junta que estén colocados en la parte más rígida de la junta y progresando sistemáticamente hacia los bordes libres.

Durante esta operación no debe haber rotación alguna de la parte no apretada con la llave.

Los tornillos para conexiones estructurales varía ordinariamente de 5/8" a 1 1/4" de diámetro, aunque puedan usarse mayores o menores.

Existen tornillos de anclaje que se cuelan monolíticamente o se fijan con lechada de relleno en las zapatas de concreto; para bases de columnas de acero varían de 1/2 a 4 pulgadas de diámetro.

## VENTAJAS DE LOS TORNILLOS DE ALTA RESISTENCIA.

La ventaja de estos tornillos se obtiene al desarrollar en ellos una alta tensión inicial, la cual aprieta las placas que se están uniendo entre la cabeza del tornillo y la tuerca. La acción de apriete facilita la transmisión de la carga de una placa a la otra por fricción, con muy poco deslizamiento entre ellas produciéndose de este modo una junta muy rígida. Como la resistencia por fricción depende de la cantidad inicial de tensión, es de mayor importancia desarrollar la fuerza de apriete necesaria, mediante el apriete correcto de la tuerca. Debido a la mencionada acción de apriete, toda la carga se transmite por fricción y los tornillos no están sujetos a ningún esfuerzo de corte o aplastamiento. Puesto que la resistencia por fricción es efectiva fuera del área del agujero se reduce la carga transmitida por la placa a través de la sección en la que están los agujeros, con lo que la probabilidad de falla en la sección neta se reduce al mínimo. La resistencia de la junta a la fatiga también es alta, ya que las cargas alternadas producen muy poco cambio en los esfuerzos del tornillo, además se evita al mismo tiempo el aflojamiento de las tuercas. En el resumen podemos enumerar las ventajas:

- 1) Juntas rígidas: No hay deslizamiento entre las placas bajo cargas de trabajo.
- 2) Alta resistencia estática debida a la elevada resistencia por fricción.
- 3) Menor carga transmitida en la sección neta de las placas.
- 4) No existen esfuerzos de corte o aplastamiento en los tornillos.
- 5) Alta resistencia a la fatiga.
- 6) Se evita el aflojamiento de las tuercas.

### 3-3 Procedimiento Típico Para La Ingeniería de Detalle

Bien, como ya se ha indicado, es el Departamento de Ingeniería Técnica con el que cuenta el Taller Fabricante es el encargado de realizar la Ingeniería de

ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA

Detalle, también es posible de que el taller subcontrate a un responsable externo para que realice este trabajo.

De los planos entregados por el estructurista se obtiene la siguiente información:

Croquis de la planta del inmueble a fabricar con distancias entre ejes y ubicaciones de los elementos estructurales con respecto a estos ejes. Cada elemento tiene asociado una marca que lo identifica con la tabla de materiales correspondiente; es esta tabla de materiales, también incluida en el plano estructural, en la que se indican las dimensiones de los perfiles.

En otro de los planos típicos se muestran las conexiones tipo para elementos columna-trabe, trabe-trabe, trabe-viga, trabe-contraviento o cualquiera de las conexiones señaladas en el Capítulo 3 Sección 3-1-4.

Aún y cuando cada elemento está bautizado, el detallista debe de renombrar a cada elemento, pues en muchas ocasiones los elementos con nombre repetido en los planos estructurales, no son totalmente iguales, ya sea por el tipo de conexión, por la inclinación o cualquier otra variación que los haga diferentes. Se tiene que tener presente que si al taller se le da un plano de fabricación con la indicación de "n" piezas de ese tipo, el taller las fabricará exactamente iguales.

Es muy difícil determinar a simple vista de los planos estructurales cuáles son la piezas completamente iguales, es necesario conocer holguras, secciones y tipo de los elementos a conectar, excentricidades en conexiones, etc. Recordemos que el calculista supuso una idealización de elementos, considerando que las fuerzas actúan sobre puntos de trabajo (nodos).

Es así que se debe denominar a cada pieza con su marca específica después del análisis antes descrito. Una vez realizada esta tarea, se elabora un croquis

de localización en el que se indican cada una de las columnas, traveses y vigas, con sus marcas para cada entrapiso, lo que da lugar a los planos de montaje.

Utilizando la distribución del croquis anterior se elabora un plano de anclas donde se debe de indicar la dirección de los ejes locales de cada ancla con respecto a los ejes globales de croquis de localización.

Así es como se comienza con:

Plano de anclas  
Planos de montaje

Estos planos deben ser enviados al propietario para su aprobación, y en el caso de que no sufran modificación alguna se procede a detallar cada elemento.

El criterio del detallista empieza a cobrar importancia desde este momento. Aunque los planos estructurales indiquen ciertas características de los elementos es el detallista quien palpa la factibilidad de estas condiciones.

Esto se ejemplifica en este caso de la siguiente manera:

- a) La factibilidad de que las columnas se construyan totalmente en el taller o, por sus dimensiones que pueden exceder a las del camión transportador, las columnas pueden ser construidas en el taller en dos o más partes, para posteriormente ser ensambladas en la obra antes de su erección final.
- b) Las condiciones para soldar las diagonales en las cuerdas de una armadura no son posibles, pues la dimensión de los ángulos no lo permite en ciertos elementos, dependiendo de la sección propia de la armadura.

- c) La posición de las placas o elementos de conexión tienen que estar planeados estratégicamente para facilitar las maniobras del montaje. Todos los elementos deben montarse con espacio suficiente para maniobras, procesos de soldadura, etc. Es por esto que entre otras cuestiones, las holguras que se contemplen tienen efectos en el armado de la estructura, los detallistas tienen que predecir todas las situaciones en el momento de montaje y flete.
- d) El peso de los elementos armados en el taller tiene que estar limitado para las capacidades de las grúas en la obra, para evitar pérdidas cuantiosas en improvisación de uso de más de una grúa, o el tener que rentar temporalmente otra, y mal aprovechar la existente.
- e) El detallista tratará de ocupar los materiales del almacén, ensamblando en algunas ocasiones en dos o más secciones un elemento continuo.

En cualquiera de estas limitantes de fabricación o condiciones, es el detallista quien debe resaltar su posibilidad o imposibilidad de construcción. En caso de que no se pueda construir, es común que el detallista proponga una solución factible. Pero es de suma importancia que cualquier modificación hecha, sea exhaustivamente revisada por el estructurista.

El mundo de suposiciones en el momento de fabricar es inmenso, un buen detallista es el que conoce las limitantes en las modificaciones y quien se apega a lo establecido por los manuales de construcción con acero (como el Manual de Monterrey, que todos los detallistas de México conocen).

Es común que por diversas razones no sea posible especificar por parte del diseñador todas las condiciones posibles, y es por eso que supone conexiones tipo, en las que en algunas ocasiones se les asigna un parámetro diferente para cada entrepiso o posición del elemento. Cuando una conexión no está especificada, la experiencia del detallista hace desarrollarla apegándose a condiciones similares por alguna otra conexión sí especificada.

## 4 PROPUESTA DE LA AUTOMATIZACIÓN DE LA INGENIERÍA DE DETALLE

### 4-1 Propuesta

A estas alturas del trabajo la propuesta se hace inminente, pero ¿cómo es posible automatizar mecanismos tan complejos, en los que el criterio del ingeniero tiene un carácter único y fundamental? ¿de qué manera puede llevarse un control automático de la ejecución en los planos de taller? ¿será posible poder abarcar todos los diferentes tipos de estructuras y sus elementos ensamblados dentro de un programa de computadora? Trataremos de reponder paulatinamente a estas incógnitas en el transcurso de este capítulo.

Como se ha indicado, esta automatización se llevará a cabo, en términos generales, con el uso de computadoras personales y con programas ad hoc. No se intenta relegar al ingeniero detallista, ni al dibujante, ni al supervisor, por el contrario, se pretende que todos ellos cuenten con un arma poderosa, versátil y accesible de usar. Es un hecho que no es fácil.

La propuesta de automatización es, a grandes rasgos, el uso de una plataforma CAD que sirva como herramienta de cuantificación y dibujo, y



que pueda programarse siguiendo un método especial para cada caso en particular, así el detallista tendrá que emplear el programa como sustituto de un restirador, con muchas ventajas adicionales, pero lo más relevante es que esta persona deberá aprender a programar rutinas que elaboren sus tareas de detalle.

¿Qué es un programa para CAD?

Es un programa de uso general para un computadora que facilita las tareas de dibujo, cálculo, precisión y mantenimiento de un proyecto. Es una ambiente en el que uno puede, con el uso de una computadora y su respectivo programa, modelar geométricamente su proyecto y obtener versatilidad en el trabajo, la repetición de tareas similares se anula y se usa en todo momento componentes típicos en los proyectos (como una librería de perfiles estructurales, simbología para detalle de soldadura, etc.)

Para que un programa de computadora se le considera un programa de CAD deben contar con las siguientes características:

- **Interfase gráfica**  
Ambiente con zonas de trabajo (área donde se despliega el dibujo en un monitor de video), zonas de menús para selección de instrucciones, zonas para inclusiones de datos por medio de un teclado. Uso de dispositivos digitalizadores para desplazarse por estas zonas y/o seleccionar la instrucciones del los menús en el monitor.
- **Herramientas de dibujo.**  
Instrucciones para la inclusión de elementos geométricos como líneas, arcos y/o combinación de estos, con diferentes espesores de trazo y colores.
- **Herramientas para modificar estos dibujos.**

Instrucciones para borrar, copiar, mover, escalar o modificar los elementos anteriores, cada una de estas herramientas con diferentes modalidades.

- **Tipos de datos.**

La manera de generar cada elemento del dibujo debe poder ser especificada gráfica o numéricamente, dando con esta última, la modalidad de exactitud de los dibujos, utilizando un sistema cartesiano de dos o tres dimensiones como referencia de este espacio de trabajo.

- **Ayudas de dibujo.**

Ayudas para hacer referencia a algún el punto exacto de los cada objeto gráfico. Ayudas para organizar los objetos de acuerdo a lo que estén representando. Por ejemplo: Agrupar todos los elementos gráficos que correspondan a las cotas, por un lado y todos los elementos gráficos que correspondan a el cuadro de datos o a el modelo en sí. Ayudas para determinar las unidades de trabajo, magnitud del espacio de trabajo y escala de los trazos.

- **Ayudas de visualización.**

Instrucciones para poder trabajar a diferentes magnificaciones del diseño y así poder amplificar las zonas a detallar o reducir la imagen para observar el aspecto total de un plano.

- **Manejo de dibujos predefinidos.**

Instrucciones para incluir elementos típicos, o detalles de otros dibujos, o para formar objetos complejos a partir de otros más sencillos, evitando así la repetición de elementos iguales o parecidos.

- **Dimensionamiento de elementos**

Instrucciones para determinar las distancias entre los objetos y de esta manera poder acotar los elementos de tal forma que si se modifican los objetos la acotaciones asociadas a estos objetos reflejen este cambio.

- **Cálculos espaciales sobre el dibujo.**  
Instrucciones para determinar distancias, ángulos, áreas y/o volúmenes de los elementos dibujados.
- **Herramientas de impresión de los diseños.**  
Instrucciones para trazar el dibujo en una posición determinada, a una escala definida y utilizando diferentes tipos de colores, plumillas, etc.
- **Herramientas para desarrollo.**  
Posibilidad de generar rutinas de uso específico del usuario con el empleo de lenguajes de programación que puedan manipular la información gráfica y geométrica de los objetos del diseño que se esté generando (es esta herramienta la más explotada por este capítulo).
- **Canales externos de comunicación.**  
Instrucciones para poder exportar la información del ambiente a otras aplicaciones de la computadora, como hojas de cálculo, manejadores de bases de datos, programas para desarrollo de estimaciones, etc.

Un programa CAD es, en un estricto sentido, un manejador de una base de datos que gráficamente representa un dibujo. Un dibujo o diseño hecho con un programa CAD, es así, una base de datos de información de objetos geométricos definido en un espacio de trabajo cartesiano con atributos y parámetros específicos. El término manejador se refiere a la operaciones que se pueden realizar a la información geométrica, así como la gran cantidad de ayudas que facilitan el proceso de manipulación y generación de un diseño.

### Un mundo perfectible

Gracias al adelanto tecnológico de los sistemas de cómputo personales, los ingenieros redefinen sus estándares de trabajo, logrando así, un aumento en el índice de productividad en su desarrollo individual y de grupo, como hemos

señalado. Más aún, los ingenieros demandan cada vez más un perfeccionamiento tanto de los equipos como de estos programas CAD, y esta necesidad se refleja en un desarrollo acelerado de la misma tecnología. Las compañías más importantes renuevan sus productos año con año, y constantemente se encuentran en el mercado nuevas versiones de los programas, actualizadas, mejoradas y aumentadas. De la misma manera, los equipos son cada vez más rápidos en su ejecución y sus capacidades gráficas son impresionantes, aún y para aquel que trabaja cotidianamente con ellos. Es tan inverosímil la velocidad de la evolución, no es raro encontrar productos como anteojos especiales para una visualización tridimensional y movimiento del modelo acorde con los movimientos del observador de un monitor de video de una computadora, o dispositivos que interpretan la voz del usuario para ejecutar comandos. La comodidad de trabajo es el principal motor de este cambio y gracias a la competitividad, se logra una guerra de perfeccionamiento tecnológico maravilloso.

#### El uso

Existen dos maneras de involucrarse con el uso de estos sistemas de cómputo: una, cuando se es usuario inicial (un alumno) o cuando se es usuario potencial (el que trabaja actualmente en forma convencional con dibujos y cálculos a mano). Es importante aclarar estas diferencias, pues el éxito dependerá de la conciencia sobre ellas.

El usuario inicial ya no "pierde" el tiempo en aprender la forma convencional de trabajar y proyecta su atención al manejo de estas herramientas. Sin embargo, el usuario potencial se ve obligado a redefinir su forma convencional de trabajar (que en la mayoría de los casos es ya muy antigua) y tiene que pensar en otros términos. Además, es muy claro que un alumno va a adquirir los conocimientos de manera más fácil que alguien que trabaje y haya perdido la costumbre de estudiar. Los alumnos son más receptivos y menos críticos (aparentemente ésta es una desventaja pero no sucede así, pues una vez que se arman con conocimientos computacionales son más ventajosos en

la práctica profesional). Tal vez, para este campo, la teoría es más importante que la práctica. Lo importante es la selección de un usuario es escoger a una persona con capacidad ingenieril y que se le facilite el uso de la computadoras, que tenga siempre entusiasmo en investigar cada vez más sobre la herramientas que abundan en el área CAD. El problema es que directores de los proyectos suelen ser renuentes en la capacitación y actualización de sus trabajadores por el simple hecho que creen que sus trabajadores van a perder tiempo sobre todo cuando más se les necesita (todo el tiempo). Dentro de nuestra experiencia, la selección ideal es contratar a un ingeniero que domine el área CAD, para luego integrarlo con algún experimentado detallista que paulatinamente capacitará al ingeniero en la tareas de detalle. Ha sido muy difícil capacitar a los detallistas para que trabajen con CAD.

#### Adaptación a un trabajo específico

Dentro de los sistemas CAD existen aplicaciones para las diversas áreas de la ingeniería especialmente la civil. Empresas que desarrollan programas CAD ofrecen como característica de sus productos generalizados, una plataforma de desarrollo complementario para situaciones específicas (esta idea se explica en la sección de ¿Qué es un programa CAD? al inicio de este capítulo), y es por eso que es factible encontrar quien venda una librería con los dibujos de perfiles estructurales comerciales, con sus características físicas y geométricas; o de manera similar, hay en el mercado quiénes venden programas para el análisis de movimiento de tierras, en la área de la construcción. Estas plataformas que dan oportunidad a terceros desarrollar para situaciones específicas, son una de las armas más poderosas de los sistemas CAD, como se había comentado. Basta con el conocimiento de algún lenguaje de programación para poder explotar esta posibilidad de desarrollo.

La problemática del área de la Ingeniería de Detalle está bien resuelta en países como EEUU. En ese lugar, el mercado CAD ofrece una variedad de

tamaño regular de programas para facilitar los trabajos de la ingeniería estructural.

Estos programas ligan a la mayoría de los procesos que definen a la ingeniería estructural. El programa más completo de este ramo es aquel que tenga los siguientes módulos.

- Módulo para definir gráficamente la topología de la estructura y las secciones de cada elemento en la estructura.
- Módulo para realizar un modelo tridimensional
- Módulo para análisis estructural de este modelo bajo diversos tipos de solicitaciones y utilizando los más usuales (método por análisis simplificado, rigideces, por análisis de elementos finitos, etc.)
- Módulo para cambiar las secciones fácilmente y así poder reanalizar el modelo una y otra vez
- Módulo de diseño de elementos
- Módulo de nombramiento automático de cada elemento en la estructura
- Módulo para generación de planos de montaje por ejes y por plantas
- Módulo para detalle de cada elemento estructural

Todos estos paquetes que se utilizan en PC no sirven totalmente para México y muy probablemente tampoco para Latinoamérica por las siguientes razones:

1. En México no hay una manera estandar construir con acero

2. Los programas consideran que generalmente una estructura utiliza los perfiles comerciales como elementos de construcción, las secciones se obtienen siempre de manual, y desde luego en estos manuales no está incluido el del AHMSA
3. Los programas asumen que generalmente el ensamble de una estructura se realiza con tornillería
4. En México no sucede que el diseñador sea el mismo que el fabricante
5. Las conexiones son el coco de estos paquetes, pues sólo soportan las conexiones típicas y en México no hay conexiones típicas, pues los criterios de conexión varían mucho

En la sección de montaje (desarrollo de planos por ejes o por plantas y el nombramiento de cada uno de los elementos estructurales) se tiene también un uso aceptable, pero nada más.

Es por estas razones que en la propuesta de automatización se parte casi desde un principio.

#### **4-2 Metodología para la Automatización**

La automatización se logrará realizando un programa de computadora que trabaje en conjunto con un sistema CAD. Este programa se encargará de:

1. Proveer de una interfase para la adquisición de datos, los mismos que definen el tipo de elemento a dibujar y cuantificar.
2. Llevar a cabo todas las soluciones geométricas necesarias para el dibujo del elemento. El cálculo de inclinaciones, posición de agujeros, etc.

3. Trazar el resultado del análisis geométrico utilizando las herramientas de graficación que ofrece el sistema CAD.
4. Aprovechar la información para calcular la lista de materiales especificando pesos, longitudes y tipo de materiales.

Para el logro de lo anterior se tiene que definir cómo son cada uno de los elementos que formarán parte de un componente estructural. La descripción de los elementos más comunes se llevó a cabo en el capítulo III. Esta descripción define paramétricamente a cada elemento, y es precisamente la magnitud de estos parámetros la información necesaria para generar el modelo.

Así el detallista debe "parametrizar" su modelo a detallar, indicando las variables (parámetros) que se involucran en el elemento a dibujar.

#### El lenguaje de programación y el programa CAD

Para poder implementar la metodología de automatización en CAD se tiene que programar utilizando el lenguaje de la plataforma correspondiente. A continuación se describe el Lenguaje AutoLisp, que se usa en la plataforma del paquete AutoCAD (ambos productos pertenecen a Autodesk, Inc.).

AutoCAD maneja a cada entidad gráfica como un elemento con propiedades como: COLOR, TIPO DE LINEA, ESPESOR, NOMBRE DE SU GRUPO (LAYER), etc.; aunado a estas propiedades están las características geométricas del objeto, como en el caso de un elemento tipo LINE lo son: Coordenada del punto inicial, coordenada del punto final, espacio vectorial al que pertenecen estos datos, etc. Estos dos grupos de datos se almacenan en un archivo que contiene al dibujo, estrictamente este dibujo es una Base de Datos de Información Gráfica y Geométrica, como se mencionó al inicio de este capítulo.



AutoLisp tiene acceso a esta base de datos con algunas de sus instrucciones intrínsecas, consideremos el siguiente ejemplo.

Si un usuario define un segmento recto aplicando el comando LINE de AutoCAD, como en el ejemplo.

```
command: LINE from point: 0,0 to point: 4,3 to  
point: <enter>
```

AutoLisp presenta el contenido de la base de datos de la entidad tipo línea que se acaba de generar con las siguientes instrucciones:

```
command: (entget (entlast))  
((-1.<Entity name: 60000022>) (0."LINE") (8."0") (10  
0.0 0.0 0.0) (11 4.0 3.0 0.0) (210 0.0 0.0 1.0))
```

Como se observa los datos están almacenados en listas definidas por paréntesis, éstas, a su vez, tienen sublistas también definidas por pares de paréntesis cada sublista final es del tipo LISTA ASOCIATIVA pues es un binomio en el que el primer miembro es el utilizado para llegar al valor de su asociado, por ejemplo:

si intenta saber cuál es la coordenada del punto final de la última (entlast) entidad dibujada (para el ejemplo la línea de 0,0 a 4,3):

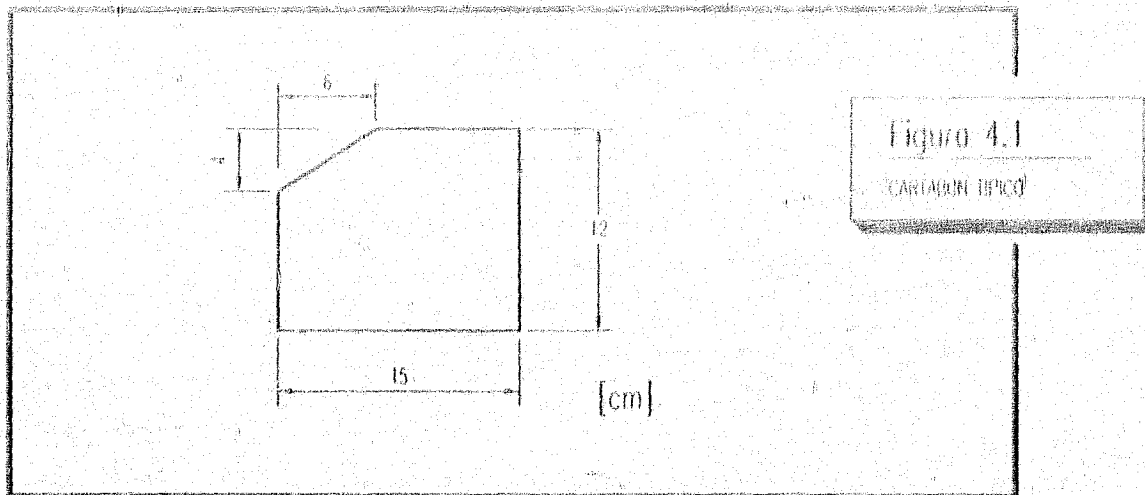
```
command: (assoc 11 (entget (entlast)))  
(11 4.0 3.0 0.0)
```

la coordenada reportada es 4,3,0 asociada al índice 11.

Esta es la manera de poder tener acceso a la información de los elementos del dibujo.

En seguida se describe cómo puede generarse un figura geométrica en AutoCAD.

Supongamos que queremos dibujar un cartabón con las siguientes dimensiones:



en AutoCAD utilizaremos la instrucción LINE para trazar este elemento

```
command: LINE from point: 10,10  
to point: @8<270  
to point: @15<0  
to point: @12<90  
to point: @9<180  
to point: close  
command:
```

desarrollemos un programa en AutoLISP que haga exactamente lo mismo, estas instrucciones se pueden especificar utilizando un editor de textos tipo ASCII o un procesador de palabras:

```
(defun cartabon( / PTO)  
(setq PTO (list 10 10))  
(command "LINE") (command PTO)
```

```

(setq PTO (polar PTO -1.57 8)) (command PTO) ;calcula el siguiente
(setq PTO (polar PTO 0.00 15)) (command PTO) ; punto y manda el
(setq PTO (polar PTO 1.57 12)) (command PTO) ; resultado al
comando
(setq PTO (polar PTO 3.14 9)) (command PTO)
(command "CLOSE")
)

```

lo ejecutamos dentro de AutoCAD:

```

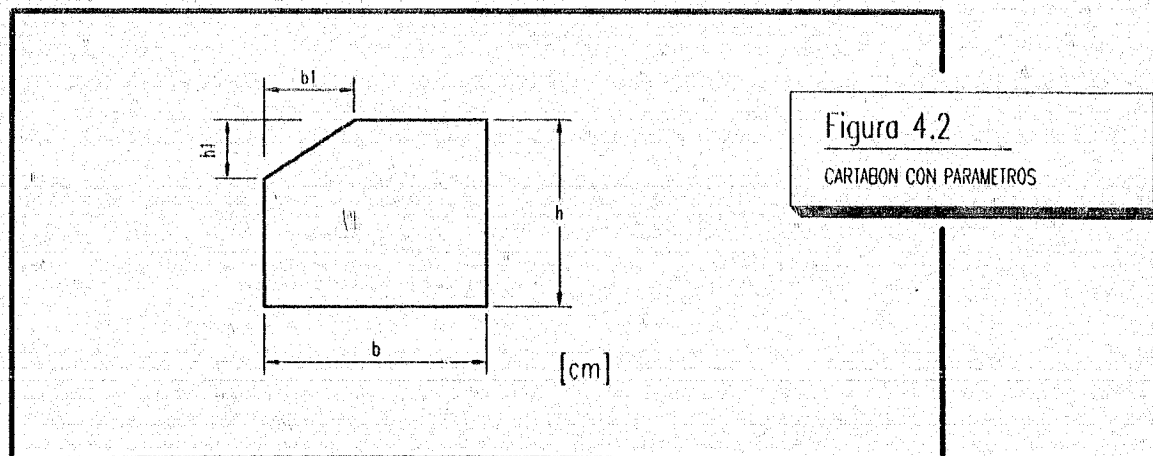
command: (LOAD "CARTABON.LSP")
(cartabon)
command: (cartabon)

```

el programa dibuja la figura 4.1.

Es claro que el hacer un programa para el ejemplo anterior no ofrece ventaja alguna, pues únicamente funciona para un cartabón de esa medida. Ahora desarrollemos un rutina que generalice el ejemplo anterior.

Primero establecemos nuestro dibujo en forma paramétrica, como se llevo a cabo en el capítulo 3 con varios elementos estructurales:



la rutina queda de la siguiente manera:

```
(defun cartabon( b h b1 h1 / PTO)
  (setq PTO (getpoint "Punto inicial: "))
  (command "LINE") (command PTO)
  (setq PTO (polar PTO -1.57 (- h h1)))(command PTO)
  (setq PTO (polar PTO 0.00 b)) (command PTO)
  (setq PTO (polar PTO 1.57 h)) (command PTO)
  (setq PTO (polar PTO 3.14 (- b b1)))(command PTO)
  (command "CLOSE")
)
```

lo ejecutamos dentro de AutoCAD:

```
command:(load "CARTABON.LSP")
(cartabon)
command:(cartabon 15 12 6 4)
Punto inicial: 10,10
```

observe en la pantalla de la computadora como sólo en el momento de la ejecución es cuando damos el valor de los parámetros, dando la posibilidad de variar los valores y repetir cuantas veces sea necesario dibujar un cartabon de este tipo.

Lo anterior marca la manera básica de programar una simetría, usando instrucciones de programación como (setq), (polar), (defun), etc. e instrucciones de AutoCAD como LINE con la modalidad de especificar puntos dando la distancia y el ángulo con base a un punto de referencia. Sin embargo, la rutina de SIMETRIA como la del ejemplo sólo es uno de los tipos de rutina que se define en un PROGRAMA DE INGENIERÍA DE DETALLE. A continuación se describe exactamente cómo debe organizarse uno de estos programas.

## Organización de los programas

Las rutinas que se usen en la automatización pueden ser, según su objetivo:

- Rutinas con Herramientas
- Rutinas de Elementos Típicos
- Rutinas de Elementos Especiales

Las Rutinas de Herramientas son todas aquellas que simplifican la generación de otras rutinas, ejemplo de este grupo de programas son las necesarias para crear una interfase de adquisición de datos de un elemento específico, o las rutinas que dado un conjunto de datos, dibujan estos valores en una tabla de materiales, o de igual forma rutinas para la incorporación de un nuevo elemento en la librería de elementos típicos.

Las Rutinas de elementos típicos son aquellas que resuelven la ingeniería de detalle de las secciones más utilizadas o de dibujos que se ocupan en más de un proyecto. Ejemplos de estas rutinas son:

RUTINA	EXPLICACIÓN
A1-CPEC	Genera la ingeniería de detalle para una Armadura formada por ángulos del tipo 1 con Cuerdas Paralelas y Espacios Constantes.
A1-CPEV	Genera la ingeniería de detalle para una Armadura formada por ángulos del tipo 1 con Cuerdas Paralelas y Espacios Variables.
T-I	Genera la ingeniería de detalle para una Trabe con sección I.
etcétera.	

Las Rutinas de Elementos especiales son la que se tienen que programar para resolver un detalle especial de un proyecto en particular. Las más frecuentes de esta son la que se refieren a conexiones atípicas o a los elementos de refuerzo.

### **Pasos en la generación de un programa para desarrollar una Rutina de Elementos Especiales o una Rutina de Elementos Típicos**

El programa se divide en las siguientes subrutinas:

- **Subrutina de Adquisición de Datos**  
Esta subrutina tiene que pedir por los datos paramétricos de la pieza, para el caso de un elemento tipificado.
- **Subrutina de Dibujo de la Geometría**  
Esta subrutina traza con base a los parámetros de la rutina anterior la figura a proporcional del elemento en cuestión.
- **Subrutina de Acotación del Elemento**  
Esta subrutina dibuja la cotas necesarias para la interpretación en taller del plano de la ingeniería de detalle  
Utiliza los parámetros de la Subrutina de Adquisición de Datos
- **Subrutina de Dibujo Tabla de Materiales**  
Utiliza los datos de la Adquisición de Datos y el resultado de los cálculo correspondientes de la Subrutina de Dibujo de la Geometría.

El esquema anterior muestra la propuesta de la automatización. Quien intente seguirla, debe tener definido el esquema global del paquete o programa que intente generar para que en el transcurso del tiempo, las rutinas se compilen y formen un conjunto de utilierías que auxilien a la ingeniería de detalle.

Esta propuesta está enfocada únicamente a la ingeniería de detalle, sin embargo, está relacionada indirectamente con un modelo tridimensional de la estructura en conjunto a detallar.

Esto es, se debe crear un modelo tridimensional en AutoCAD de la estructura, con medidas reales, representando todo el detalle posible de conexiones y perfiles de los elementos.

Con este modelo se pueden tomar los valores dimensionales de los parámetros y así poder ejecutar las rutinas previamente hechas y así generar el detalle en el mismo ambiente. Con esto se garantiza que todas las dimensiones de los elementos a detallar sean las correctas (partiendo de la base que las dimensiones del modelo son correctas).

En el capítulo siguiente se muestra la aplicación de estas ideas.

## 5 APLICACIONES DE LA AUTOMATIZACIÓN A CASOS REALES

### **Aplicación en Armaduras**

El ejemplo para la aplicación de esta automatización es el caso de un Hotel ubicado en la cd. de Cancún, estado de Quintana Roo.

Este estado localizado al sureste de la República Mexicana, cada día necesita de una mayor infraestructura a causa de la abundancia de sus atributos turísticos que ofrece a sus visitantes, y en especial la ciudad de Cancún, en la que se viene desarrollando uno de los complejos turísticos más importantes de nuestra nación.

Este estado como muchos otros de la república, no cuenta con los recursos técnicos suficientes para poder ejecutar obras que exigen sea aplicada la mejor técnica de ingeniería, y es por ello, que la mayoría de las veces las tareas las desarrollan empresas de puntos tecnológicamente más desarrollados en el país. En general las constructoras que tienen una mayor participación se encuentran en el D.F., Estado de México, Jalisco y Nuevo León.

En esta ocasión tocó la participación conjunta de empresas del D.F. y de Monterrey, y el Hotel en cuestión es de estructura metálica. El número de



elementos estructurales importantes para nuestra aplicación, es el de las trabeas: aproximadamente 600 armaduras para entrepisos.

Esta elevada cantidad de elementos genera la necesidad de realizar un programa CAD que resuelva la tarea del Detalle para cada elemento.

Las armaduras que se tienen que fabricar son del tipo que a continuación se ilustra:

- a) Armadura con claros iguales entre montantes:
- b) Armadura con claros variables entre montantes:
- c) Armadura tipo Pratt que trabaja en cantiliver:

Los tipos de armaduras descritos, se presentan como casos generales para toda la obra, por lo que las armaduras que se requieran detallar tendrán variaciones provocadas por las diferentes posiciones, conexiones y especificaciones de materiales.

#### Desarrollo de programa

El programa retoma el análisis de los parámetros de una armadura, descritos en el Capítulo 3 en la sección de armaduras.

El código del programa se presenta en el anexo A.

Los módulos del programa son como las recomendadas en el Capítulo 4:

1. Módulo de Adquisición de Datos
2. Parametrización
3. Rutinas de Dibujo
4. Rutinas Auxiliares
5. Rutinas para la Tabla de Materiales



c) Dentro de AutoCAD, cargar la rutina inicio lsp de la siguiente manera:

command: (load"inicio")

d) Ejecutar el programa ARMA

command: ARMA

e) Llenar las tablas de la siguientes figuras con los datos correspondientes.

Figura 5-2

Tabla de AutoCAD con los parámetros y sus valores iniciales (primera parte)

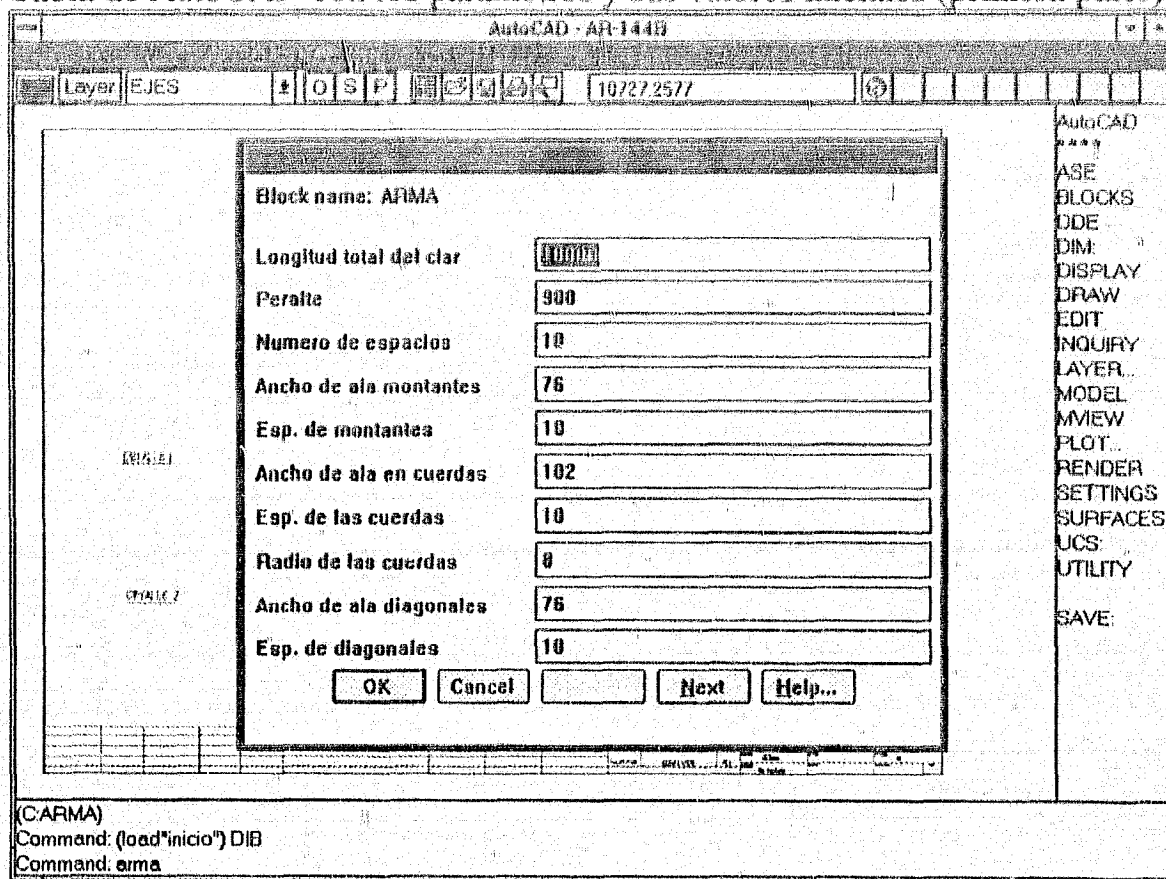


Figura 5-3 Tabla con los parámetros y sus valores iniciales (segunda parte)

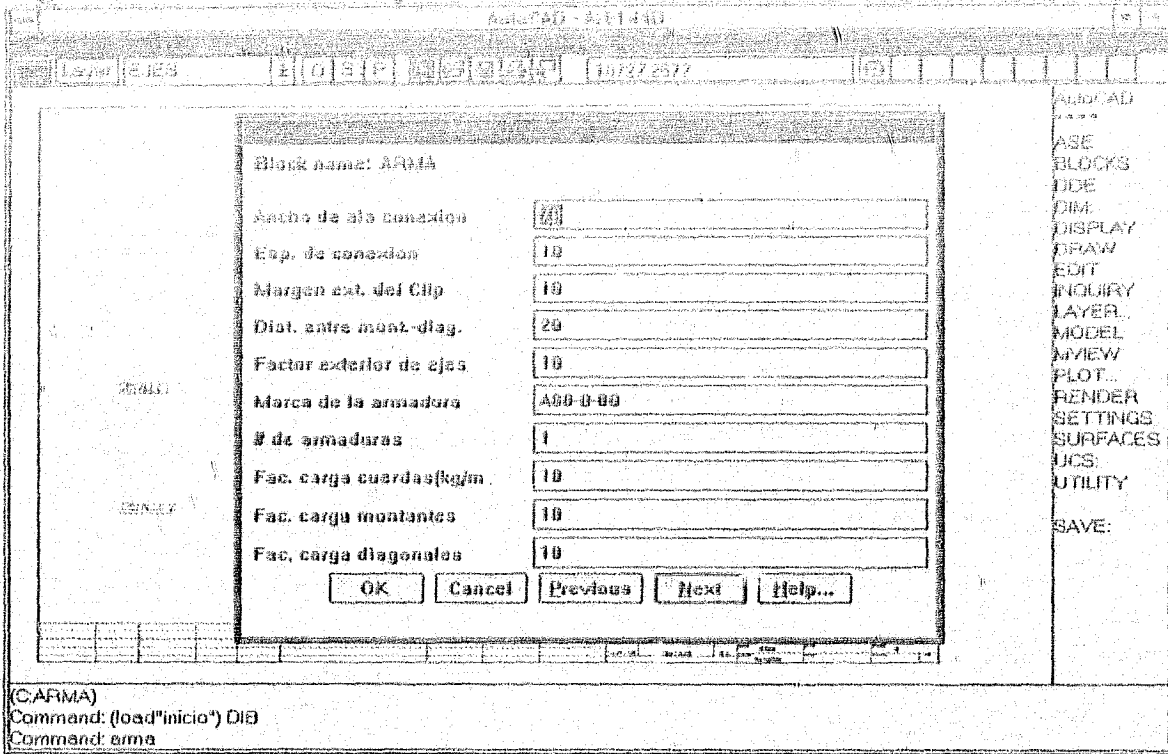
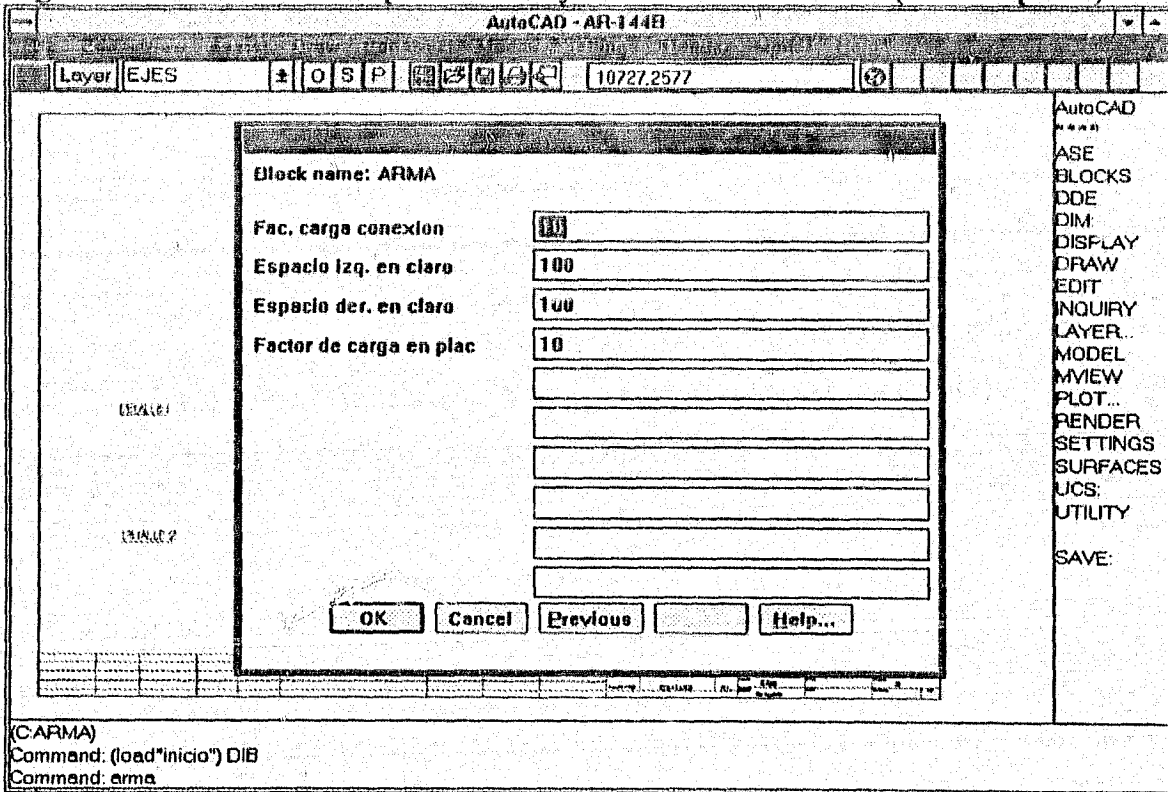


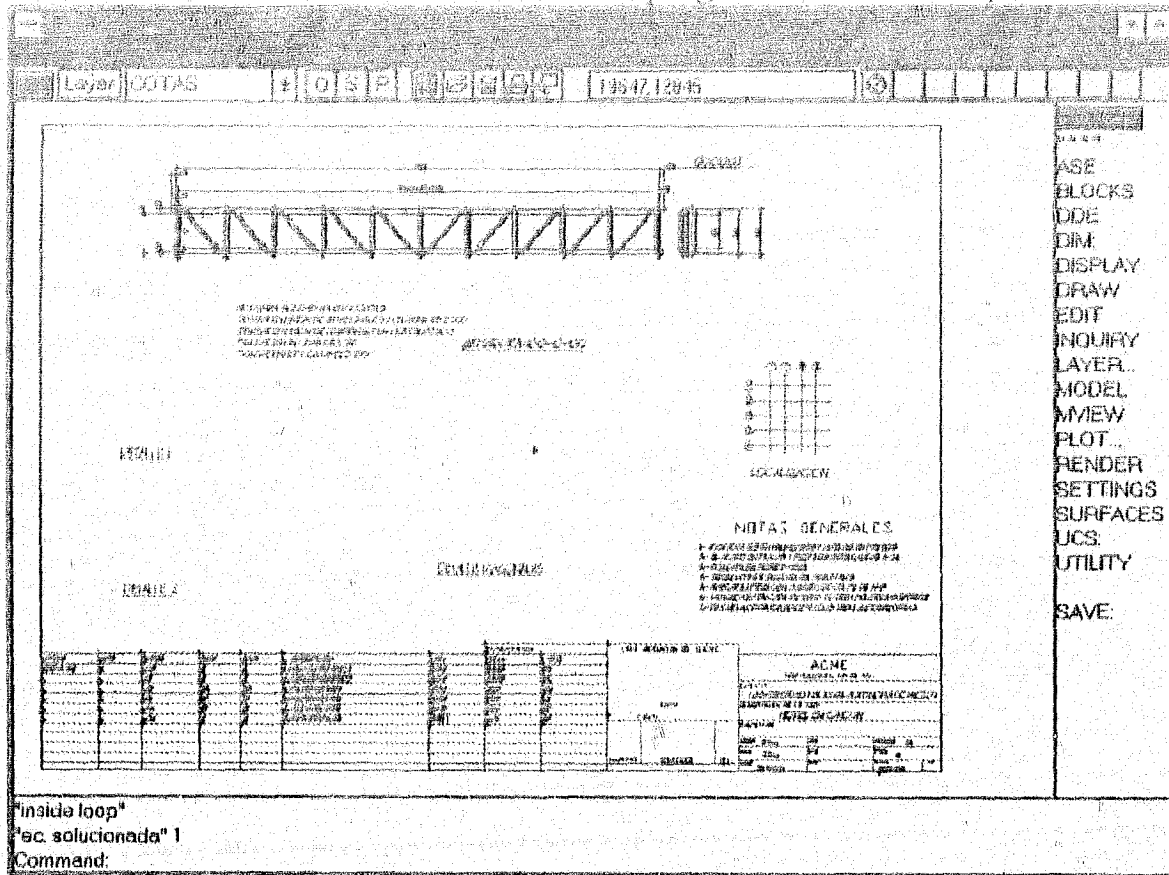
Figura 5-4 Tabla con los parámetros y sus valores iniciales (tercera parte)



En este momento el programa calcula y dibuja la armadura junto con su tabla de materiales (figura 5-5). Sólo queda por detallar o acotar lo que se considere pertinente.

Figura 5-5

Pantalla de AutoCAD con el resultado del programa (la armadura)

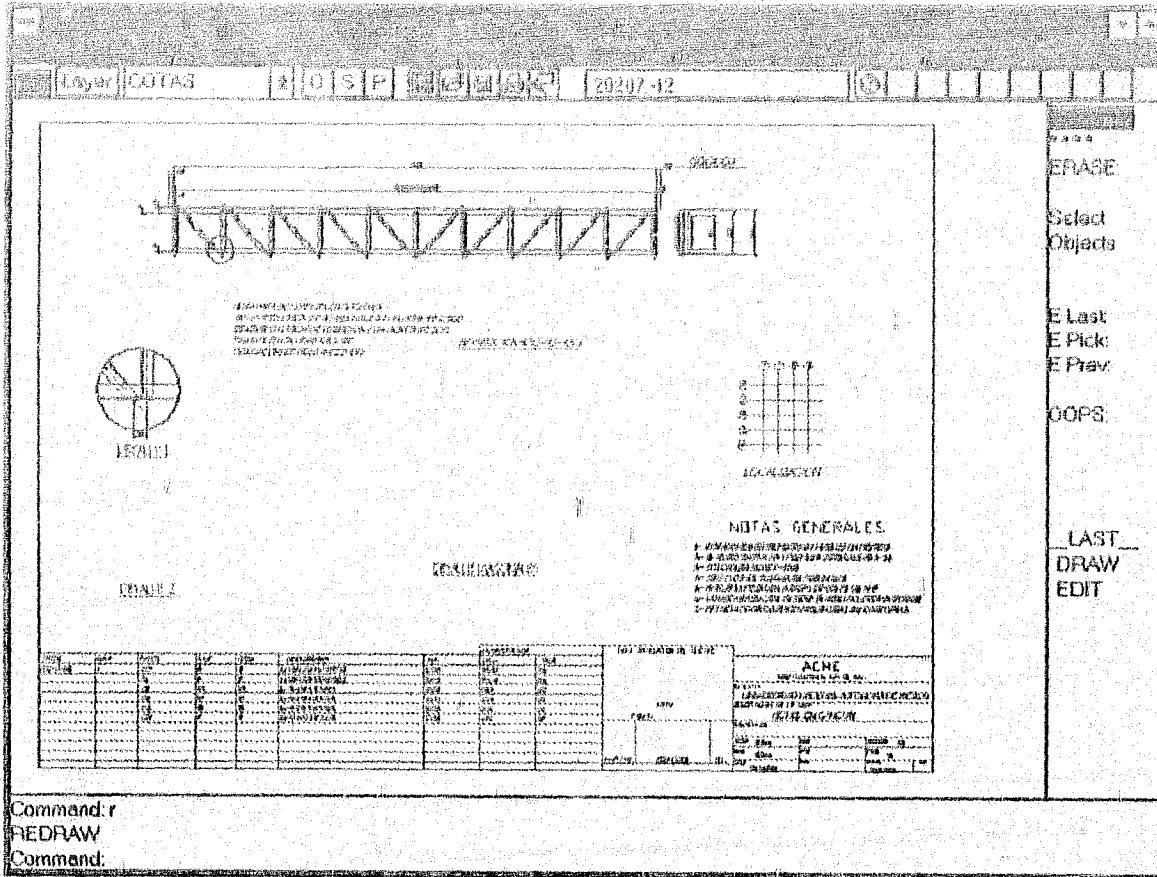


Dentro de las Rutinas Auxiliares del programa del anexo A, se encuentra *DETALLE*, rutina para obtener un detalle de una sección del dibujo. La rutina pide definición de una circunferencia la cual determinará, en su interior, la zona que se desea detallar (amplificar para hacer algunas indicaciones). Esta rutina es de gran ayuda en el trabajo de detalle de elementos de interés. Véase la figura 5-6.

La ejecución de rutinas como la antes descrita, es posible gracias a que el dibujo que genera ARMA está definido con mucho detalle y al amplificarse alguna de sus partes, la nueva parte describe igualmente a la armadura.

Figura 5-6

Detalle de conexión obtenido con la rutina *DETALLE*



- f) Imprimir a escala o de acuerdo a algún tamaño de papel especial. Para la impresión a escala es importante saber que el dibujo está en mm.

Dependerán del detallista los elementos que necesite agregar al resultado del programa en el plano antes de imprimir utilizando instrucciones comunes de AutoCAD.

Con este programa se demuestra cómo una tarea compleja, como la de detallar una armadura realizando todos los cálculos y dibujos necesarios, se traduce a un reducido número de pasos que logran el objetivo.

## COMENTARIOS Y CONCLUSIONES

### 6-1 Importancia de la Ingeniería de Detalle

En la actualidad, si existe un campo que está describiendo un desarrollo vertiginoso ese es el del Diseño Asistido por Computadora, generalmente conocido como CAD, el cual tiene un campo de aplicación muy extenso, ya que los programas CAD responden eficientemente a un sinfín de necesidades profesionales por muy diferentes y complicadas que se presenten .

Con el proyecto presentado en este trabajo, se ofrece una herramienta para ser aplicada concretamente a la Ingeniería de Detalle ,en base a un programa desarrollado con Autocad y con el cual se crean planos de taller para diferentes elementos estructurales ,como lo son armaduras,columnas,etc .

Es de primordial importancia conocer los métodos y procedimientos de fabricación de estructuras de acero para poder elaborar una buena Ingeniería de Detalle. Los elementos estructurales tipo, las formas de conexión, formas de ensamble, procedimientos de montaje, análisis preliminar del peso de una estructura con fines cuantitativos y de presupuesto, son las tareas que un



detallista debe conocer y dominar. La experiencia es muy importante, sobre todo en México, pues cada proyecto que se desarrolla en acero, en general, es diferente a otro, las condiciones, materiales y conexiones cambian de acuerdo al criterio de cada estructurista.

El conocimiento y dominio de los puntos antes expuestos es fundamental, ya que son los que conforman todo el esquema necesario para desarrollar el planteamiento de un programa en CAD, se analizan las necesidades y características del proyecto estudiando a fondo los aspectos que se requieren representar en los planos.

Al detallista se le proporciona un complemento para su actividad ya de por sí compleja, no se pretende reemplazarlo por una computadora, ni relegarlo a actividades secundarias, la idea es que el también cuente con una herramienta versátil y fácil de utilizar, y que a su vez le sirva de motivación en la labor que desarrolla.

El gran reto que implica la selección del sistema CAD como una herramienta para el ingeniero, es utilizarlo aprovechando todo su potencial. Actualmente, la mayoría de las pequeñas empresas y muchas de las más importantes en México, conciben un programa CAD como un sistema de dibujo. Es cierto, esto es una gran ventaja en comparación con el sistema manual, pues de entrada, las modificaciones a un proyecto las hacen con mucha facilidad. Sin embargo, queremos hacer énfasis en que un sistema CAD va mucha más allá que el simple dibujo, debe utilizarse como un medio de Automatización, un medio de Predicción o un medio de Control.

## **6-2 Análisis comparativo y potencialidad**

Referente a la Automatización, desarrollemos un análisis comparativo entre el Sistema Tradicional y el Sistema Automatizado, utilizando el ejemplo de la aplicación del Capítulo 5.

Centrémonos en la de hacer los planos de 600 armaduras.

#### 6-2-1 Análisis de Actividades y Tiempos

Con el método tradicional el procedimiento general sería de la siguiente manera:

No	Descripción	Duración (Hrs.)
1	Recibir las especificaciones de diseño en los planos estructurales y arquitectónicos.	0.25
2	Agrupar a cada una de las armaduras de acuerdo a su igualdad y nombrar a cada grupo (en esta aplicación, sólo se encontraron 50 armaduras exactamente iguales, lo que da lugar a tener 550 armaduras para hacer 550 planos de taller)	24
3	Dibujar planos generales de las armaduras de acuerdo al número de claros. Esto daría lugar a hacer armaduras de 8, 10, 12 y 14 claros, para las que son simétricas, y de 6 y 8 para las que trabajan en cantiliver. Son así, 6 machotes diferentes para generar 550 planos.	8
4	Sacar 550 copias de los machotes	8
5	Empezar a detallar cada una de las 550 armaduras calculando y desarrollando las siguientes tareas: <ul style="list-style-type: none"> <li>a. Longitud de las cuerdas</li> <li>b. Inclinación de las diagonales en ambos sentidos</li> <li>c. Longitud de las diagonales</li> <li>d. Acotar las medidas en plano</li> <li>e. Indicar las conexiones y acotarlas</li> <li>f. Especificar los tipos y lugares de la soldadura en campo y taller</li> <li>g. Llenar la Tabla de Materiales</li> <li>h. Nombrar la armadura y datos de la misma</li> </ul>	$0.65 \times 550 = 357.50$
	<b>TOTAL</b>	<b>397.75 Hrs.</b>

Con el método CAD sería de la siguiente manera:

No	Descripción	Duración (Hrs.)
1	Recibir las especificaciones de diseño en los planos estructurales y arquitectónicos.	0.25
2	Agrupar a cada una de las armaduras de acuerdo a su igualdad y nombrar a cada grupo (en esta aplicación, sólo se encontraron 50 armaduras exactamente iguales, lo que da lugar a tener 550 armaduras para hacer 550 planos de taller)	24
3	Hacer el programa de aplicación del Capítulo 5	40
4	Llenar en las tablas la especificación para cada armadura, especificando los parámetros.	$0.08 * 550 = 44$
5	Capturar los datos, procesar e imprimir para cada armadura	$0.1 * 550 = 55$
	<b>TOTAL</b>	<b>163.25 Hrs.</b>

Con el método tradicional son 397.75 horas y contra 163.25 Horas. Existe una diferencia de 234.50 Hrs.

Vemos que la cantidad de horas es un 244% más con el método tradicional. Sin embargo, este resultado nos es el único parámetro comparativo.

Para el análisis más funcional, representemos el desarrollo de las actividades en una gráfica de Gantt para cada método. (véase figura 6.1).

Para desarrollar esta gráfica se asignaron los recursos humanos mínimos necesarios para que el trabajo se desarrolle en menos de un mes de labores.

Los recursos humanos entre ambos métodos difieren en tipo y número. Mientras que en el método tradicional se emplean a 3 detallistas, en el método CAD están involucrados: un programador CAD, un detallista y un capturista. La determinación de estos recursos se hizo en base a la duración requerida para esta parte del proyecto (1 mes).

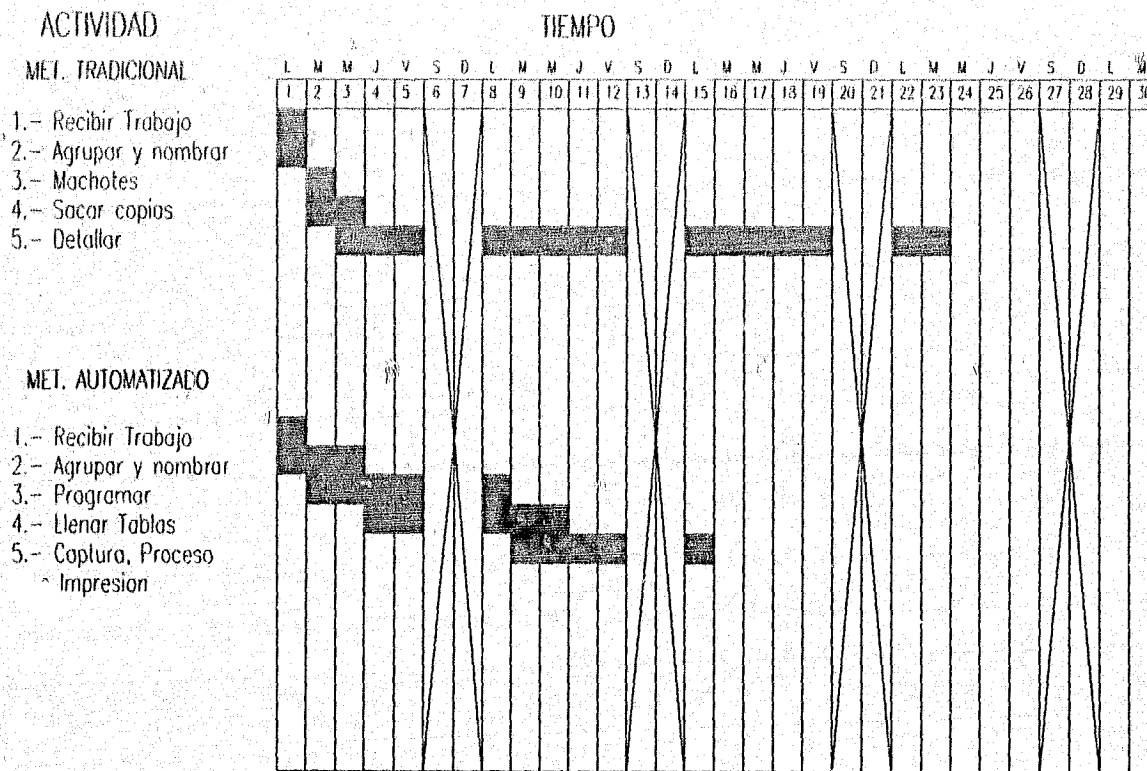
Las tareas se asignan de la siguiente manera:

Método Tradicional	Actividad	Método CAD	Actividad
Trabajador		Trabajador	
Detallista 1	1,2,3,4,5	Detallista	1,2,4
Detallista 2	1,2,3,4,5	Programador CAD	3
Detallista 3	1,2,3,4,5	Capturista	5

Con estos elementos podemos desarrollar la siguiente figura:

FIGURA 6.1

## GRAFICA DE GANTT



6-2-2 Costo de Salarios:

Método Tradicional			
Trabajador	Salario Mensual	Días Trabajados	Costo
Detallista 1	N\$3,500.00	23	N\$2,683.33
Detallista 2	N\$3,500.00	23	N\$2,683.33
Detallista 3	N\$3,500.00	23	N\$2,683.33
		<b>TOTAL</b>	<b>N\$8,050.00</b>
Método CAD			
Programador CAD	N\$6,000.00	5	N\$1,000.00
Detallista	N\$3,500.00	8	N\$933.60
Capturista	N\$1,500.00	5	N\$250.00
		<b>TOTAL</b>	<b>N\$2,183.60</b>

6-2-3 Análisis de Equipo

El equipo necesario para desarrollar el trabajo es (no se consideran los gastos de papelería):

Método Tradicional	
Una copiadora	N\$15,000.00
<b>TOTAL</b>	<b>N\$15,000.00</b>
Método CAD	
Una computadora 486DX/50	N\$8,000.00
Un programa CAD(AutoCAD v10)	N\$2,220.00
Un graficador de inyección de tinta, tamaño 60x90 cm	N\$15,000.00
<b>TOTAL</b>	<b>N\$25,220.00</b>

Los gastos indirectos se consideraron iguales. Es decir, se presupone que los 2 grupos de trabajadores demandan la misma cantidad de gastos.

<i>Método Tradicional</i>		
<i>Recursos</i>	<i>Costo</i>	<i>Tiempo</i>
Mano de obra	N\$8,050.00	
Equipo	N\$15,000.00	
<b>TOTAL</b>	<b>N\$23,050.00</b>	<b>23 DÍAS</b>
<i>Método CAD</i>		
<i>Recursos</i>	<i>Costo</i>	<i>Tiempo</i>
Mano de obra	N\$2,183.60	
Equipo	N\$25,220.00	
<b>TOTAL</b>	<b>N\$27,403.60</b>	<b>15 DÍAS</b>

Por diferencia en costo en un principio parece que el método tradicional resultaría más atractivo. No tenemos que olvidar, que la tecnología CAD requiere de una inversión especial, la que muchas veces puede no parecer interesante a los ejecutivos de empresas de diseño. Sin embargo, los socios de este tipo de empresas tienen que tener una perspectiva de negocio proyectada a mediano plazo. Para este ejemplo la productividad adquirida con el método CAD abate los costos de inversión en no más dos meses y medio, con la condición de que los proyectos sean constantes para que así, el personal se aproveche al máximo.

La continuidad en la demanda del trabajo a disminuido en estos últimos años, sobre todo en la construcción en acero. Una recomendación para las empresas que estén afectadas por este hecho, es el de contratar los servicios de Ingenieros Detallistas y de Programadores CAD por proyecto. La mayoría de detallistas trabajan para más de una empresa a la vez, y por lo tanto no sería difícil.

Un programador CAD deber ser un ingeniero con conocimientos de Ingeniería de Detalle y con adiestramiento en el uso de computadoras y en el manejo y programación de un Sistema CAD. Entonces es claro pensar que estos ingenieros se forman dentro de las empresas que detallan para obras de

estos ingenieros se forman dentro de las empresas que detallan para obras de acero. Esta es, en cierta forma una contradicción, pues primero recomendamos contratarlos por proyecto, pero a la vez, éstos deben estar con trabajo de planta. La idea, entonces, es contratar a personas recién egresadas con experiencia en programación y capacitarles por un tiempo muy corto en ingeniería de detalle. Así, trabajando en equipo con algún detallista se pueden obtener resultados benéficos.

Definitivamente, la propuesta es que las empresas que construyen obras con acero, formen sus equipos de trabajo y que los apliquen al máximo. Es por eso que la tarea más difícil es encontrar en todo momento, obras que garanticen la continuidad del trabajo.

Las empresas más importantes en este ramo, tienen mucha demanda de trabajo y es frecuente encontrar que sus obras se retrasan por falta de planos de taller, es decir, por que sus equipos de detalle no cumplen con su programa en el tiempo.

Por otro lado, desde el punto de vista de la empresa, la administración del taller obtiene beneficios inmediatos, ya que se reflejará que el porcentaje en la inversión monetaria que se destina para el dibujo se reduce considerablemente por proyecto; por ejemplo, para proyectos donde se presenta dibujo de taller en grandes cantidades, se invertirá menos tiempo en el dibujo por cada plano, se le facilita la tarea al detallista, también se observa que aumenta la calidad y presentación del trabajo, y por otro lado los trabajos en el taller no se verán atrasados por falta de información.

### **6-3 Mejoras al trabajo**

Países como Estados Unidos y la mayoría de los europeos, han trabajado arduamente en el desarrollo de aplicaciones CAD para ingeniería de detalle.

En México hemos intentado trabajar en proyectos multidisciplinarios para desarrollo de software especial, desafortunadamente siempre nos topamos con limitaciones económicas.

Comentaremos alguna áreas que se podrían abarcar.

#### 6-3-1 Utilerías

En dichos lugares es factible encontrar programas o módulos de sus aplicaciones que se pueden incorporar a la propuesta de esta tesis.

Por ejemplo, hay utilerías para definir los símbolos de métodos para soldar con un caja de diálogo. Utilerías para la cuantificación de áreas y volúmenes de los elementos dentro de un dibujo CAD. Utilerías para hacer los planos de montaje nombrando automáticamente a los miembros de cada entrepiso.

También hay utilerías para dibujar con CAD en forma paramétrica y con reglas geométricas, esto es, las columnas, por ejemplo, pueden estar definidas en forma paramétrica, y si en cualquier momento algún entrepiso necesita aumentar su tamaño sin afectar la altura total de la estructura, los demás entrepisos (o los que sean necesarios) deben disminuir automáticamente y proporcionalmente su tamaño. Estas son las reglas geométricas con las que se pueden enriquecer los dibujos de CAD.

Es también importante incorporar una librería de perfiles estandar (como los del AHMSA) dentro del ambiente CAD. Esto facilitaría las labores de los programas paramétricos y los haría todavía más extensos en su aplicación.

Estos fabricantes de perfiles estructurales ofrecen en medios magnéticos, su catálogo que describe las dimensiones de cada elemento. Se tendría que hacer una aplicación intermedia para que interprete el catálogo de dimensiones y los dibuje en una librería CAD que almacene su forma geométrica y sus propiedades físicas.



En esta propuesta no se discutió mucho sobre dos de los aspectos que son de gran interés para los constructores en acero: una, el modelado tridimensional y la segunda la pailería.

#### 6-3-2 El modelado tridimensional

El modelado tridimensional, puede tener muchas aplicaciones que aumenten sobre todo, velocidad en el tiempo del proyecto. Pensamos que la aplicación más importante para las obras de México es la construcción de domos o cubiertas que implique elementos con organización irregular en el espacio.

Dentro de los sistemas CAD, existe lo que se denomina Modelado con Sólidos. Estos módulos se pueden añadir al sistema convencional CAD. El modelado tridimensional con sólidos tiene mucha aplicación para los elementos antes mencionados.

Se describirá un ejemplo para determinar el aprovechamiento de estos programas:

Supongamos que se necesita construir un domo tridimensional en forma de la mitad de un poliedro. Cada lado de este cuerpo geométrico será un perfil tipo IPR. Las conexiones entre cada perfil deben ser soldadas.

El mayor problema son los cortes que deben tener los extremos de cada perfil. Si hablamos de un poliedro regular, bastaría con resolver la geometría de una sección para generalizarla a toda la estructura. Por el contrario, si la mitad del poliedro no se asemeja a la mitad de una esfera sino la mitad de un huevo, el problema crecería en la diferencia de muchas de las secciones. Los cortes para los extremos de la mitad del elemento serían diferentes.

Generalmente, para resolver los problemas de simetría espacial, los detallistas y los constructores prefieren incorporar una serie de placas planas de acero colocadas en los nudos de la estructura para que esperen a cada perfil en forma regular. Con esto, los perfiles sólo tendrían que ser segmentados de

acuerdo a una dimensión lineal y su corte sería ortogonal a sus ejes de simetría. Sin embargo, con frecuencia las condiciones de diseño exigen que no haya ningún otro elemento adicional a los perfiles IPR (por ejemplo, los vitrales).

Con modelado de sólidos, además de poder modelar a cada elemento del dibujo como un solo ente, tienen instrucciones que se pueden aplicar a los sólidos entre sí. Existe un grupo de instrucciones que se les conoce como Booleanas, pues operan de acuerdo a la teoría booleana de conjuntos. De esta manera, dos o más sólidos se pueden Unir, Intersectar o Substraer entre sí. Cuando dos perfiles modelados como sólidos dentro del ambiente CAD se unen en un punto, la aplicación de la instrucción Substraer eliminaría en uno de los sólidos a todo el material del otro sólido que esté dentro del primero, dando como resultado que el primer perfil quede cortado con referencia al otro. Esta aplicación se extiende a toda la estructura modelada tridimensionalmente. Las técnicas espaciales de modelado deben dominarse para poder utilizar las operaciones con sólidos.

### 6-3-3 La Pailería

Otra gran área de la construcción en acero y en la que los detallistas juegan un papel primordial es la fabricación de estructura que implique doblar grandes placas de material de acero para conformar una obra.

Además de las técnicas empíricas para doblar materiales físicamente por los talleres, los detallistas utilizan métodos manuales para definir la simetría de estos elementos. La correcta determinación de la geometría de estas obras, depende de la experiencia de los paileros.

Con la tecnología CAD se pueden resolver muchos de los problemas para generar los planos de taller. Así como existe el modelado de sólidos, con el cual cada perfil estructural es un sólido, hay lo que se denomina Modelado de

Superficies, y para nuestro fin podemos definir que una placa de acero es una superficie.

El gran problema de la pailería no es modelar el elemento, pues con los tipos de modelado que se han mencionado se puede lograr con cierto grado de facilidad. El principal reto es el desdoble de placas de acero, o sea el problema se debe tratar en forma inversa a como se hace en la realidad, primero se dibuja en tres dimensiones el elemento y luego se desdobla para definir las dimensiones y cortes de las placas planas de acero.

¡No existe en el mercado un software que desdoble automáticamente superficies curvas!

Una aplicación totalmente innovadora a nivel mundial, sería formar un grupo de trabajo entre paileros, detallistas, programadores CAD e ingenieros con estudio profundo sobre el comportamiento de materiales, para que desarrolle un software que desdoble materiales (o los doble) y pueda calcular las dimensiones de las placas (blancks) así como calcular la magnitud de las fuerzas y el número de pasos o golpes que se necesiten para doblar una placa. Este software tendría aplicación no sólo en pailería, sino también en ingeniería mecánica y procesos de manufactura.

#### **6-4 Recomendaciones Finales**

Es en estos momentos una buena oportunidad para que los estudiantes de la Carrera de Ingeniero Civil incorporen dentro de sus actividades académicas una formación estructurada en programación moderna de computadoras y aplicación de los sistemas CAD. Las autoridades de las universidades (y sobre todo las estatales) tienen que incorporar a sus planes de estudio estas materias para darle mayor importancia a esta área, pues actualmente son pocos los temas o cursos que ofrecen el uso de la tecnología computacional.

Los programas de estudio deben definirse con la participación de académicos y de empresarios que coadyuven en la definición de las necesidades del país y de la correcta aplicación del **Estado de Arte de la Tecnología.**

## ANEXO A

### Listado del programa de la aplicación del Capítulo 5

#### ; SECCION PARA LA ADQUISICION DE DATOS

```
; *****
; Rutina para generar un interfase para adquirir una serie de
; datos a través de una caja de dialogo
; *****
(defun inter (/ nom tag pre val dato i n ents dat)
  (grtext -1 "Nombre del bloque ")
  (setq nom (getstring))
  (grtext -1 "Defina lista de parametros <enter>=fin")
  (setq tag t dat ())
  (while (not (equal tag ""))
    (setq tag (getstring "Nombre del parametro "))(terpri)
    (setq pre (getstring T "Texto explicativo "))(terpri)
    (setq val (getstring T "Valor por default "))(terpri)
    (if (not (equal tag "")) (setq dat (cons (list tag pre val) dat)))
    (princ "\n\n"))
  )
  (setq i 0 n (length dat) ents (ssadd))
  (setvar "aflags" 1) ;inserta atributos invisibles
  (while (< i n) ;genera atributos
    (setq dato (car dat))
    (command "attdef" "") ;asume modos actuales
    (command (car dato)) ;tag
    (command (cadr dato)) ;texto
    (command (last dato)) ;default
    (command (list 0 i)) ;pto de insercion
    (command 1) ;heigth
    (command 0) ;angle
```

```

(setq dat (cdr dat)) ;recorre la lista
(setq ent/s (assoc (entlast) ent/s))
(setq i (1+ i))
)
(setvar "aflega" 0)
(command "wblock" nom "" (list 0 0) ent/s "") ;define el bloque externo
(gettext -1 (strcat "Bloque " nom " definido"))
)

```

```

*****
; Presenta la caja de dialogo para ingresar los datos
*****

```

```

(defun inserta (blk / p1)
  (setvar "attreq" 1) ;permite modificar atributos en insercion
  (setvar "attdia" 1) ;la modificacion es por tabla
  (command "insert" blk)
  (setq p1 (getvar "viewctr"))
  (command p1)
  (command "" "" "") ;escalas y angulo por default
  (setq bloque (entlast))
  (lista bloque)
)

```

```

*****
; Genera la lista de valores para trabajar
*****

```

```

(defun lista (blk / t i val) ;data es global
  (setq blk (entnext blk))
  (setq t (tipo blk))
  (setq i 0)
  (setq DATA nil)
  (while (not (equal t "SEQEND"))
    (setq val (cdr (assoc 1 (entget blk))))
    (setq DATA (cons (cons i val) DATA))
    (setq i (1+ i))
    (setq blk (entnext blk))
    (setq t (tipo blk))
  )
)
)

```

```

*****
; PARAMETROS Y VALORES

```

;; DATOS DE LOS MONTANTES	RUTINA DONDE SE DEFINE
; em    espesor de montante	datos
; am    ancho de montante	datos
; pm    peralte de montante	draw_m
; dm    dist. entre montantes	draw_m
; nm    numero de montantes	draw_m
; bm    coordenada base del 1er montante	draw_m

```

; DATOS DE LAS CUERDAS
; ec espesor de las cuerdas datos
; rc radio de las cuerdas datos
; bc coordenada base de la cuerda inferior draw_c

; DATOS DE LAS DIAGONALES
; dndl distancia horiz. de montante a diagonal datos
; dda componente horiz de la longitud de la diagonal Draw_m
; ddi componente horiz interna de la diagonal DRAW_M
; alr inclinación de la diagonal en (clockwise) draw_m
; hd distancia del corte horiz. en la diagonal draw_m
; vo vertical de la zona oculta por la cuerda en el diag. draw_m
; ho horizontal "" draw_m
; bd coordenada base para calculo de la posición de diag. draw_m

; DATOS GENERALES DE LA ARMADURA
; PER peralte de armadura datos
; _L claro de armadura datos
; _B coordenada base de la armadura datos
; n numero de espacios datos

; *****
; Define las variables globales

(defun datos()
  (setq L (float (read (cdr (assoc 0 data)))))
  (setq PER (float (read (cdr (assoc 1 data)))))
  (setq N (float (read (cdr (assoc 2 data)))))
  (setq am (float (read (cdr (assoc 3 data)))))
  (setq em (float (read (cdr (assoc 4 data)))))
  (setq ac (float (read (cdr (assoc 5 data)))))
  (setq ec (float (read (cdr (assoc 6 data)))))
  (setq rc (float (read (cdr (assoc 7 data)))))
  (setq ad (float (read (cdr (assoc 8 data)))))
  (setq ed (float (read (cdr (assoc 9 data)))))
  (setq aco (float (read (cdr (assoc 10 data)))))
  (setq eco (float (read (cdr (assoc 11 data)))))
  (setq mco (float (read (cdr (assoc 12 data)))))
  (setq dmd (float (read (cdr (assoc 13 data)))))
  (setq deje (float (read (cdr (assoc 14 data)))))
  (setq MCA (cdr (assoc 15 data)))
  (setq NA (float (read (cdr (assoc 16 data)))))
  (setq fc (float (read (cdr (assoc 17 data)))))
  (setq fm (float (read (cdr (assoc 18 data)))))
  (setq fd (float (read (cdr (assoc 19 data)))))
  (setq fco (float (read (cdr (assoc 20 data)))))
  (setq e1 (float (read (cdr (assoc 21 data)))))
  (setq e2 (float (read (cdr (assoc 22 data)))))
  (setq DATA nil)
  (setq _L (- L e1 e2))
)

```

## RUTINAS DE DIBUJO

; Dibuja los montantes

```
(defun draw_m (/ m1 m2 m3 m4 m5)
  (setq bm (list (car _B) (+ (cadr _B) ac)))
  (setq pm (- PER (* 2.0 (+ rc ec))))

  (layer "oculto") ;parte oculta
  (command "pline" bm)
  (command (setq p (polar bm 3mpi (- ac (+ rc ec)))))
  (command (setq p (polar p 0 am)))
  (command (setq p (polar p mpi (- ac (+ rc ec)))))
  (command "") (setq m1 (entlast))

  (command "mirror" m1 "")
  (command (setq p (list (car bm)
                        (+ (cadr bm) (- (/ pm 2.0) (- ac (+ rc ec)))))))
  (command (polar p 0 1))(command "n")(setq m2 (entlast))

  (layer "trazos")
  (command "line" bm) ;extremos
  (command (polar bm mpi (- pm (* 2 (- ac (+ rc ec)))))
  (command "") (setq m3 (entlast))

  (command "copy" m3 "")
  (command (setq p (list (+ (car bm) am) (cadr bm))))
  (command (polar p 0 am))(setq m4 (entlast))

  (layer "ejes")
  (command "line" (setq p (list (+ (car bm) (/ am 2.0))
                                (- (cadr bm) (+ ac (* deje rc)))))
  (command (polar p mpi (+ PER (* deje 2.0 rc)))(command "")(setq m5 (entlast))

  (layer "oculto")
  (command "line" (setq p (list (+ (car bm) em) (- (cadr bm) (- ac (+ rc ec)))))
  (command (polar p mpi pm))(command "")(setq m6 (entlast))
  ;fin del primer montante

  ;repite montantes
  (setq dm (/ (- _L am) n)) ;distancia entre montantes
  (command "array" m1 m2 m3 m4 m5 "") ;dejo la parte del espesor
  (command "R" 1 (fix (+ n 1)) dm)

  ;repite espesores
  (command "array" m6 "")
  (command "R" 1 (fix (+ (/ n 2.0) 1)) dm) ;la primera mitad
  (command "copy" (entlast) "")
  (command bm)
  (command (polar bm 0 (- (+ dm am) (* 2.0 em))) ;distancia del offset
```



```

(command "array" (entlast) "") ; la segunda línea ad
(command "r" 1 (/ r 2.0) den)

); fin de montantes

*****

Dibuje las diagonales

(defun draw_d (/ alf d1 d2 d3 d4 d5 d6)
  (setq alf (c_alfa))
  (setq hd (/ ad (sin alf)))
  (setq vo (- ac rc ec))
  (setq ho (/ vo (/ (sin alf) (sin (- mpi alf)))))
  (setq bd (list (+ (car bm) am dmd ho) (+ (cadr bm) (- pm (* 2 vo)))))
  (setq dde (- dm am dmd dmd hd))
  (setq ddi (- dde ho ho))
  (setq ld (+ (/ pm (sin alf)) (* (cos alf) hd)))
  (setq nd n)

  (layer "oculto")
  (command "pline" bd)
  (command (setq p (list (- (car bd) ho) (+ (cadr bd) vo))))
  (command (setq p (polar p 0 hd)))
  (command (setq p (list (+ (car p) ho) (- (cadr p) vo))))
  (command "")(setq d1 (entlast))

  (command "mirror" d1 "")
  (command (setq p (polar bd 0 (+ (/ hd 2.0) (/ ddi 2.0)))))
  (command (polar p mpi 1))(command "n")(setq d2 (entlast))

  (command "mirror" d2 "")
  (command (setq p (list (car bd) (- (cadr bd) (/ (- pm (* 2.0 vo)) 2.0)))))
  (command (polar p 0 1))(command "y")(setq d2 (entlast))

  (layer "trazos")
  (command "line" bd)
  (command (list (+ (car bd) ddi) (- (cadr bd) (- pm (* 2.0 vo)))))
  (command "")(setq d3 (entlast))

  (command "copy" d3 "")(command bd)
  (command (polar bd 0 hd))(setq d4 (entlast))

  (layer "oculto")
  (command "line" (setq p (list (- (car bd) (- ho (/ (- ad ed) (sin alf))))
    (+ (cadr bd) vo))))
  (command (list (+ (car p) dde) (- (cadr p) pm)))
  (command "")(setq d5 (entlast))

  (layer "ejes")
  (command "line" (setq p (list (- (car bd) (- ho (/ hd 2.0))
    (/ (+ rc ec (* deje rc)) (/ (sin alf) (sin (- mpi alf)))))
    (+ (cadr bd) vo (* deje rc) rc ec))))

```

```
(command (polar p (- 0 0) (/ (+ per (* 2.0 deje rc)) (sin al0))) (setq d3 (entlast))
(command ""))
```

repite diagonales

```
(command "array" d1 d2 d3 (d4 d5 d6 ""))
(command "r" 1 (fix (/ n 2.0)) dm)
(command "mirror" d1 (sets d1 "") ;sets selec. objetos despues de d1 en BD
(command (setq p (list (+ (car _B)/_L 2.0))(cadr _B)))
(command (polar p mpi 1))(command "n")
)
```

\*\*\*\*\*

; Dibuja las cuerdas

```
(defun draw_c (/ c1 c2)
  (setq bc _B)
  (layer "trazos")
  (command "pline" bc)
  (command (setq p (polar bc 0 _L)))
  (command (setq p (polar p mpi ac)))
  (command (setq p (polar p pi _L)))
  (command "close") (setq c1 (entlast))

  (layer "oculto")
  (command "line" (setq p (list (car bc) (+ (cadr bc) ec))))
  (command (polar p 0 _L))
  (command "")(setq c2 (entlast))

  (command "mirror" c1 c2 "")
  (command (setq p (list (car bc) (+ (cadr bc) (/ PER 2.0))))
  (command (polar p 0 1))
  (command "n")
)
```

\*\*\*\*\*

; Dibuja las cotas

```
(defun draw_co ()
  (setq hco (- per ac ac mco mco))
  (setq bco (list (- (car _B) mco) (+ (cadr _B) ac mco)))

  (layer "trazos")
  (command "pline" bco)
  (command (setq p (polar bco 0 aco)))
  (command (setq p (polar p mpi hco)))
  (command (setq p (polar p pi aco)))
  (command "close") (setq co1 (entlast))

  (command "line")
  (command (setq p (polar bco 0 eco)))
  (command (polar p mpi hco))
)
```

```

(command "" ) (setq po2 (entlast))

(command "mirror" c01 c02 "")
(command (setq p (polar _0 0 (/ _L 2.0))))
(command (polar p mpi 1))
(command "n")

```

```

;*****
; Dibuja las cotas en perfil de armadura

```

```

(defun draw_cot()
(layer "cotas")
(command "dim" )

(command "horiz")
(command (list (- (car _B) e1) (+ (cadr _B) PER)))
(command (list (car _B) (+ (cadr _B) PER)))
(command (list (car _B) (+ (cadr _B) PER (* 3 (/ PER 4.0)))))
(command "" ) ;text default

(command "cont")
(command (list (+ (car _B) _L) (+ (cadr _B) PER)))
(command "" )

(command "cont")
(command (list (+ (car _B) _L e2) (+ (cadr _B) PER)))
(command "" )

(command "exit")
(setq p (list (+ (car _B) _L e1 e2) (+ (cadr _B) PER (* 4 (/ PER 4.0)))))
(command "text" p "" 0 (strcat " %%u (" (rtos(+ _L e1 e2) 2 0) " ")
(command "dim" ))

(command "horiz")
(setq p (list (car _B) (+ (cadr _B) PER)))
(command p)
(command (polar p 0 (/ am 2.0)))
(command (polar p mpi (* 1 (/ PER 4.0)))
(command "" ); text default

(command "cont")
(command (polar p 0 (- _L (/ am 2.0)))
(command (strcat (rtos n 2 0) " espacios @ "(rtos dm 2 0) " = "(rtos(- _L am)2 0)))

(command "cont")
(command (polar p 0 _L))
(command "" );text default

;cotas en seccion de armadura
(command "vert")

```

```
(command (setq boot (list (+ (car _B) _L (/ dm 2.0) ac ac) (cadr _B))))
(command (polar boot mpi PER))
(command (polar boot 0 (* 1.5 PER)))
(command "")
```

```
(command "vert")
(command (polar boot mpi (+ ec rc)))
(command (polar boot mpi (+ ec rc (pi))))
(command (polar boot 0 PER))
(command "")
```

```
(command "vert")
(command (setq p (list (+ (car boot) (- ac ec)) (+ (cadr boot) ac mco))))
(command (setq p (polar p mpi (- PER ac ac mco))))
(command (polar p 0 (/ PER 2.0)))
(command "")
```

..cotas en conexión

```
(command "vert")
(command _B (list (car _B) (+ (cadr _B) ec rc)))
(command (list (- (car _B) (* 3.0 ac)) (cadr _B)))
(command "")
```

```
(command "VERT")
(command (setq p (list (car _B) (- (+ (cadr _B) PER) ec rc))))
(command (polar p mpi (+ ec rc)))
(command (list (- (car _B) (* 3.0 ac)) (cadr _B)))
(command "")
```

```
(command "vert")
(command (setq p (list (car _B) (- (+ (cadr _B) PER) ac mco))))
(command (polar p mpi mco))
(command (list (- (car _B) (* 6.0 ac)) (cadr _B)))
(command "")
```

```
(command "exit")
```

)

..\*\*\*\*\*

; Dibuja la seccion de la armadura

```
(defun draw_s0
  (setq bs (list (+ (car _B) _L (/ dm 2.0)) (cadr _B)))
  (layer "trazos") ;montante
  (command "pline")
  (command (setq p (list (+ (car bs) ec) (+ (cadr bs) rc ec))))
  (command (setq p (polar p 0 am)))
  (command (setq p (polar p mpi pm)))
  (command (setq p (polar p pi am)))
  (command "close") (setq s1 (entlast))
  (layer "oculto")
```

```

(command "line")
(command (setq p (list (+ (car bs) ec em) (+ (cadr bs) rc ec))))
(command (setq p (polar p mpi pm))) (command "")(setq s2 (entlast))

;cuerdas
(layer "trazos")
(command "pline") ;cuerdas 1/2
(command (polar bs 0 ac))
(command bs)
(command (polar bs mpi ac)) (command "")(setq s3 (entlast))

(command "pline") ;cuerdas 2/2
(command (setq p (polar bs 0 ac)))
(command (setq p (polar p mpi ec)))
(command (setq p (polar p pi (- ac ec))))
(command (setq p (polar p mpi (- ac ec))))
(command (setq p (polar p pi ec)))
(command "" (setq s4 (entlast))

(command "fillet" "r" rc)
(command "fillet" "P" s4)

(command "mirror" s3 s4 "")
(command (setq p (polar bs mpi (/ PER 2.0))))
(command (polar p 0 1))
(command "n")

;la conexion
(layer "trazos")
(command "pline")
(command (setq p (list (+ (car bs) ec) (+ (cadr bs) mco ac))))
(command (setq p (polar p mpi (- PER ac ac mco mco))))
(command (setq p (polar p pi ac)))
(command (setq p (polar p 3mpi (/ PER ac ac mco mco))))
(command "close")(setq s5 (entlast))

(layer "oculto")
(command "line"(setq p (list (+ (car bs) (- ec eco)) (+ (cadr bs) mco ac))))
(command (polar p mpi (- PER ac ac mco mco)))
(command "")(setq s6 (entlast))

(command "mirror" s1 (sels s1) "")
(command (setq p (polar bs 0 ac)));supone las cuerdas pegadas
(command (polar p mpi 1))
(command "n")

;letreros en datos
(layer "datos")
(command "COLOR" "BLUE")
(command "text" (list 16900 50) 75 0 (strcat "MC" (GETVAR "DWGNAME")))
(command "color" "bylayer")
(command "text" (list 8450 8600) 200 0 (strcat "%uARMADURA " MCA))
)

```

```
*****
```

```
; Rutinas Auxiliares
```

```
*****
```

```
; Define el layer activo
```

```
(defun layer (nom)  
  (command "LAYER" "MAKE" nom ""))  
)
```

```
*****
```

```
; Valores numéricos y funciones comunes
```

```
(defun ctes ()  
  (setq mpi (/ pi 2.0))  
  (setq 3mpi (* 3.0 mpi))  
)  
(defun cos (value) (sin (- mpi value)))  
(defun tan (value) (/ (sin value) (cos value)))
```

```
*****
```

```
; Ecuacion que define el angulo de inclinacion de las diagonales
```

```
(defun alfa (x) (- C (/ ad (sin x)) (/ pm (/ (sin x) (sin (- mpi x))))))
```

```
*****
```

```
; Solucion de la ecuacion anterior por el Método de Bisección
```

```
(defun c_alfa (/ a b C v tol)  
  (print "...resolviendo ecuacion")  
  (setq tol 0.0001)  
  (setq C (- dm am (* 2 dmd)))  
  (setq a 0.017 ;1 GRADO  
        b 1.48 ;85 GRADOS (rango de solucion))  
  (setq v (/ (+ a b) 2.0))  
  (while (> (abs (alfa v)) tol)  
    (print "inside loop")  
    (if (> (* (alfa v) (alfa a)) 0)  
      (setq a v)  
      (setq b v)  
    )  
    (setq v (/ (+ a b) 2.0))  
  )  
  (print "ec. solucionada")  
  v ;es la raíz  
)
```

```
*****
```

```
; Selecciona las entidades que están a partir de "ent" en la base de datos
```

```
(defun sels (ent / c)  
  (setq c (ssadd))  
  (while (setq ent (entnext ent))  
    (setq c (ssadd ent c))  
  )  
  c
```

; Copia los elementos dentro de un círculo que el usuario defina para  
; amplificarlos y así hacer un detalle de alguna parte del dibujo

```
(defun detalle(/ ent p1 r)
  (setvar "cmdecho" 0)
  (setvar "blipmode" 0)
  (setq p1 (getpoint "centro del círculo "))
  (command "circle" p1)
  (prompt "Defina su radio")(terpri)
  (command pause)
  (setq ent (entlast))
  (setq r (cdr (assoc 40 (entget ent))))
  (prompt "Posicion del detalle")(terpri)
  (command "copy" ent "")
  (command p1 pause)(setq ent (entlast))
  (command "copy" "C" (list (- (car p1) r) (- (cadr p1) r))
    (list (+ (car p1) r) (+ (cadr p1) r)) "")
  (command p1 (cdr (assoc 10 (entget ent))))
  (trim ent 100)
  (setvar "cmdecho" 1)
  (setvar "blipmode" 1)
)
```

; Elimina la parte exterior de las entidades dentro del círculo

```
(defun trim( limite loops / tipo centro radio inc x y)
  (setq 2pi (* 2.0 pi))
  (setq tipo (cdr (assoc 0 (entget limite))))
  (if (equal tipo "CIRCLE")
    (progn
      (setq centro (cdr (assoc 10 (entget limite))))
      (setq cx (car centro) cy (cadr centro))
      (setq radio (cdr (assoc 40 (entget limite))))
      (setq radio (+ radio (/ radio 10)))
      (setq alf 0 inc (/ 2pi loops))
      (command "trim" limite "")
      (while (<= alf 2pi)
        (setq x (+ cx (* radio (cos alf))))
        (setq y (+ cy (* radio (sin alf))))
        (command (list x y))
        (setq alf (+ alf inc)))
      )
      (command "")
    )
    (print "...frontera no válida")
  )
)
```

```
)
(defun tipo (blk)
  (cdr (assoc 0 (eniget blk))))
)
```

## ROUTINAS PARA LA TABLA DE MATERIALES

;supone las sigs. variables globales

```
; _L
; fc, fm, fd, fco factores de carga.
; ld, pm longitudes de iso elementos
```

```
(defun draw_tabla (/ enca Lx txth DRy Ptori datos)
  (setq enca (list " MARCA" "CANT" " MARCA" "CANT" "C.TOT" " DIMENSIONES"
    " kg/m" " kg/pza." " TOI AL"))
  (setq Lx (list 1153 345 1145 845 845 2945 1145 1145 1345))
  (setq txth 100)
  (setq DRy 200)
  (setq FLo 0.001);factor de long (mm=0.001) (m=1) En base a las unid. de long.
  (setq Ptori (polar '(11395 1000) pi (apply '+ Lx)))
  (setq datos nil)
  (setq datos (cons(list MCA (fix NA) " CS" 2 0 ac ac ec _L fc 0 0)datos))
  (setq datos (cons(list " " (fix NA) " CI" 2 0 ac ac ec _L fc 0 0)datos))
  (setq datos (cons(list " " (fix NA) " M1" (fix*(1+n)2.0) 0 am am em pm fm 0 0)datos))
  (setq datos (cons(list " " (fix NA) " D1" (fix n)0 ad ad ed ld fd 0 0)datos))
  (setq datos (cons(list " " (fix NA) " D2" (fix n)0 ad ad ed ld fd 0 0)datos))
  (setq datos (cons(list " " (fix NA) " CLI" 4 0 aco aco eco hco fco 0 0)datos))
  (setq datos (reverse datos))
  (setq datos (recal datos (length enca) FLo))
  (borra)
  (dib enca Lx txth DRy Ptori datos)
  (princ)
)
```

```
(defun recal (datos cols FLo / datos2 i j dat dat2 d nd ct sct ctot lg fp pu pt)
  (setq i 0 Xsumt 0 datos2 nil lg 0 fp 0)
  (repeat (length datos)
    (setq j 0 dat (nth i datos) dat2 nil)
    (setq nd (- (length dat) cols))
    (repeat (length dat)
      (setq d (nth j dat))
      (cond ((= j 1) (setq ct d))
            ((= j 3) (setq sct d))
            ((= j 4) (setq d (setq ctot (* ct sct))))
            ((= j (+ 5 nd)) (setq lg d))
            ((= j (+ 6 nd)) (setq fp d))
            ((= j (+ 7 nd)) (setq d (setq pu (* lg fp FLo))))
            ((= j (+ 8 nd)) (setq d (setq pt (* ctot pu))))
            )
      (setq dat2 (cons d dat2))
      (setq j (+ j))
    )
  )
)
```



```

(setq dat2 (reverse dat2))
(setq datos2 (cons dat2 datos2))
(setq j (+ 1) Xsumi (+ Xsumi pt))
)
(setq datos2 (reverse datos2))
)

(defun borra (/ del)
  (setvar "cmdecho" 0)
  (setq del (ssget "X" (list (cons 8 "XTABLA-1"))))
  (if del (progn (command "ERASE" del "") (redraw) ))
  (princ)
  (setvar "cmdecho" 1)
)

(defun btd (dat j nd placa / tx ); regresa el texto de dimensiones y long. concat.
  (setq tx "")
  (repeat (1+ nd)
    (setq tx (strcat tx (rtos (nth j dat) 2 0) (if (> nd 0) " X " " ")))
    (setq j (+ j) nd (1- nd))
  )
  (if (and (not (null tx)) (not (null placa)))
    (setq tx (strcat "PL " (substr tx 1 (- (strlen tx) 6))))
    (setq tx (strcat "Ls " tx))
  )
)

(defun iden (marca)
  (or (equal marca " P1")(equal marca " P2")(equal marca " P3")(equal marca " P4")(equal
  marca " P5")
  (equal marca " P6")(equal marca " P7")(equal marca " P8")(equal marca " P9")(equal
  marca " P10")
  )
)

(defun dib (enca Lx txth DRy Ptori datos / sLx n Pt1 Pt2 dy dx Pt11 dat nd
j cl tx sx sx2 placa)
  (setvar "cmdecho" 0)
  (setq lay0 (getvar "CLAYER"))
  (command "LAYER" "M" "XTABLA-1" "")
  (setq sLx 0 n 0)
  (repeat (length Lx) ; Suma de los anchos de cada columna de la tabla
    (setq sLx (+ sLx (nth n Lx)))
    (setq n (+ n))
  )
  (setq Pt1 (list (car Ptori) (+ (cadr Ptori) DRy)))
  (setq Pt2 (list (+ (car Pt1) sLx) (cadr Pt1)))
  (command "LINE" Pt1 Pt2 "")
  (setq n (+ (length datos)))
  (command "ARRAY" "L" "" "R" n 1 DRy)
  (setq Pt1 Ptori)
)

```

```

(setq Pt2 (list (+ (car Pt1) (+ (cadr pt1) (* (1+ (length datos)) DRy))))
(setq n 0)
(repeat (- (length Lx))
  (setq Pt1 (list (+ (car Pt1) (nth n Lx)) (cadr Pt1)))
  (setq Pt2 (list (+ (car Pt2) (nth n Lx)) (cadr Pt2)))
  (setq n (1+ n))
  (command "LINE" Pt1 Pt2 ""))
)

(setq dy (/ (- DRy txth) 2.0)) ;margen inf. del texto en tabla
(setq dx (/ bdx) 3.0) ;margen izq. del texto
(setq Pt1 (list (+ (car Ptori) dx) (+ (cadr Ptori) (* (length datos) DRy) dy)))
(setq Pt11 Pt1 n 0)
(repeat (length enca)
  (command "TEXT" Pt1 txth 0 (nth n enca))
  (setq Pt1 (list (+ (car Pt1) (nth n Lx)) (cadr pt1)))
  (setq n (1+ n))
)
)
(setq n 0)
(repeat (length datos)
  (setq Pt11 (list (- (car Pt11) (- (cadr Pt11) DRy)))
  (setq pt1 pt11)
  (setq dat (nth n datos))
  (setq nd (- (length dat) (length enca))) ; num de dimensiones
  (setq j 0 cl 0) ; numero de dato en dat y num de columna de tabla
  (setq placa (iden (nth 2 dat)))
  (repeat (length enca)
    (cond ( (and (> n 0) (= j 1)) (setq tx "")
      (= j 5) (setq tx (txtd dat j nd placa)) (setq j (+ j nd))
      (= j 10) (setq tx (rtos (nth j dat) 2 2))
      ( (and placa (= j 8)) (setq tx "") ;en caso de placa no va esto
      (= j 9) (setq tx (rtos (nth j dat) 2 2))
      ( (and (/= j 9) (/= j 10) (> j 5))
        (setq tx (rtos (nth j dat) 2 0))
      ( t (setq tx (nth j dat))
    )
  (command "TEXT" Pt1 txth 0 tx)
  (setq Pt1 (list (+ (car Pt1) (nth cl Lx)) (cadr Pt1)))
  (setq j (1+ j) cl (1+ cl))
)
)
)
(setq n (1+ n))
)
(setq n 0 sx 0)
(repeat (- (length Lx) 2) (setq sx (+ sx (nth n Lx))) (setq n (1+ n)))
(setq sx2 (+ (nth (- (length Lx) 2) Lx) (nth (- (length Lx) 1) Lx)))
(setq Pt1 (list (+ (car Ptori) sx) (+ (cadr Ptori) (* (1+ (length datos)) DRy))))
(command "LINE" Pt1 (strcat "@0," (rtos DRy)) (strcat "@" (rtos sx2) ",0") "")
(setq Pt1 (list (+ (car Pt1) dx) (+ (cadr Pt1) dy)))
(command "TEXT" Pt1 txth 0 (strcat "SUMA TOTAL:" (rtos Xsumt 2 0)))
(command "LAYER" "S" lay0 "")
(setvar "cmdecho" 1)
)

```

```
*****  
: Conjunta todas las rutinas para dibujar la armadura  
: *****
```

```
(defun c:arma)  
  (setvar "cmdecho" 0)  
  (vmon)  
  (inserta "arma")  
  (setq_B (getpoint "POSICION DE LA ARMADURA "))  
  (ctes)  
  (datos)  
  (draw_m)  
  (draw_c)  
  (draw_d)  
  (draw_co)  
  (draw_s)  
  (draw_cot)  
  (draw_tabla)  
  (setvar "cmdecho" 1)  
)
```

## BIBLIOGRAFÍA

- A. "Diseño Práctico de Estructuras de Acero", Delfino Rodríguez Peña. Editorial Limusa, 1992.
- B. "Diseño Estructural II ,(Estructuras Metálicas), Fernando Tavera Montiel y Jorge A. Moreno González, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, editado por el Ctro. de Estudios sobre la Cultura Nicolaita, 1986.
- C. "Structural Steel Detailing", AISC , Octubre 1966.
- D. "Conexiones Metálicas", Santiago Flores Leo, Tesis Profesional , I.P.N. 1988 .
- E. "Autolisp Programmer's Reference Manual", Autodesk Inc., 1994