



**UNIVERSIDAD DON VASCO A.C.**

Incorporación No. 8727-15

A la Universidad Nacional Autónoma de México.

Escuela de Ingeniería Civil

**REVISIÓN DE SOLDADURAS DE ESTRUCTURAS METÁLICAS  
EMPLEANDO EL MÉTODO DE LÍQUIDOS PENETRANTES.**

**Tesis**

**Que para obtener el título de**

**Ingeniero Civil**

**Presenta:**

**Jorge Ramírez González**

**Asesor:**

**Ing. Sandra Natalia Parra Macías**

**Uruapan, Michoacán, 14 de Agosto del 2013**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

## **DEDICATORIA**

La presente tesis la dedico a mis queridos Padres Rogelio y Elisa. A mis tíos Raúl y María Luisa y a cada una de las personas que han hecho posible este logro. Les agradezco por brindarme su apoyo incondicionalmente durante todo este tiempo.

## **ÍNDICE**

## **Introducción.**

|                                     |   |
|-------------------------------------|---|
| Antecedentes. . . . .               | 1 |
| Planteamiento del problema. . . . . | 3 |
| Objetivo. . . . .                   | 4 |
| Pregunta de investigación. . . . .  | 5 |
| Justificación. . . . .              | 6 |
| Marco de referencia. . . . .        | 7 |

## **Capítulo 1.- Acero**

|  |    |
|--|----|
| 1.1.- Definición de acero. . . . .                             | 9  |
| 1.2.- Primeros usos del acero. . . . .                         | 10 |
| 1.3.- Aceros estructurales modernos. . . . .                   | 13 |
| 1.4.- Ventajas del acero como material estructural. . . . .    | 18 |
| 1.5.- Relación esfuerzo-deformación del acero. . . . .         | 21 |
| 1.6.- Desventajas del acero como material estructural. . . . . | 24 |

## **Capítulo 2.- Conexiones de estructuras metálicas**

|  |    |
|--|----|
| 2.1.- Concepto de conexión en una estructura metálica. . . . .               | 31 |
| 2.2.- Selección del tipo de conector. . . . .                                | 31 |
| 2.3.- Conexiones atornilladas. . . . .                                       | 36 |
| 2.4.- Conexiones remachadas. . . . .   | 42 |
| 2.5.- Conexiones combinadas. . . . .   | 46 |
| 2.6.- Curvas carga-deformación de los distintos tipos de conexiones. . . . . | 49 |
| 2.7.- Conexiones soldadas. . . . .   | 50 |
| 2.8.- Clasificación de los electrodos usados en la soldadura. . . . .        | 53 |

## **Capítulo 3.- Soldaduras**

|  |    |
|--|----|
| 3.1.- Definición de soldadura. . . . .       | 57 |
| 3.2.- Antecedentes. . . . .                  | 57 |
| 3.3.- Ventajas de la soldadura. . . . .      | 59 |
| 3.4.- Símbolos básicos de soldadura. . . . . | 60 |
| 3.5.- Soldadura por aleación. . . . .        | 61 |
| 3.6.- Soldadura por fusión. . . . .          | 62 |

|   |    |
|---|----|
| 3.7- Metal de aportación. . . . .                                     | 66 |
| 3.8.- Inspección visual. . . . .                                      | 68 |
| 3.9.- Líquidos penetrantes. . . . .                                   | 71 |
| 3.10.1.- Líquidos penetrantes con base oleosa y no oleosa. . . . .    | 75 |
| 3.10.2.- Ventajas y limitaciones de los Líquidos Penetrantes. . . . . | 76 |
| 3.10.3.- Técnica y procedimiento de aplicación. . . . .               | 77 |
| 3.10.4.- Reporte de líquidos penetrantes. . . . .                     | 82 |
| 3.11.- Partículas magnéticas. . . . .                                 | 84 |
| 3.12.- Identificación de fallas en soldaduras. . . . .                | 84 |

## **Capítulo 4.- Resumen de macro y micro localización.**

|   |    |
|---|----|
| 4.1.- Generalidades de las estructuras a las que se aplicara el estudio. . . . .                    | 86 |
| 4.2.- Regiones climáticas de México. . . . .  | 87 |
| 4.2.1.- Uso del acero como material estructural en obras de gran<br>importancia en el país. . . . . | 91 |
| 4.2.2.- Uso del acero en estructuras a menor escala.. . . .   | 93 |
| 4.3.- Estado actual de los elementos despues del procedimiento de soldado. . . . .                  | 94 |

|   |    |
|---|----|
| 4.4.-Alternativas de métodos de inspección a soldaduras. . . . .                                      | 96 |
| 4.5.- Alternativa escogida de los diferentes tipos de inspección<br>de soldaduras existentes. . . . . | 97 |

**Capítulo 5.- Metodología de la investigación.**

|  |     |
|--|-----|
| 5.1.- Método empleado. . . . .                             | 98  |
| 5.2.- Enfoque de la investigación. . . . .                 | 99  |
| 5.2.1.- Alcance de la investigación. . . . .               | 102 |
| 5.2.2.- Diseño de la investigación. . . . .                | 103 |
| 5.3.- Instrumentos de recopilación de información. . . . . | 104 |
| 5.4.- Descripción del proceso de investigación. . . . .    | 105 |

**Capítulo 6.- Análisis e interpretación de los resultados.**

|   |     |
|---|-----|
| 6.1.- Reporte de visita a la obra. . . . .  | 107 |
| 6.2.- Verificación del procedimiento para la revisión de soldaduras<br>y características de productos utilizados. . . . . | 109 |
| 6.3.- Prueba de Líquidos Penetrantes realizada en campo. . . . .  | 112 |





# INTRODUCCIÓN

## **Antecedentes.**

Una parte muy importante dentro de las tareas que desempeña el Ingeniero Civil es la del control de calidad de la soldadura, en este caso en particular será la revisión de soldaduras en proyectos de estructuras metálicas, en las cuales se debe garantizar que el procedimiento y resultado obtenido del trabajo que se realiza cumpla con las normativas requeridas de este proceso que es indispensable.

La necesidad de emplear acero como material estructural fue creciendo a la par de la creación de estructuras de mayor tamaño y por lo tanto más ligeras que soporten de manera correcta los esfuerzos a los que será sometida la estructura durante su vida de uso. Por otro lado, la relevante importancia de la elección del tipo de conector adecuado para los elementos estructurales.

La soldadura elegida como conector en este estudio, mediante las pruebas a las que ha sido sometida, ha resultado garantizar que los elementos que formaran la estructura trabajan de la manera en que se contemplo en el proyecto, por esta razón es de vital importancia contar con un control de calidad adecuado y requerido para los estándares establecidos en las normas de construcción.

Se encontraron investigaciones realizadas previamente acerca de este tema, en la página web con que cuenta de la Universidad Nacional Autónoma de México, se mencionan las siguientes como más afines a este trabajo que se realizará: Juan

Carlos Ramírez Montiel, en su tesis, “La soldadura en la construcción civil”, tuvo como objetivo mencionar la importancia que tiene la soldadura dentro de las actividades de la Ingeniería Civil, que es tan indispensable como todos los procedimientos que se realizan dentro de la construcción.

Así mismo, Juan Carlos Vásquez Salazar, en su tesis llamada “Ensayes no destructivos en estructuras metálicas soldadas”, en donde se presentaron estudios de las pruebas a las que puede ser sometida la soldadura para verificar su correcta aplicación, sin alterar las características tanto internas como externas del cordón de soldadura.

## **Planteamiento del problema.**

Teniendo en cuenta que la soldadura es el elemento principal de este estudio, ya que es el medio por el cual se unen los elementos de acero que se encargarán de transmitir las cargas que actuarán en la estructura desde el techo hasta el suelo. Al no contar con un procedimiento adecuado de soldadura y posteriormente su revisión, se pone altamente en riesgo la estabilidad de la estructura misma, las personas que lo habiten y las estructuras construidas a sus alrededores.

Para llevar esto a cabo esta investigación se apoyará en la capacidad del Ingeniero Civil para aplicar un criterio que garantice que las piezas sometidas al proceso de soldado cumplan los estándares de calidad requeridos que se establecen los reglamentos de construcción, bajo los cuales se basan para la creación de estructuras seguras.

Junto con la experiencia con que cuente el Ingeniero Civil, será de vital importancia contar con un estudio que pueda ser realizado tanto el lugar de la obra, como en el taller de metalurgia. Se podrá comprobar mediante una prueba END (Ensayo No Destructivo) en este caso se usará el de Líquidos Penetrantes, prueba con la cual se puede verificar la calidad, homogeneidad y continuidad del condón de soldadura sin tener que destruirlo y sin afectar las propiedades permanentes de la conexión.

## **Objetivo.**

Objetivo general:

Revisar el proceso de soldadura en estructuras metálicas apoyándose en los Ensayes No Destructivos (END) Líquidos Penetrantes, el cual facilita la identificación de grietas, poros, discontinuidades y otras anomalías. Este método de inspección facilita la revisión de la soldadura, identificando defectos y previniendo al Ingeniero Civil encargado de la obra para que se pueda dar corrección al problema encontrado a tiempo.

Objetivos particulares.

- ✓ Conocer y mencionar las propiedades características del acero que se utiliza en la rama de la construcción Civil.
- ✓ Identificar las ventajas y desventajas de los elementos estructurales de acero.
- ✓ Basado en el conocimiento del comportamiento del acero y teniéndose en cuenta las condiciones a las que será sometido, elegir el tipo de acero que cumpla con las necesidades que se requieren.
- ✓ Mencionar los elementos que intervienen en las conexiones soldadas de elementos estructurales.
- ✓ Definir el concepto de soldadura
- ✓ Identificar las ventajas de la soldadura.
- ✓ Elegir el método por el cual se efectuará la inspección de la soldadura realizada en los elementos estructurales.

## **Pregunta de investigación.**

Debido a que el proceso de soldadura de una estructura metálica es de vital importancia para su correcto funcionamiento cuando sea sometida a las cargas para las que fue diseñada, debe tenerse especial cuidado al momento en que se realiza la conexión de los elementos que transmitirán las cargas a lo largo de la estructura hasta su base.

Por lo anterior, en el presente estudio que se realizará se busca crear una referencia de los pasos a seguir para hacer una correcta inspección en obra de los elementos soldados, mediante una cuidadosa inspección visual y realizando una prueba de Líquidos Penetrantes, que revelara si la sección a la que fue sometida la prueba cuenta o no con deficiencias en su calidad.

Ya que la soldadura formará parte esencial de la futura estructura, tiene que cumplir con las normas de construcción establecidas en los reglamentos y los estándares de calidad necesarios. Para asegurar su calidad deben aplicarse procedimientos de control tanto visual como el mencionado anteriormente, para tener la certeza que el material de aportación que unirá las piezas se encuentre en optimas condiciones, por lo que deberá considerarse si ¿El método de inspección de Líquidos Penetrantes es adecuado para la revisión de soldaduras en el campo de la Ingeniería Civil?

## **Justificación.**

En la presente investigación se estudiarán las soldaduras realizadas en estructuras metálicas con el fin de revelar si el procedimiento realizado tiene las características adecuadas para trabajar en armonía con los elementos estructurales, evitando que la soldadura presente anomalías como son discontinuidades.

El estudio que se realizará es la evaluación del procedimiento de soldado en los elementos primarios, ya que el problema que se presenta en este proceso es que puedan encontrarse defectos en la estructura de la soldadura que pueden ser oquedades, alineamiento del cordón de soldadura respecto a las piezas que serán unidas, debido a que es de vital importancia que la conexión se realice de manera adecuada se tiene que tener la supervisión del proceso antes, durante y la finalización de la etapa de soldadura.

La importancia de este trabajo radica en el control de la calidad de la soldadura que para efectos de esta investigación se realiza apoyándose en los Líquidos Penetrantes, este método será una herramienta de vital importancia para cerciorarse de que no existen discontinuidades y fallas que pongan en riesgo la integridad de la estructura de la que forma parte el elemento que se esté ensayando.

## **Marco de referencia.**

Tomando en cuenta que los procesos de inspección de soldaduras de estructuras metálicas se llevan a cabo en las distintas regiones que comprende el territorio de la República Mexicana, se deberán conocer las regiones climáticas en cada uno de los estados del país para así poder tener en cuenta las consideraciones necesarias para poder tomar decisiones correctas en cuanto a las medidas de seguridad que se deberán tomar para la protección de los elementos estructurales de acero.

La ciudad de Uruapan donde se realizaron las pruebas de Líquidos Penetrantes y las fotografías presentadas, es perteneciente al estado de Michoacán de Ocampo, se localiza al oeste del estado a una altura de 1620 metros sobre el nivel del mar y cuenta con una superficie de 954.17 km<sup>2</sup>. Su relieve lo conforman principalmente los cerros de la Charanda, la Cruz y Jicalán. En cuanto a su hidrografía respecta, el principal afluente de la localidad es el río conocido como Cupatitzio y las presas Caltzontzin, Salto Escondido, Cupatitzio y la Tzaráracua. El clima que predomina en esta región es templado y tropical con lluvias en el verano, con una temperatura que suele oscilar entre los 8.0 hasta los 37.5 grados centígrados.

Para el estudio que se lleva a cabo se recurrirá a la visita de dos obras en construcción, la primera ubicada en la calle Morelos. En esta obra se realiza una edificación de tres niveles en la cual se utilizaron perfiles de acero tipo IPR para crear la estructura del edificio. La segunda obra que se visitara está ubicada en el

Fraccionamiento Las Lomas, en esta obra se efectuara la prueba de Líquidos Penetrantes a la estructura que formara la escalera de uno de los edificios departamentales.

Otros aspectos que deberán considerarse serán la evaluación de costos entre la elección de los materiales convencionales de construcción como lo es el concreto reforzado y evaluar si la implementación de elementos estructurales de acero resulta ser una opción factible. Tales como la disponibilidad en el lugar y los costos de acarreo hasta la obra.



# CAPÍTULO 1

## PROPIEDADES DEL ACERO ESTRUCTURAL

En este capítulo se abordarán los primeros usos del acero, los aceros estructurales modernos y sus ventajas como material estructural. Así como también se estudiará la relación esfuerzo-deformación del acero y gracias a la precisión de estos datos contar con gran exactitud de los cálculos y sin dejar a un lado se mencionarán las desventajas del acero como material estructural.

### 1.1.- Definición de acero.

De acuerdo con McCormac (2003) el acero es una aleación que está compuesta principalmente por un 98% de hierro y otras pequeñas cantidades de minerales como el carbono, silicio, manganeso, azufre y fósforo entre otros elementos. Aunque la producción de acero se ha realizado desde hace aproximadamente 2000 a 3000 años, no se tenía un procedimiento rentable para crear este material sino hasta la primera mitad del siglo XIX.

## **1.2.- Primeros usos del acero.**

En la actualidad el acero y el hierro llegan al 95% del total de los metales producidos alrededor del mundo, mediante el empleo del hierro la humanidad ha logrado grandes avances desde tiempos remotos y seguramente seguirá presente en nuestras estructuras por un extenso lapso de tiempo.

A pesar de los esfuerzos de los investigadores por cifrar una fecha exacta de cuando comenzó a utilizarse el hierro por primera vez, arqueólogos que realizaron excavaciones en la Gran Pirámide de Egipto encontraron una daga y un brazalete de los cuales afirman que tienen una edad de por lo menos 5000 años, lo cual indica que desde hace siglos y hasta el futuro el hierro continuará teniendo un papel muy importante en el desarrollo de las civilizaciones.

Desde el momento en que el hombre pudo manipular el hierro alrededor del año 1000 a.C, se le dio el uso como material para fines bélicos, dependiendo también de éste para el avance de las grandes civilizaciones. Como en muchas de las guerras que se han librado el hierro ha tenido un papel de suma importancia como es el caso de la batalla que se dio en Maratón en Grecia, cerca del año 490 a.C en donde los Atenienses que eran inferiores en número de guerreros dieron muerte a 6400 Persas y reportaron tan sólo un saldo de 192 soldados muertos, esto gracias a la armadura de hierro que vistieron durante la batalla, esta lucha puso a salvo la civilización Griega por muchos años.

Según explica la teoría clásica acerca de la primera producción de hierro en la historia del hombre, fue en la antigua Troya (territorio donde actualmente se

encuentra Turquía cerca del mar Egeo) en el Monte Ida, se produjo un gran incendio forestal, en el terreno que ardía en llamas había una gran cantidad de minerales ferrosos que al elevar su temperatura se comenzaron a fundir, a este material fundido se le podía transformar en diversos objetos al golpearlo e irlo moldeando de la forma deseada.

Mientras tanto, como indica McCormac (2003), otra parte de la comunidad científica cree que el hombre en un primer momento aprendió a usar el hierro que vino a la tierra en meteoritos, con frecuencia acompañado de níquel y otros elementos que lo hacían más resistente y posiblemente lo pudieron usar como algún tipo de herramientas primitivas y armas que usaron para cazar su alimento.

Muy probablemente el acero que se comenzó a fabricar fue cuando por accidente se mezclaron los elementos faltantes cuando se calentaba el hierro. Con el paso de los años la superficie del mineral de hierro en contacto con el suelo absorbió algo de carbono vegetal que luego se martilló en el hierro cuando se fue calentando gradualmente. Al tiempo de ir repitiendo este proceso de martillado y calentado se llegó a formar una capa exterior con mayor dureza en el acero. De tal forma se produjeron espadas con mayor resistencia como las de Toledo y Damasco.

Al primer proceso para producir acero en grandes cantidades se le dio el nombre de su inventor Sir Henry Bessemer en el año de 1855, el proceso Bessemer redujo los gastos de producción del acero hasta en un 80% y permitió comenzar a producir acero en grandes cantidades por primera vez. Antes de que el proceso Bessemer comenzara a utilizarse, el acero era una aleación costosa que se utilizaba

para fabricar principalmente cuchillos, tenedores, cucharas y algunos tipos de herramientas utilizadas en maquinaria de corte. Mediante el continuo estudio y experimentación del proceso Bessemer se percataron que al inducir una corriente de aire a través del hierro fundido, éste quemaba las impurezas presentes en la mezcla, pero también eliminaba otros elementos importantes de la aleación como el carbono y el manganeso, también aprendieron que al añadir piedra caliza en el alto horno podían remover el fósforo y gran parte del manganeso. Gracias a este método se pudo producir acero estructural al carbón el año de 1870 y 20 años después el acero se convirtió en el principal metal estructural usado en los Estados Unidos.

El autor antes mencionado indica que el acero utilizado para una estructura considerable se dio en Shropshire, Inglaterra, en 1799 y se utilizó en la construcción del puente Coalbrookdale, en forma de arco con 100 pies de largo sobre el río Severn. Se considera que esta construcción fue un avance importante en la historia de la Ingeniería ya que cambió el curso de la Revolución Industrial al introducir el acero como material estructural. Hoy en día aproximadamente el 80% del acero estructural producido en los Estados Unidos se hace fundiendo chatarra que proviene principalmente de automóviles viejos que se funden en hornos eléctricos, posteriormente el acero se vierte en moldes que tienen aproximadamente la forma final de los miembros.

### **1.3.- Aceros estructurales modernos.**

El acero estructural que se utiliza hoy en día, puede modificar sus cualidades variando las cantidades del carbono que es uno de los elementos más importantes en esta mezcla. Cuando se le añaden cantidades mayores de elementos como silicio, níquel, manganeso y cobre el resultado toma el nombre de acero aleado. Tomando en cuenta que las cantidades de estos elementos son pequeñas tienen un gran efecto en sus propiedades, en el acero el carbono se presenta en cantidades desde 0.2% al 0.3% del peso.

Las propiedades del acero tales como la resistencia a la corrosión, la soldabilidad y su resistencia a la fractura dependen del cuidado de la composición química en el proceso de su fabricación como lo menciona McCormac (2003).

Las investigaciones realizadas en la industria acerera ha producido aceros cada vez más resistentes que satisfacen a las diferentes necesidades de la industria de la construcción, de manera que la ASTM (Asociación Americana para Pruebas y Materiales) agrupa los aceros estructurales de la siguiente manera: aceros de uso general (A36), aceros estructurales al carbono (A529), los aceros estructurales de alta resistencia y baja aleación (A527), aceros estructurales de alta resistencia, baja aleación y resistencia a la corrosión atmosférica (A242 y 588) y las placas de aceros templados y revenidos (A514 y A852), a continuación se harán algunas observaciones respecto a la clasificación de aceros que se realizó, basada en las aportaciones de McCormac (2003).

**Los aceros al carbono:** tienen como elementos principales de resistencia el carbono y el manganeso en cantidades estrictamente dosificadas, y contienen los siguientes elementos de la siguiente manera en cantidades máximas, 1.7% de carbono, 1.65% de manganeso, 0.60% de silicio y 0.60% de cobre.

Los aceros al carbono se pueden subdividir en cuatro categorías según el contenido de carbono, aceros con bajo carbono en el que el contenido de este elemento es menor a 0.15%, aceros dulces en los que el porcentaje de carbono varía desde 0.15 a 0.29%, aceros al medio carbón donde con el contenido de carbono es de entre el 0.30 y 0.59% y, por último, el acero al alto carbono donde el porcentaje máximo de carbono será del 1.7%.

**Aceros de alta resistencia y baja aleación:** esa mezcla aparte de contener el carbono y el manganeso se le adiciona elementos como columbio, vanadio, cromo, silicio, cobre, níquel y otros elementos, generalmente este tipo de aceros cuenta una mayor resistencia a corrosión atmosférica que los aceros al carbono. El concepto de baja aleación es la denominación del acero que se usa para indicar que los elementos agregados no exceden el 5% de de su peso total.

**Aceros de alta resistencia, baja aleación y resistencia a la corrosión atmosférica:** al agregar a la mezcla de acero pequeñas cantidades de cobre se obtendrá acero con mayor resistencia a la corrosión atmosférica que al momento de su exposición a la intemperie estos aceros en su superficie forma una película que se conoce como patina e impide una mayor oxidación y así reduce la necesidad de pintarlos, en un periodo aproximadamente de 18 meses el acero cambia de un color

que va de rojo a café oscuro y negro dependiendo del tipo de exposición se tenga en los elementos como pueden ser: industrial, luz solar directa o indirecta etc.

Este tipo de acero se utilizó por primera vez en el año de 1933 por U.S Steel Corporation para vagones de ferrocarriles. Se utilizan regularmente en elementos expuestos como puentes, torres de transmisiones de radio, etc. Sin embargo, no es adecuado su uso en lugares donde los niveles de salinidad sean altos como lo es cerca de la costa, niebla, humos industriales altamente corrosivos, tampoco es adecuado para estructuras sumergidas o áreas muy secas.

Como es común en todos los procesos de producción del acero, cuanto más específica sea su elaboración y más elevado sea su límite de fluencia mayor es el costo de los perfiles que se quieran adquirir. Una forma en la que se puede disminuir el costo en la adquisición de perfiles estructurales de acero, es empleando un sistema estructural híbrido, el cual consiste en usar dos o tres tipos de acero con diferentes límites de fluencia, empleando aceros de menor resistencia donde los esfuerzos son menores y en consecuencia los de mayor resistencia donde los esfuerzos son más grandes.

Otras causas que influyen en el uso de aceros con una alta resistencia son:

- ✓ La alta resistencia a la corrosión
- ✓ La posibilidad en el ahorro por el transporte y en las dimensiones de la cimentación debido a su menor peso.
- ✓ El empleo de vigas con menor peralte que permite reducir el peso de los entrepisos.

El primer aspecto que se toma en cuenta al momento de diseñar una estructura de acero es inmediatamente el costo directo que genera la adquisición de los elementos estructurales, esta consideración puede hacerse fácilmente respecto a otros materiales, pero cuando se intenta elegir el tipo de acero no es tan sencillo ya que para estos casos influyen factores como el peso, dimensiones, deflexión, costo de mantenimiento y fabricación. Como señala Vinnakota (2006) aunado a estos costos, se anexa el que producen los pedidos en pequeñas cantidades, este es un costo que se le conoce como precio base de laminadora.

Las industrias de laminación de perfiles estructurales de acero requieren que los pedidos sean como mínimo de 5 toneladas para tamaños de secciones con laminado especial, debido a que todos los procesos que se involucran en la fabricación de este tipo de perfiles, a su costo base se agregan los gastos extras de manejo, transporte y utilidad de almacén. El costo base sólo aplica para secciones con dimensiones ordinarias, en caso de requerir secciones más grandes o en su defecto más pequeñas se agrega un costo adicional conocido como cargo por tamaño especial.

Retomando a McCormac (2003) describe los aceros templados y revenidos: en este caso el acero cuenta con una gran cantidad de materiales para su aleación en comparación con los aceros al carbono y en el caso de acero templado y revenido se les aplica un tratamiento térmico para aumentar su grado de dureza y el límite de fluencia. El revenido consiste en bajar rápidamente la temperatura del acero en un corto lapso de tiempo ya sea mediante agua o aceite cambiando la temperatura de



por lo menos 1650°F (898.88°C) a 300-400°F (148.88-204.44°C), por su parte en el templado el acero se recalienta a por lo menos 1150°F (621.11°C).

El acero con este tipo de tratamientos no muestra un límite de fluencia bien definido como lo hacen los aceros al carbono y los aceros de alta resistencia y baja aleación, teniendo en cuenta esto su límite de fluencia se define en función del esfuerzo asociado a una deformación de 0.2%.

En el año de 1819 en Estados Unidos fueron laminados los primeros ángulos de hierro, posteriormente en 1844 se laminaron las primeras vigas de perfil tipo IPR, que se utilizaron en la estructura reticular del edificio Home Insurance Company ubicado en la ciudad de Chicago, que fue montada en ese mismo año, idea que se le otorgo a el Ingeniero William LeBaron, quien tuvo la idea de elaborar la estructura para este edificio cuando los trabajadores entraron en una huelga de trabajo.

Hasta esa fecha las edificaciones más altas del país aún se construían a base de muros de tabique de gran espesor. En los muros perimetrales de este edificio que consta de 10 niveles el Ingeniero utilizó columnas de hierro colado recubiertas con ladrillo. Los primeros 6 pisos se construyeron con vigas de hierro forjado, mientras tanto las vigas de los pisos superiores se fabricaron de acero estructural. En tanto que el título del primer edificio construido totalmente con acero fue el Rand-Mcnally finalizado en el año de 1890 en Chicago.

La torre Eiffel construida en 1889, con una altura de 300.22 m, abrió la puerta a la construcción de miles de edificios altos alrededor de todo el mundo gracias a la instalación de elevadores operados mecánicamente y a su estructura reticular.

Durante los primeros años de la elaboración de perfiles, una gran variedad de empresas comenzaron a elaborar sus propios perfiles laminados y publicaron sus catálogos con todas las especificaciones técnicas de cada sección, como son el peso, dimensiones y otras características utilizadas en el diseño de estructuras de acero. En 1896 la Asociación Americana de Fabricantes de Acero (AASM) que actualmente se conoce como Instituto Americano del Hierro y el Acero (AISI) dio los primeros pasos en tratar de estandarizar los perfiles. Actualmente la mayoría de los perfiles estructurales se encuentran estandarizados en cuanto a su dimensionamiento, aunque pueden variar un poco por el laminado de cada fabricante.

#### **1.4.- Ventajas del acero como material estructural.**

Al observarse el mundo alrededor e identificar la gran cantidad de torres de telecomunicaciones, puentes, edificios y todas las estructuras hechas con acero, como se mencionó el auge de este material en la construcción fue sorprendente, si se tiene en cuenta que no se produjo económicamente en Norteamérica sino hasta finales del siglo XIX .

Por su parte Vinnakota (2006) explica que dentro de las numerosas ventajas con las que cuenta el acero como material estructural dentro de la industria de la construcción, se destacan las cualidades de gran flexibilidad en el diseño de los perfiles, la variedad en los dispositivos de conexiones que se pueden utilizar como son los torillos, sujetadores y las soldaduras.

El acero cuenta con una alta relación por unidad de peso en comparación con los demás materiales que se utilizan en la edificación, lo que repercute directamente en el costo de la estructura. Dentro de las características de diseño con las que cuenta el acero estructural se incluyen la capacidad de salvar grandes claros con tamaños de elementos más esbeltos

McCormac (2003) resalta la versatilidad de este material, el cual es notable al considerar su gran resistencia, facilidad de fabricación, bajo peso y otras cualidades que se mencionarán a continuación:

- a) Alta resistencia: debido a esta cualidad en relación a su bajo peso es de suma importancia para la creación de estructuras livianas que repercute en el costo de la estructura, así como también en la proporción de la sub estructura.
- b) La uniformidad: esta propiedad consiste en suponer que sus características no cambian apreciablemente respecto al tiempo, como lo es el caso del concreto reforzado
- c) Elasticidad: debido a que el comportamiento de este material se asemeja a la Ley de Hooke hasta grandes esfuerzos de trabajo, los cálculos de momento de inercia de los elementos son exactos en comparación con otros materiales.
- d) Durabilidad: si se aplica el mantenimiento adecuado, prácticamente la vida útil de las estructuras construidas con acero es ilimitada, gracias al continuo estudio e innovaciones se ha determinado que bajo ciertas

condiciones no es necesario ningún tipo de mantenimiento basado en pintura.

- e) Ductilidad: es la propiedad del material para que soporte grandes deformaciones antes de que falle bajo altos esfuerzos de tensión, en los miembros estructurales sometidos a cargas axiales puede desarrollar concentraciones de esfuerzo en varios puntos, otra ventaja adicional con la que cuenta el acero es que al crear estructuras dúctiles, que al ser sobrecargadas presenta grandes deflexiones que muestran evidencia de una inminente falla, que permite evacuarlas antes de que se presente la falla.
- f) Tenacidad: se le denomina así a la característica de un elemento de absorber energía en grandes cantidades, lo cual es de gran importancia ya que implica que los miembros de acero pueden someterse a grandes deformaciones durante su formación y proceso de montaje, lo que hace posible doblarlos, ser martillados y cortados sin gran daño aparente. La medición de la tenacidad a la fractura del acero se utiliza como medida general de su resistencia al impacto o de la capacidad con la que cuenta para absorber incrementos repentinos en los esfuerzos. Las diferentes clasificaciones de aceros cuentan con distintos niveles de absorción de energía dependiendo de factores como la temperatura, esfuerzos y condiciones de carga bajo los cuales serán usados.
- g) Ampliación de estructuras: cuentan con una facilidad de adaptación para posibles adiciones después de ser finalizada la estructura.

### 1.5.- Relación esfuerzo deformación del acero.

Para que se pueda entender de manera correcta cómo se comportan las estructuras metálicas es de vital importancia conocer las propiedades del acero, el diagrama donde se muestra la relación entre el esfuerzo y la deformación ofrece la información necesaria para entender el comportamiento del material y para que puedan desarrollarse efectivos métodos de diseño es necesaria la información que brinda el diagrama esfuerzo-deformación.

Por su parte, McCormac (2003) considera que someter una pieza de acero estructural dúctil a una fuerza de tensión se comenzara a alargarse, si el incremento de la fuerza se da de una manera constante, el alargamiento aumentará constantemente hasta cierto límite. Al someter el espécimen al esfuerzo máximo en el que todavía es aceptable la ley de Hooke en el punto más alto de la gráfica esfuerzo deformación, que equivale al punto más alto de la recta del diagrama esfuerzo-deformación al que se le denomina *límite proporcional*, al esfuerzo máximo que puede soportar el material sin presentar deformaciones permanentes se le llama *límite elástico*.

Cuando se presenta un brusco incremento en el alargamiento o deformación sin que incremente el esfuerzo, se denomina esfuerzo de fluencia. Esta propiedad es de suma importancia para los diseñadores ya que los cálculos estructurales se basan en este valor de diseño. Cruzando el valor del límite de fluencia ahí un segmento en el que aumenta la deformación considerablemente sin incremento del esfuerzo. A la deformación presente antes del límite del fluencia se le denomina *límite de*

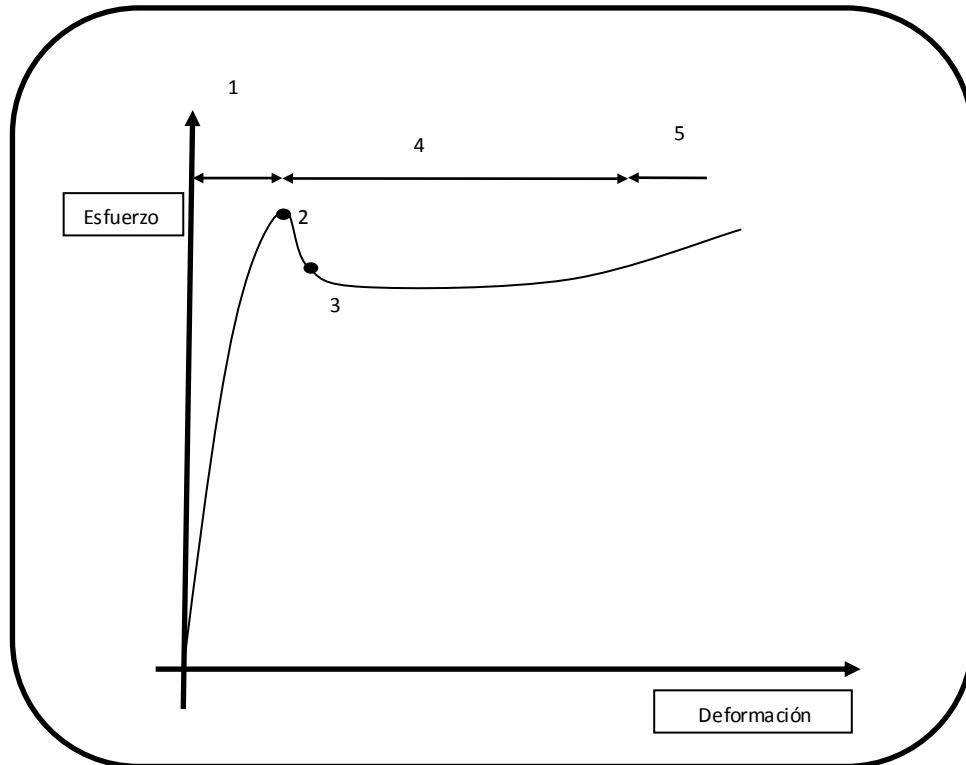
*deformación elástica*, en consecuencia a la deformación que se presenta después del esfuerzo de influencia sin que allá incremento de esfuerzo, se le denomina *deformación plástica* y es generalmente 10 ó 15 veces la magnitud de la *deformación elástica*.

Continuando con el autor antes mencionado el cual considera que las características de fluencia del acero suenan como una desventaja, pero en realidad es algo bastante útil ya que ha evitado la falla de estructuras debido a errores u omisiones por parte de los estructuristas debido a que si el esfuerzo en algún elemento de la estructura de acero dúctil sobrepasará su límite de fluencia, esta parte de la estructura cederá localmente sin que se dé un incremento en el esfuerzo, de esta manera se podrá impedir una falla prematura. Explicando lo anteriormente mencionado de manera más sencilla se puede interpretar que las estructuras de acero contienen una reserva de deformación plástica, lo cual le permite resistir sobrecargas y golpes repentinos. De no ser por esta cualidad las fallas que se puedan presentar llegarían a ser de carácter frágil tal como las que ocurren en el vidrio.

Al término de la región plástica, comienza la región conocida como *endurecimiento por deformación* en la que para producir deformaciones mayores se requieren esfuerzos adicionales, y este segmento del diagrama ya no resulta tan relevante debido a que las deformaciones son muy grandes.

A continuación se mostrará la gráfica esfuerzo-deformación de un acero con bajo contenido de carbono, y es característica de los aceros dúctiles y supone que es

el mismo para miembros sujetos a compresión o a tensión. La forma del diagrama podrá variar dependiendo de la velocidad con la que sea aplicada la carga, el tipo de acero que se esté ensayando y la temperatura a la que se realice la prueba.



Gráfica 1.1.- Diagrama esfuerzo-deformación del acero con bajo contenido de carbono.

Fuente: Propia.

1.- Fluencia elástica. 2.- Punto superior de fluencia. 3.- Punto inferior de fluencia. 4.- Fluencia plástica. 5.- Endurecimiento por deformación.

El límite de fluencia superior se presenta cuando el acero dulce es cargado rápidamente, mientras que el límite de fluencia inferior ocurre cuando la carga se presenta lentamente.

La temperatura juega un papel sumamente importante en el comportamiento de la relación esfuerzo-deformación, los aceros con un alto contenido de carbono pueden incrementar su resistencia un poco al ser calentados alrededor de los 371°C. Cuando la temperatura varía entre 426 y 537°C la resistencia se ve reducida drásticamente. Por otra parte, cuando la temperatura se encuentra por debajo de 0°C, su resistencia se incrementa un poco, pero tendrá reducciones considerables en sus propiedades de ductilidad y tenacidad.

Como cada una de las cualidades antes mencionadas del acero, también cuenta con la característica de que al no ser sobrepasado el límite de fluencia bajo la acción de una carga, el elemento podrá recuperar su longitud original al momento de retirar las cargas que se encuentren actuando sobre el elemento. Si al momento de retirar la carga la estructura no recupera sus dimensiones originales significa que se sobrepasó su límite de fluencia.

#### **1.6.- Desventajas del acero como material estructural.**

Como ya se ha mencionado anteriormente, el acero en la construcción es un material que cuenta con una gran cantidad de cualidades, pero para poderse hacer uso adecuado del acero ya conociendo sus propiedades, es tiempo de mencionar las desventajas como se hará a continuación.

El costo de mantenimiento, como es bien sabido en los metales y en este caso en particular, el acero tiene una gran susceptibilidad a la corrosión al encontrarse



expuestos a los efectos de la intemperie y en consecuencia deben recibir mantenimiento de pintura periódicamente

La protección contra el fuego es un punto de suma importancia, ya que al momento que se comienza a elevar la temperatura de los elementos de acero, su resistencia se ve reducida considerablemente, durante un incendio que es la principal amenaza para este tipo de estructuras. El acero es un material de excelencia para la conducción del calor, de tal manera que si algún elemento no se encuentra protegido puede transferir suficiente cantidad de calor de una sección de la edificación a otra que podría incendiar el material que se encuentre en ese espacio.

Por consiguiente, las estructuras construidas con acero deben tomar medidas de seguridad contra incendios más rigurosas que en otro tipo de edificaciones, estas medidas serán la instalación de aislantes térmicos, o en su defecto crear una instalación hidráulica con rociadores situados de tal manera que protejan los elementos estructurales importantes de la edificación para que cumplan los requisitos de seguridad estipulados en los reglamentos de construcción.

La susceptibilidad al pandeo afecta a los elementos que tienen una geometría larga y esbelta que en situaciones de esfuerzos de compresión tendrá mayor riesgo de pandeo, y como el acero posee una alta resistencia por unidad de peso al utilizarse en elementos como las columnas esto resulta poco económico, ya que debe utilizarse gran cantidad de material sólo para darles un grado más alto de rigidez al elemento y evitar así la susceptibilidad al pandeo.

La fatiga se convierte en otro inconveniente al momento de utilizar miembros de acero, ya que al ser sometidos a inversiones de carga o bien a cambios en la magnitud de la carga a la que está siendo sometido el elemento se puede ir debilitando. Las fallas frágiles que se dan bajo ciertas condiciones cuando el acero pierde sus propiedades de ductilidad y la falla frágil tiende a presentarse en lugares donde se concentran los esfuerzos, y se debe a la situación de bajas temperaturas.

Mientras que Vinnakota (2006) define la corrosión como la destrucción del metal por causa de reacciones químicas o electroquímicas debido a su contacto con el medio ambiente. La rapidez o cantidad que se pueda llegar a presentar en el acero depende de la composición química del metal y las características climatológicas del lugar donde se encuentra, en el caso de que las secciones laminadas se encuentren almacenadas la superficie del acero puede reaccionar con el oxígeno de su alrededor formando una capa de corrosión a la que se le da el nombre de escama de laminación, la cual es muy dura pero a su vez también muy frágil razón por la cual puede romperse fácilmente.

En la práctica laboral la cantidad de humedad necesaria para que comience a aparecer la corrosión puede ser de niveles bastante bajos, y la corrosión se va dando por debajo de la escama de laminación haciendo que esta capa se desprenda, si no se evita a tiempo el proceso continuará avanzando y provocará huecos en la superficie del metal lo que da lugar a la pérdida de área transversal de la sección, lo que reduciría su resistencia y rigidez.

Existen varias formas de evitar o prevenir la corrosión de las estructuras de acero, puede aumentarse la resistencia del acero a la corrosión agregando otros elementos en la aleación como lo es el cobre, lo cual le daría el doble de resistencia a la corrosión que con el que cuentan los aceros al carbono y aceros inoxidables.

Estas ventajas adicionales de mayor resistencia a la corrosión conllevan a otras características como una resistencia más alta y con un aumento moderado en el costo. La pintura es otra medida de mantenimiento para evitar la corrosión, la cual consiste en aplicar capas de sustancias neutras en la superficie del elemento de acero lo cual la protege de los agentes corrosivos del medio ambiente, la limitación principal de la pintura es la degradación de la película protectora aplicada lo que conlleva a repetir periódicamente el mantenimiento de pintura lo cual representa un alto costo.

El proceso de mantenimiento una vez que la capa de pintura ya se encuentre dañada consiste en limpiar cuidadosamente la escama suelta, el oxidó acumulado en la superficie del acero y otros materiales asentados sobre él, este procedimiento puede llevarse a cabo manualmente o mediante un cepillo de alambre motorizado, descamado con una flama de fuego, un chorro de arena, perdigones o también por medio de agentes químicos.

El proceso de pintura de elementos estructurales resulta ser más económica si se realiza en el taller donde se ensamblan las estructuras, en especial cuando es necesaria la instalación de andamiaje y torres para realizar este procedimiento, puede resultar un poco más complejo que si se realiza esto en el lugar de ensamble,

ya que puede haber elementos que impidan llegar a ciertos rincones como se menciona en Vinnakota (2006).

. Los componentes presentes en la pintura líquida son principalmente los adhesivos, pigmentos y solventes, los adhesivos constituyen la porción líquida de la cubierta principal que une los elementos de la pintura con elemento de acero, y pueden fabricarse con elementos presentes en la naturaleza, como los aceites de linaza, resinas que secan al contacto con el aire, vinílicas, y epóxicas. Algunos adhesivos como las resinas aportan dureza a la pintura, en tanto que los aceites proveen de flexibilidad, durabilidad y adhesión. Los pigmentos son partículas finas de material sólido añadido al adhesivo pigmentado para darle un color opaco o darle una tonalidad diferente de color, con estas partículas también se puede crear una diferencia en la consistencia, resistencia al agua y durabilidad. Los materiales que se utilizan incluyen minerales como el zinc y el aluminio, los óxidos metálicos dentro de los que están el hierro, el cromo y el titanio, los cromatos como plomo y el zinc.

Los pigmentos de zinc le proporcionan a la pintura protección catódica en los huecos donde se alojarán tornillos, donde se encuentre expuesto el acero. Debido a que la mayoría de los adhesivos tienen una consistencia muy viscosa, se le pueden añadir solventes que también se conocen como adelgazantes, lo que ocasiona que la pintura sea más manejable y fluída.

Por lo general las pinturas se aplican en un conjunto de capas múltiples, que inicia con la capa base de pintura, seguida de varias capas y al final la capa de acabado. Cada una de las capas cumple una función específica en el sistema que

constituye la estructura de la pintura, la capa base como su nombre lo indica es la primera capa y se aplica sobre el metal al descubierto, es de vital importancia que la primer capa cubra cuidadosamente y por completo la superficie del metal, esta primer capa se aplica en el taller de ensamblado de los elementos y tiene la finalidad de proteger a los elementos solo por un corto periodo de tiempo, dando un margen para la posterior aplicación de las capas restantes.

La capa de acabado es la primera línea de defensa contra la corrosión, esta capa es la que se encuentra totalmente expuesta a los efectos del deterioro como la contaminación atmosférica, radiación ultravioleta, lluvia y heladas así como repelente al agua. La capa intermedia si es necesaria su aplicación tendrá la función de incrementar la resistencia a la penetración de la humedad, cada una de estas capas tiene un espesor estrictamente controlado según las especificaciones requeridas.

En el caso de que las estructuras de los edificios de acero vayan a ser revestidas por algún tipo de acabado como lo podría ser una película a prueba de fuego, o de concreto no requerirá ser pintado, ya que estos materiales proporcionarían la protección necesaria.

El galvanizado que también es un medio de protección para los elementos de acero y consiste en un recubrimiento de zinc fundido, esto forma un enlace metalúrgico con el metal desnudo, por lo que el sistema resultante podrá proporcionar protección de larga duración a las estructuras antes de requerir una limpieza química, la cual consiste en darle un baño de ácido hidroclicórico o sulfúrico, para posteriormente enjuagar con cloruro de amonio, el cual absorberá cualquier

sobrante de impurezas hasta que sea sumergido en el baño de zinc fundido, conforme se comienza a retirar la estructura del baño de zinc se comenzara a formar una película de zinc puro casi en su totalidad proporcionando flexibilidad y resistencia, la capa de aleación le dará resistencia a la abrasión, mientras tanto la capa de zinc que contiene mayor grado de pureza le dará a la estructura una especie de colchón resistente a los daños por impacto.

Así el presente capítulo se dedico al estudio de las propiedades del acero como material estructural mencionando cada una de sus cualidades así como también sus desventajas, también la importancia que tuvo su descubrimiento e implementación dentro del desarrollo de las civilizaciones, con el impacto decisivo que genero en grandes batallas que libraron nuestro antepasados, y marcando una nueva era en el ramo de la construcción, e influyendo en la forma y dimensiones de las estructuras que pudo construir el hombre con el uso de este material

Se continuará la presente investigación con el estudio de las posibles elecciones en el tipo de conector que se pueden utilizar para unir los elementos de una estructura de acero, dentro de los cuales se incluirá la soldadura, los remaches y las conexiones atornilladas.

## **CAPÍTULO 2**

### **CONEXIONES DE ESTRUCTURAS METÁLICAS**

En este capítulo se estudia la selección del tipo de conector que podrían utilizarse en la construcción de estructuras metálicas, donde cada una crea condiciones diferentes en las uniones, mencionando las cualidades con las que cuenta cada tipo de conector como lo son las conexiones atornilladas, conexiones remachadas y las conexiones soldadas.

#### **2.1.- Concepto de conexión en una estructura metálica.**

Como menciona Vinnakota (2006), una conexión se define como el agregado de componentes para la unión de miembros estructurales, como pueden ser patines de vigas y columnas, placas y ángulos de acero. Por otro lado, los elementos conectores consisten en tornillos, soldaduras y pasadores.

#### **2.2.- Selección del tipo de conector.**

Como se mencionó anteriormente, las conexiones se dan entre los distintos tipos de elementos que forman las estructuras, dentro de las construcciones de acero que existen, actualmente se permiten cuatro tipos de sujetadores que son los siguientes: la soldadura, los tornillos sin torneado, los tornillos de alta resistencia y los

remaches. La selección del tipo de sujetador o sujetadores en caso de que la estructura cuente con una combinación en estos, implica la determinación de muchos factores entre los que se ven involucrados los reglamentos de construcción locales, la disposición del capital con la que se cuente, las preferencias del diseñador estructural, disponibilidad de soldadores calificados o remachadores y la disponibilidad de los materiales y equipos para su construcción como indica McCormac (2003).

Es difícil de estipular un conjunto de reglas para realizar la selección del sujetador adecuado para una estructura, sin embargo, pueden hacerse una serie de recomendaciones generales propuestas por McCormac (2003), que pueden ayudar a tomar esta decisión:

- ✓ Los tornillos sin tornearse son una opción económica para las estructuras ligeras sometidas a cargas estáticas pequeñas y miembros secundarios, como largueros, riostras y largueros de pared entre otros.
- ✓ El atornillado que se realiza en el lugar de la obra cuenta con una gran rapidez y requiere mano de obra menos especializada en comparación que la soldadura. Sin embargo el costo de los tornillos de alta resistencia es un poco alto.
- ✓ En el caso de que se tenga planeado cambiar de lugar la construcción, la soldadura no sería una consideración adecuada, por lo que deja el campo abierto para los elementos de atornillado.
- ✓ Cuando la estructura será sometida a cargas por fatiga los tornillos de alta resistencia y la soldadura son una buena opción.



- ✓ Debe tenerse especial cuidado al momento de instalar los tornillos de alta resistencia de deslizamiento crítico.
- ✓ La soldadura es una de las opciones que requiere la menor cantidad de acero, produce un acabado más agradable a la vista de las juntas realizadas.
- ✓ Si se tiene una junta rígida, continua y resistente a momentos se deberá tener en cuenta la soldadura como una buena elección.
- ✓ El uso de la soldadura en miembros con un espesor considerablemente grueso, requiere un cuidado especial y se considera en ocasiones como una mejor opción el uso de conexiones atornilladas, lo que reduce el riesgo de que se presente la falla frágil.

Por otra parte, Vinnakota (2006) ha considerado que todos los tipos de conectores cuentan con alguna restricción, esto quiere decir que toda unión de elementos puede llegar a cambiar su ángulo o posición original al aplicar una carga sobre la estructura. Dependiendo de la magnitud de la restricción se clasifican en Totalmente Restringidas (tipo FR), y como Parcialmente Restringidas (tipo PR) las cuales describiremos a continuación.

Las conexiones tipo FR (Completamente Restringidas) son conexiones rígidas o continuas como las utilizadas en marcos, cuentan con un grado de restricción tal que los ángulos originales formados entre los miembros permanecen prácticamente inalterados bajo las cargas que actúan sobre la estructura.

Las conexiones tipo PR (Parcialmente Restringidas) tienen una rigidez incapaz de mantener sin cambios las conexiones simples y semirrígidas. Siendo una conexión simple aquella que se supone completamente flexible y con libertad para rotar, por lo tanto no cuenta con la capacidad necesaria para resistir momentos. Mientras que una conexión semirrígida es aquella que los cambios producidos entre sus conexiones se encuentran intermedios entre los que produce una conexión simple y una rígida.

Debido a que no existen conexiones perfectamente rígidas o completamente flexibles, en la realidad todas las conexiones son parcialmente restringidas (PR) en mayor o en menor grado unas de otras. Anteriormente se solía clasificar a las conexiones basadas en el coeficiente del momento que son capaces de desarrollar en una conexión específica.

Una consideración aproximada era que las conexiones simples podían desarrollar una rigidez de entre 0% al 20%, las conexiones semirrígidas del 20% al 90% y las conexiones rígidas podían desarrollar una rigidez del 90% al 100%.

El mismo McCormac (2003) confirma que los estudios realizados durante los últimos años por la comunidad científica, han tratado de desarrollar fórmulas que puedan expresar el comportamiento de la rotación de las conexiones. Para lograr estos se han hecho algunos procedimientos, de los cuales hasta el momento el único método exacto de obtener estos datos implica la fabricación de la conexión real, seguida por las pruebas que se realizarán, los procedimientos mal ejecutados como

los defectos por ajuste deficiente, o el atornillado impropio de los tornillos son datos difíciles de incluir en las formulas empíricas para el análisis de las conexiones.

Las conexiones simples tipo (PR) se caracterizan por ser muy flexibles y se supone que le permiten girar los extremos libres de una viga hacia abajo cuando se encuentra soportando una carga, esto sucede en las vigas simplemente apoyadas. Las conexiones simplemente apoyadas tienen cierta resistencia al momento “resistencia a la rotación en el extremo” lo suponen como muy pequeño, y por su parte se considera capaz de resistir solamente el esfuerzo cortante.

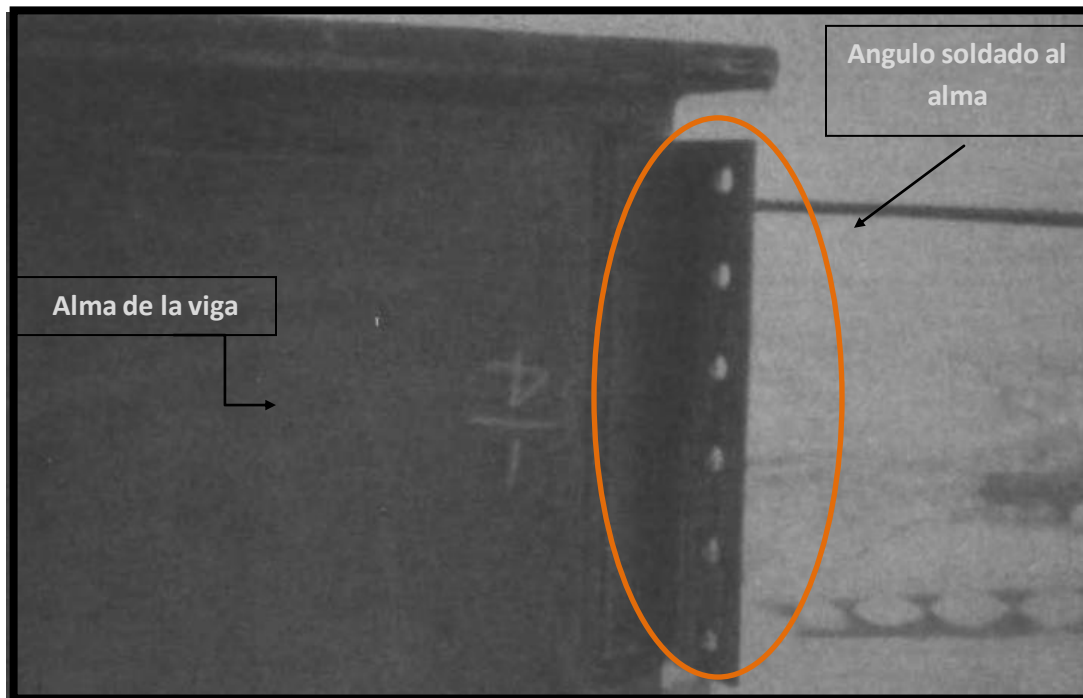


Figura 2.1.- Conexión simple.

Fuente: (McCormac 2003: Pág. 495.)

En la figura 2.1 se muestra un ángulo soldado al alma de la viga, esto realizado en el taller de ensamblado, para posteriormente atornillarla a otro elemento

en el lugar de la obra. Esta es una práctica muy común realizada en las obras que implican el ensamble de elementos de acero.

Las conexiones semirrígidas tipo (PR) cuentan con una considerable resistencia a la rotación en los extremos “momento”, desarrollando así momentos de gran magnitud. En la práctica del diseño estructural es común que el diseñador considere estas conexiones como simples o rígidas sin crear situaciones intermedias ya que esto simplifica el trabajo del diseño de los elementos.

A las conexiones rígidas tipo (FR) son aquellas que teóricamente no permiten rotación en los extremos de la viga y transfieren el 100% del momento al empotramiento, estas conexiones se utilizan comúnmente en edificios de gran altura, proporcionando continuidad entre los elementos de la estructura del edificio. Los atiesadores son elementos que proporcionan una restricción casi del 100% y consiste en soldar piezas de acero a las almas de las vigas o columnas para proporcionar suficiente resistencia a la rotación, los cuales deben ser adecuadamente diseñados para que cumplan correctamente su función.

### **2.3.- Conexiones atornilladas.**

Desde el momento en que se comenzó a utilizar el acero como material estructural, por muchos años el método más aceptado para unir miembros de una estructura de acero fue el remachado. Sin embargo, durante los últimos años el uso de los remaches ha ido en descenso de una manera rápida debido al enorme auge

creado por la soldadura y más recientemente por el atornillado realizado con pernos o los tornillos de alta resistencia.

Cuando se montan estructuras de acero por medio de tornillos es un proceso rápido y que además requiere de mano de obra menos especializada que cuando se utiliza soldadura o remaches. Estos factores se ven directamente reflejados en el costo de la estructura, lo que le da ventaja económica respecto a los otros dos tipos de conexión. Aunque los tornillos de alta resistencia son varias veces más costosos que un remache, el costo final de la construcción mediante tornillos es menor que el de la construcción remachada, debido a los costos menores por mano de obra y equipo y al menor número de tornillos que se requieren para resistir el mismo esfuerzo.

Las conexiones resultantes por la implementación de de tornillos de alta resistencia son superiores a las conexiones remachadas en aspectos como el rendimiento y la economía por estos motivos son el principal método para la conexión de elementos de acero en las obras. En el año de 1947 el Consejo para la investigación de juntas estructurales remachadas y atornilladas de la fundación de Ingeniería estableció que los tornillos de alta resistencia podían usarse satisfactoriamente en el ensamble de estructuras de acero, las primeras especificaciones fueron publicadas en 1951 y rápidamente fueron aceptadas por los Ingenieros y arquitectos en la industria de la edificación de estructuras de puentes sometidas a cargas tanto estáticas como dinámicas, este tornillo se convirtió en el principal conector llegando a tal grado que en la construcción del puente Mackinac en Michigan se usaron más de un millón de tornillos de alta resistencia.

Anteriormente las conexiones se realizaban con tornillos y tuercas ordinarias que no tenían un desempeño adecuado al ser sometido a cargas vibratorias, ya que las tuercas tendían a aflojarse por este fenómeno. Este problema se resolvía mediante la implementación de una contratuerca.

Existen diferentes tipos de tornillos para la unión de los diferentes tipos de elementos los cuales se describirán a continuación:

Los tornillos ordinarios o comunes, son designados por la ASTM como tornillos A307 se fabrican mediante la implementación de acero al carbono, con resistencia al esfuerzo y deformación similares a las del acero A36. Se encuentran disponibles en dimensiones que van desde  $\frac{5}{8}$  de pulgada hasta  $1\frac{1}{2}$  pulgada en incrementos de  $\frac{1}{8}$  de pulgada. Su fabricación generalmente se realiza con cabezas y tuercas cuadradas para su reducción de costos, la implementación de cabezas hexagonales se utiliza principalmente por su apariencia atractiva, cuentan con facilidad de manipulación con llaves mecánicas y requieren menor espacio para girarlos, el uso de este tipo de tornillos es generalmente en estructuras ligeras sujetas a cargas estáticas y miembros secundarios como pie largueros, riostras y plataformas.

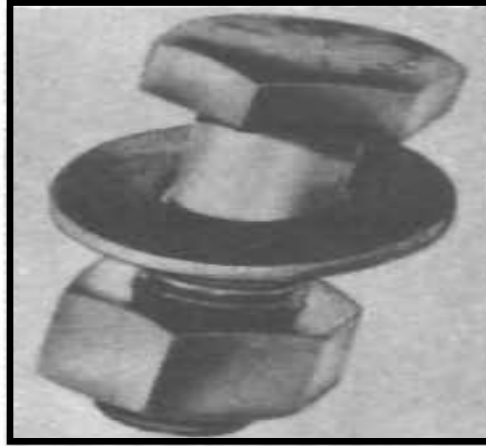


Figura 2.2 Tornillo de alta resistencia.

Fuente (McCormac 2003: Pág. 355.)

Los diseñadores estructurales pueden tomar ciertas decisiones basadas en la seguridad principalmente, por lo que especifican tornillos de alta resistencia para conexiones donde los tornillos ordinarios cumplirían adecuadamente los requerimientos de esfuerzos actuantes en la estructura. El análisis y diseño estructural de las conexiones con tornillos A307 se realiza de la misma forma que el que se hace con conexiones remachadas solamente que para este caso se utilizan esfuerzos permisibles diferentes.

Los tornillos de alta resistencia son fabricados a base de acero al carbono que ha recibido un tratamiento térmico y aceros aleados, cuentan con una resistencia a la tensión dos o tres veces la alta que los tornillos ordinarios. Los tornillos de alta resistencia a su vez pueden subdividirse en dos categorías: los A325 fabricados de acero al carbono que ha recibido algún tratamiento térmico, y los A490 que poseen

mayor resistencia, este acero también recibe tratamiento térmico pero a diferencia de los A325 los tornillos A490 se fabrican con acero aleado.

El uso de los tornillos de alta resistencia se aplica para todo tipo de estructura desde pequeños edificios hasta los rascacielos más altos del mundo e icónicos puentes, estos tornillos fueron creados para superar las debilidades de los remaches como lo es la escasa resistencia a la tensión en el vástago del remache una vez que se enfría, las fuerzas de tensión que resultan aplicadas en los remaches no son suficientemente grandes para mantenerlos en su posición al aplicar cargas vibratorias o accidentales, lo que ocasiona que los remaches comiencen a aflojarse poco a poco lo que resultara en el reemplazo gradual de una gran cantidad de remaches de la estructura.

Los tornillos de alta resistencia tienen la cualidad de que se les pueden apretar hasta altos esfuerzos de tensión, de tal manera que las conexiones sujetas con estos elementos quedan fuertemente afianzadas entre la tuerca del tornillo y la cabeza, lo que permite que las cargas sean transmitidas principalmente por fricción. Estas piezas se fabrican a partir de acero A490 y diámetros de hasta  $1\frac{1}{2}$  pulgada que es el máximo diámetro de los A325 y A490, estos tornillos pueden utilizarse como pernos de anclaje de alta resistencia y barras roscadas de diámetros diversos.

Dentro de las grandes cualidades de los tornillos de alta resistencia se encuentran las siguientes que explican en parte su gran éxito:

- ✓ La cantidad de hombres necesarias para atornillar elementos de acero es menor que los obreros necesarios para remachar una sección. Se ha



observado que dos parejas de trabajadores pueden colocar fácilmente el doble de tornillos en un día, en comparación con el número de remaches colocados por una cuadrilla de remachadores, resultando un armado estructural más rápido.

- ✓ En comparación con las conexiones remachadas, es necesaria una menor cantidad de tornillos para proporcionar la misma resistencia.
- ✓ La calidad de mano de obra requerida para conexiones atornilladas es menor que la requerida para realizar uniones soldadas o remachadas, una instalación adecuada puede realizarse en cuestión de horas.
- ✓ El equipo para la instalación de tornillos es más económico en comparación con el utilizado para los remaches.
- ✓ No existe peligro de incendio ni quemaduras por el lanzamiento de remaches calientes.
- ✓ En pruebas de laboratorio realizadas a conexiones remachadas y atornilladas sujetas a las mismas condiciones mostraron que las juntas atornilladas tienen considerablemente una mayor resistencia a la fatiga.
- ✓ Las estructuras que se desmontarán o alteran su forma posteriormente requieren procedimientos muy sencillos para desatornillarlas.

## **2.4.- Conexiones remachadas.**

Durante un largo periodo de tiempo los remaches fueron el método completamente aceptado por la comunidad directamente ligada a la edificación de estructuras de acero, sin embargo, estos conectores no propician la creación de conexiones económicas.

Su empleo actualmente es ocasional, pero su uso ha disminuido considerablemente al grado que la mayoría de las industrias acereras a lo largo del territorio de Estados Unidos de Norteamérica han descontinuado su producción casi por completo, mas sin embargo es necesario que los diseñadores estructurales conozcan el método de diseño para conexiones remachadas aunque sea difícil que llegue a diseñar elementos unidos mediante remaches, podría suceder que tuviese que analizar con nuevas cargas, o ampliar la estructura remachada ya existente.

Los remaches que se usan en la edificación de estructuras de acero se fabrican generalmente de aceros suaves que no se tornan frágiles al elevar su temperatura para martillarlos y formar sus cabezas. El remache común se forma de un vástago cilíndrico de acero que cuenta con una cabeza redondeada en uno de sus extremos y hoy en día es complicado encontrar un fabricante que use remaches en sus estructuras.

En el lugar de la obra el remache se calienta hasta que se torna de un color rojo cereza que equivale aproximadamente a 982° C, posteriormente se inserta el remache en el agujero mientras que en el otro extremo se forma la cabeza utilizando una pistola accionada por aire comprimido, la pistola que cuenta con un dado en el

extremo, que da la forma adecuada al remache mediante la aplicación de golpes continuos.

Por su parte en el taller de ensamblado, el proceso de remachado consiste de igual manera que se da en la obra, calentando el remache 982°C y se inserta en el agujero con un remachador de presión el cual aprieta el remache con una presión que varía entre 50 y 80 toneladas colocándolo de un sólo golpe, el remache estando aún en estado plástico queda fijado de manera satisfactoria en el agujero del elemento de acero.

Al ir disminuyendo la temperatura del remache se contrae y aprieta las partes conectadas, esto causa la transferencia de los esfuerzos que actúan sobre la estructura por medio de esfuerzos de fricción. Los remaches sufren cambios en sus dimensiones tanto longitudinal como transversalmente y se vuelven más pequeños que los agujeros donde están colocados y deberían llenar completamente, la resistencia permisible de los remaches se da en relación de su área transversal antes de ser colocados.

Los tamaños de remaches usados comúnmente en estructuras van desde  $\frac{3}{4}$  de pulgada y  $\frac{7}{8}$  de diámetro y pueden llegar a conseguirse hasta medidas de  $1\frac{1}{2}$  pulgada, los remaches más pequeños suelen utilizarse en armaduras ligeras de techos, letreros mientras que los de mayor tamaño se instalan en estructuras como largos puentes y edificios de altura considerable. No se aconseja utilizar más de uno o dos diámetros de remaches debido a que resulta costoso realizar las perforaciones en el taller y lo confuso que puede resultar al momento de realizar el ensamblado,

esta situación no puede evitarse al 100% en la ejecución de la obra ya que pueden requerirse remaches o tornillos más pequeños para mantener las distancias junto a los bordes de ciertas secciones.

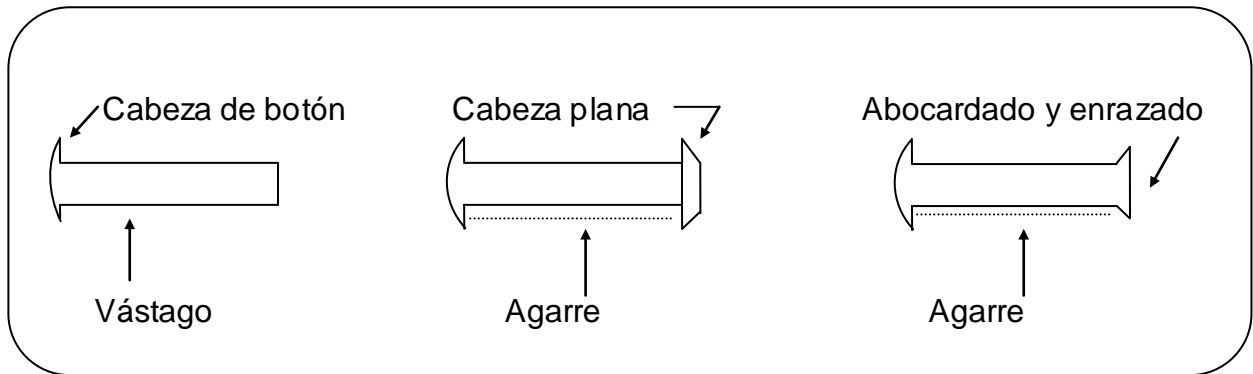


Figura 2.3 Tipo de remaches.

Fuente: Propia.

Las cabezas de los remaches solían ser redondas y se les llamaban *cabezas de botón*, pero debido a los requisitos de distancia libre entre la cabeza, en ocasiones son planas o abocardadas y enrazadas como se muestra en la figura 2.3. se describirán algunas características de estos tipos de remaches a continuación:

Los remaches abocardados y enrazados no cuentan con un área suficiente de apoyo para desarrollar su resistencia completamente por lo que el diseñador estructural debe reducir su resistencia en un 50%.

Un remache con cabeza plana o enrazada es preferible debido a razones arquitectónicas o de apariencia visual si se desea una superficie lisa, aunque este

tipo de remaches es considerablemente más caro que el remache con cabeza de botón, por lo que se utiliza estrictamente cuando es necesario.

Según la ASTM “Asociación Americana para Pruebas y Materiales” clasifica a los remaches en tres categorías dependiendo del uso estructural que se le da y son los siguientes.

**Remaches A502 grado 1**, se emplean para la mayoría de los requerimientos estructurales, se fabrican con un acero de contenido de carbono aproximadamente 0.80%, lo que los hace un poco más débiles que el acero estructural y por lo tanto más dúctiles, el uso de estos remaches en comparación con los de alta resistencia no radica en su resistencia sino que los remaches A502 grado 1 son más fáciles de colocar.

**Remaches A502 grado 2**, estos remaches son fabricados con acero al carbono y tienen mayor resistencia que los de grado 1, su fabricación es para uso conjunto con aceros de alta resistencia, y permiten al diseñador implementar menos remaches para una la unión de miembros de acero.

**Remaches A520 grado 3**, esta tercer clasificación de remaches es capaz de soportar la misma resistencia que los remaches grado 2, adicionalmente son capaces de resistir en mayor grado la corrosión atmosférica por lo que pueden emplearse en lugares de condiciones más exigentes.

Hablando de la resistencia que tienen los remaches, hay factores que influyen en ésta como lo son el grado, su diámetro, el espesor y la ubicación de los remaches en el elemento a conectar.

Existen también algunos remaches de taller que se instalan en frío aplicando grandes presiones, este tipo de remaches instalado en frío funciona mejor en piezas de diámetros pequeños  $\frac{3}{4}$  de pulgada o menores, aunque se ha realizado exitosamente con remaches grandes. Estos remaches llenan de manera correcta los agujeros, eliminan el costo y peligro de calentamiento en el lugar de la obra, son más resistentes debido a que el acero trabaja en frío como estipula McCormac (2003).

## **2.5.- Conexiones combinadas.**

La UNAM (1993) menciona aparte de los tipos de conexiones anteriormente descritos, en que la mayoría de conexiones utilizan sujetadores de un solo tipo para realizar la transmisión de fuerzas de un elemento a otro. Sin embargo, hay circunstancias en las cuales es necesario realizar la combinación de dos métodos de unión en una misma conexión. Los sujetadores involucrados suelen ser remaches y tornillos o remaches y soldadura por lo que reciben el nombre de conexiones o juntas combinadas.

Estas suelen ser usadas en dos casos de condiciones, el primero de ellos es aquel que mezcla dos conjuntos de sujetadores mecánicos distintos comparten la carga en el mismo plano de corte, como podrían ser el ejemplo de una junta remachada que será reforzada sustituyendo parte de los remaches por tornillos de alta resistencia, en caso de no haber suficiente espacio para la colocación de mas tornillos, podría recurrirse a la soldadura para reforzar la junta, lo cual para este caso la soldadura junto con los tornillos transmiten la carga a través del mismo plano.

La junta combinada que se ha mencionado se utiliza también con frecuencia para el refuerzo de conexiones remachadas o atornilladas en estructuras ya existentes.

El segundo método de junta combinada al igual que el anterior mencionado, emplea dos métodos de unión diferentes, pero estos no actúan en un plano de corte común, como sucede frecuentemente en los ángulos que transmiten las fuerzas cortantes en conexiones viga- columna, se suelden a la columna (los ángulos) y se atornillen al alma de la viga o viceversa. Así mismo también las son juntas combinadas las conexiones viga-columna rígidas, que tienen los patines de la viga unidos a la columna con soldadura, directamente o por medio de placas, y usan ángulos atornillados al alma para transmitir la fuerza cortante .

Se podría dar el caso también de mezclar en una junta los remaches o tornillos en combinación con la soldadura, la capacidad de deformación total de la soldadura será del mismo orden de magnitud que el deslizamiento máximo de las conexiones con tornillos de alta resistencia diseñados para la resistencia a la fricción, colocados usualmente en agujeros de diámetro 1.5 mm mayor que el suyo propio. Entonces si se usaran los dos tipos de sujetadores en un plano de corte común, la capacidad de resistencia de la junta combinada podría ser la resistencia conjunta de la resistencia a la ruptura de la soldadura más la resistencia al deslizamiento proporcionad por los tornillos.

De acuerdo con el comportamiento descrito de estas juntas, para estructuras nuevas sería lógica la implementación de tornillos de alta resistencia y soldadura

combinada en la misma conexión, cuando los tornillos de alta resistencia sean diseñados para que la conexión resista el deslizamiento. La resistencia máxima de la junta será igual a la mayor de las capacidades siguientes:

- a) La de los tornillos al corte.
- b) De las placas al aplastamiento.
- c) Las soldaduras al cortante.

Por lo tanto, la resistencia así determinada deberá ser cuando menos igual al efecto de las fuerzas de diseño

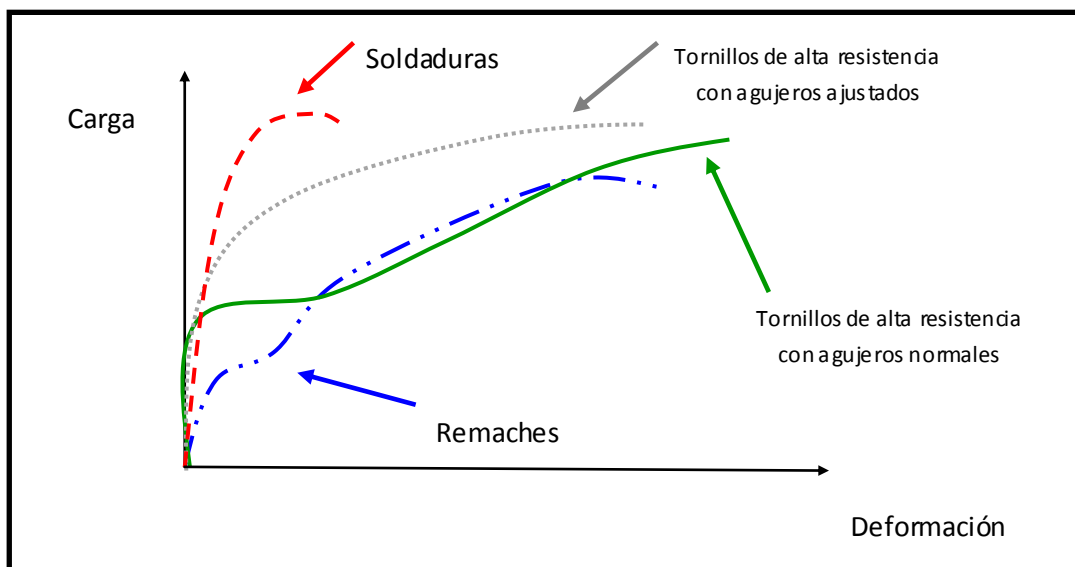
En el caso de que la estructura ya existiera y se deseara realizar una reparación o reforzamiento, podrían presentarse dos casos. El primero consistiría en añadir soldadura a una junta ya atornillada que tiene una carga muy pequeña o nula se deberán realizar las consideraciones descritas para las estructuras nuevas. En cambio, si las cargas iniciales de la conexión son importantes, las soldaduras o tornillos existentes las estarán resistiendo, los pasadores que se coloquen solo cumplirán la función de resistir cargas aplicadas posteriormente.

En conexiones diseñadas para que los tornillos de alta resistencia puedan transmitir las fuerzas de fricción sin deslizamiento, compartan la carga con la soldadura, es conveniente apretarlos por completo antes de realizar la soldadura. Cuando los tornillos se aprietan de manera adecuada antes de soldar, la soldadura y los tornillos comparten la fuerza en el plano de corte común. El calor producido al soldar cerca de los tornillos no afecta sus propiedades mecánicas.



## 2.6.- Curvas carga-deformación de los distintos tipos de conexiones.

Al igual que los materiales como el concreto y el acero tienen diferentes respuestas ante la sollicitación de carga, los diversos tipos de conexiones que se realizan se comportan de maneras distintas. A continuación se muestra en la gráfica 2.1 la respuesta de cada una de estas, mencionando las principales características.



Gráfica 2.1. Curva carga deformación de diversos tipos de conexiones.

Fuente: Propia

Las uniones con tornillos de alta resistencia colocados en agujeros usuales, proporcionarían una rigidez inicial alta ya que se conservaría hasta que la junta se desliza. En el momento que ocurre el deslizamiento, las deformaciones crecen significativamente hasta que los tornillos entran en contacto con las placas, después de esto la rigidez aumentará nuevamente. Podría evitarse el deslizamiento instalando tornillos del mismo diámetro del agujero.

La rigidez de las conexiones remachadas será menor que las realizadas con tornillos de alta resistencia diseñadas para la transmisión de fuerzas por fricción. Es frecuente la aparición de un cambio súbito de pendiente en la curva carga-deformación, comparable al deslizamiento antes mencionado, pero la magnitud es del orden de una tercera parte que el presentado en las conexiones atornilladas resistentes al deslizamiento.

Las conexiones soldadas cuentan con una capacidad de deformación mucho menor que las remachadas o atornilladas, en ellas no ocurre el deslizamiento y la rigidez inicial solo cambiara en la cercanía a la carga última.

Realizando la comparación con las diferentes curvas que presentan las conexiones mencionadas, se podría concluir que la combinación de dos tipos de sujetadores sería apropiada cuando tengan características de deformación compatibles. Las combinaciones más convenientes de realizar son las soldadas con tornillos resistentes al deslizamiento y remaches con tornillos según UNAM (1993).

## **2.7.- Conexiones soldadas.**

Se entiende por conexiones soldadas, a la unión en la parte de la superficie común de los elementos a conectar. Dentro de los cuales existen cinco tipos básicos de conexiones soldadas, clasificadas según la posición de las placas que se unirán y son: traslapadas, a tope, en te, de esquina y uniones de canto o de borde.

Las apreciaciones negativas para las conexiones soldadas han persistido durante muchos años, lo que retardo el uso de este medio en la unión de elementos en puentes ferroviarios y carreteros. Al igual que en los barcos que son sometidos a cargas de impacto severas y complicadas de predecir, los Ingenieros Marítimos han adoptado la soldadura para gran parte de los elementos que conforman las embarcaciones.

Las conexiones Traslapadas son aquellas en las cuales las placas a unir se encuentran una sobre otra y se sueldan juntas, los bordes de cada pieza no requieren ninguna preparación especial. Estas placas puede moverse para corregir pequeños errores de fabricación, para este tipo de conexión se utiliza la soldadura de filete y tapón.

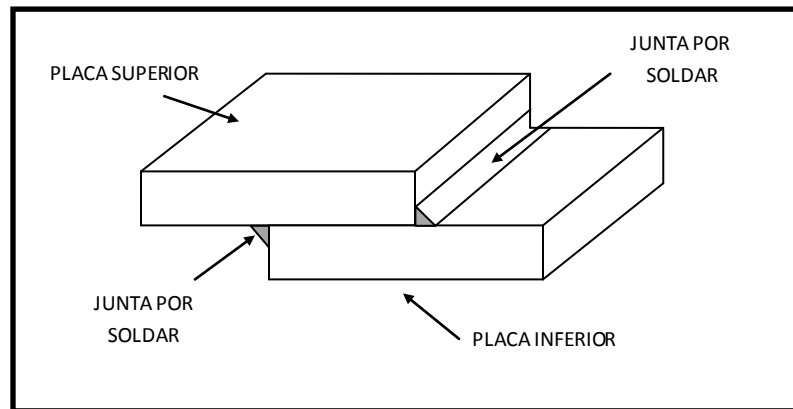


Figura 2.4. Placas traslapadas para realizar la conexión.

Fuente: Propia.

Las uniones a Tope se utilizan para realizar la unión de elementos estructurales que están alineados en el mismo plano, en estas uniones los bordes que se conectaran debe prepararse de manera específica y alinear las placas cuidadosamente antes de soldarlas. Para esta unión se realiza soldadura de ranura, los espesores de las placas deben ser casi del mismo espesor, y con frecuencia estas conexiones se hacen en el taller de fabricación.

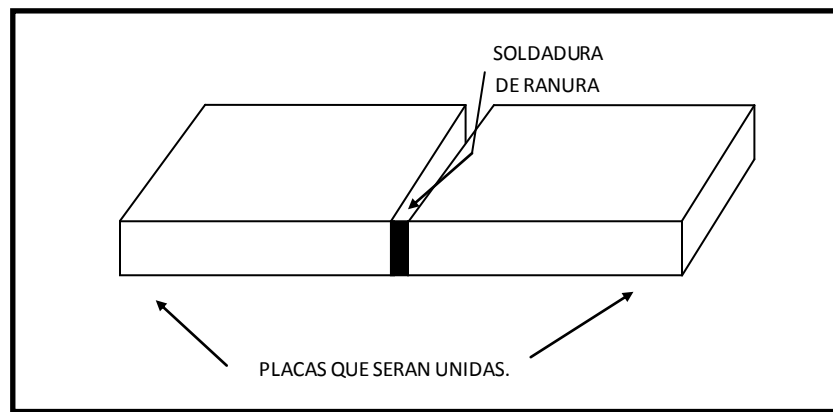


Figura 2.5. Placas unidas a tope con soldadura de ranura.

Fuente: Propia.

Las uniones en Te se requieren para unir el extremo de una placa a la superficie de otra, se utiliza en la fabricación de secciones compuestas, como las trabes armadas, ménsulas y atiesadores a elementos principales, utilizando soldadura de filete y ranura.

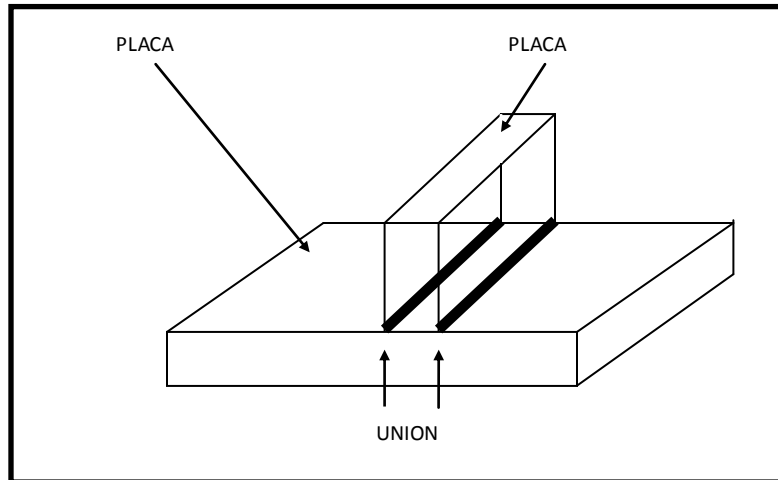


Figura 2.6. Placas unidas en Te.

Fuente: Propia.

## 2.8.- Clasificación de los electrodos usados en la soldadura.

Se aceptarán cuatro procedimientos precalificados de arco eléctrico, que podrán aplicarse en estructuras de edificios y puentes sin necesidad de efectuar ninguna prueba previa para demostrar su aplicabilidad como lo especifica la UNAM (1993).

La Sociedad Americana de Soldadura (AWS) ha publicado especificaciones referentes a los electrodos, fundentes y gases que se utilizarían en los cuatro procedimientos. Se describirán los procedimientos para clasificar los materiales de aportación empleados en los dos primeros procesos, que son probablemente los más utilizados en México.

Electrodo recubierto: estas son varillas recubiertas con una capa de material que desempeña diferentes funciones durante la colocación de la soldadura.

Las bases para la clasificación de estos electrodos son las propiedades mecánicas del metal de soldadura en que finaliza cuando se solidifica, sin someterlo a ningún tratamiento posterior, las características del recubrimiento, posiciones en que se utiliza y la corriente que emplea cada uno.

Cada tipo de electrodo se designará con una letra "E" inicial de electrodo, seguida de cuatro o cinco dígitos. En forma E<sub>d</sub>c<sub>b</sub>a o E<sub>e</sub>d<sub>c</sub>b<sub>a</sub>, los primeros dos o tres dígitos 60 ó 110, en este caso indicaría la resistencia mínima a la ruptura en tensión del metal de soldadura, especificada en miles de libras por pulgada cuadrada. El tercer o cuarto dígito, sería 1, 2 ó 4 que serán las posiciones en las cuales se puede aplicar la soldadura de manera satisfactoria. El número 1 indicará que el electrodo será apto para cualquier posición, plana, horizontal, vertical y sobre la cabeza. El número 2 a los que podrían depositar soldaduras de penetración satisfactoriamente solo en posición plana, y de filete en posición plana y horizontal. El número 4 será indicativo que el electrodo es adecuado para las soldaduras verticales depositadas de arriba hacia abajo. Finalmente los dos últimos dígitos, tomados en conjunto hacen referencia a las características de la corriente empleada y la naturaleza del recubrimiento.

Por ejemplo, en un electrodo E6010, produciría una soldadura con resistencia mínima a la tensión de 60,000 libras por pulgada cuadrada (4200 kg/cm<sup>2</sup>), podría utilizarse en todas las posiciones y requerirá el uso de una corriente continua con polaridad inversa, en otras palabras, el electrodo será el polo positivo en el circuito y el metal base el negativo.

Estas referencias darán las características mecánicas de la soldadura que respectan a cada tipo de electrodo, las posiciones en las que deberá de aplicarse, el tipo de corriente y la composición química del recubrimiento y metal depositado. Se enunciará un ejemplo más de las características de los electrodos de la serie E60XX y E70XX.

El electrodo E6010 contará con gran contenido de celulosa en su recubrimiento, más de un 30% del peso generalmente y otros compuestos como silicato de sodio. Serán utilizados para soldar en cualquier posición con una corriente continua con polaridad inversa, dará como resultado un metal de soldadura con resistencia mínima a la ruptura en tensión de 4200 kg/cm<sup>2</sup> como mínimo. El esfuerzo de fluencia será alrededor de 3500 kg/cm<sup>2</sup>, se caracterizara por la creación de un arco de gran poder de penetración y generación de escoria delgada que es sencilla de retirar.

Otro electrodo que se mencionara será el E7028, estas varillas son de bajo contenido de hidrógeno, el recubrimiento será bastante grueso, de alto contenido de polvo de hierro, en combinación con ciertos ingredientes que producen poca cantidad de hidrógeno durante la combustión y la fusión. Se utilizaran solamente en posición de soldado plano y de filete depositados horizontalmente. Con una corriente opcional alterna o directa y polaridad inversa, el metal de soldadura resistirá como mínimo 4900 kg/cm<sup>2</sup> de resistencia a la ruptura, con un límite de fluencia de 4200 kg/cm<sup>2</sup>. Este electrodo mencionado producirá un arco con penetración adecuada y podrá emplearse con altas velocidades de depósito.

Durante el presente apartado, se estudiaron los diferentes medios por los cuales es posible realizar la unión de los diferentes elementos estructurales, dentro de los cuales se mencionaron las conexiones soldadas, atornilladas y remaches, así como también se hizo mención de los tipos de electrodos comúnmente usados y de los cuales se comentaron las características que tiene cada uno de ellos para los diferentes usos dentro del gran campo de la Ingeniería Civil y las estructuras de acero.

Para el siguiente capítulo de estudio se abordará el empleo, método, y tipos de soldadura que se usan comúnmente en las estructuras metálicas, así como también los métodos para llevar un control de calidad adecuado a las normas requeridas.



## **CAPÍTULO 3**

### **SOLDADURAS**

Se definirá el concepto de soldadura, tomando en cuenta los antecedentes, así como las ventajas y desventajas de la soldadura, la simbología básica de soldadura que se utiliza para las diferentes indicaciones que hay que tener en cuenta, sin dejar de mencionar los tipos de soldadura más comunes dentro de la industria de la Ingeniería como lo son la soldadura por aleación y soldadura por fusión. Se atenderá también la importancia de la inspección visual, crucial en el control de calidad y se buscare la explicación del método de líquidos penetrantes el cual es la clave de la presente investigación.

#### **3.1.- Concepto de soldadura.**

Se define a la soldadura como el procedimiento de unir piezas metálicas mediante su calentamiento de las superficies llevándolas hasta el estado plástico, permitiendo que fluyan y se unan, pudiendo o no realizar la adición de material de aportación para realizar la unión como se establece en McCormac (2003).

#### **3.2.- Antecedentes.**

Hasta el día de hoy, no se tiene la fecha exacta en la que se originó el procedimiento de trabajo con metales dentro de los cuales se incluye la soldadura. Se presume que fue en la antigua Grecia por lo menos desde hace tres mil años, pero sin duda alguna varios siglos antes de esos ya se había implementado la

soldadura. En la soldadura antigua presuntamente se realizaba un proceso de forja, en el cual se calentaba el metal a una alta temperatura sin llegar al punto de fusión para unirlos mediante golpes repetitivos de martillo.

A pesar de que la soldadura tiene mucho tiempo de implementarse en la vida moderna, hasta hace unas cuantas décadas atrás adoptó considerable importancia en la Ingeniería estructural. La adopción de la soldadura estructural se ha realizado de manera muy lenta en el ámbito de la Ingeniería Civil, debido a que los ingenieros consideraban dos grandes inconvenientes: 1) cuenta con poca resistencia a la fatiga en comparación con las conexiones atornilladas y 2) se convertía en una tarea casi imposible garantizar la alta calidad de la soldadura sin invertir una suma grande de dinero en costos de inspección y control de calidad.

Incluso las pruebas realizadas indicaban que ninguna de estas razones eran válidas, las apreciaciones negativas persistieron durante décadas. Estos temores mantuvieron a la soldadura alejada de las edificaciones, en puentes carreteros y especialmente puentes ferroviarios.

Actualmente, la comunidad de ingenieros involucrada en la edificación tienen buen visto hacia las uniones soldadas, en sus cualidades de resistencia a la fatiga y los requerimientos de mano de obra establecidos. Bajo las especificaciones de control de calidad de las soldaduras establecidas por la AWS (American Welding Society) el problema con la inspección de las soldaduras se ha reducido considerablemente. Aunado a esto, los procesos químicos que se utilizan en la manufactura del acero se han diseñado para que mejoren las propiedades de

soldabilidad de los elementos fabricados, en consecuencia la soldadura ha sido adoptada en casi todos los trabajos estructurales a reserva de algunos puentes menciona McCormac (2003).

### **3.3.- Ventajas de la soldadura.**

Según Carabalí Laboa (2006) hoy en día es posible aprovechar las grandes bondades que ofrece la soldadura, ya que los temores de baja resistencia a la fatiga y costosa inspección han sido casi limpiadas por completo, y se presentan las siguientes cualidades:

**La economía:** es un factor que la mayoría de los diseñadores consideran de mucha importancia ya que gracias a la implementación de la soldadura puede crearse un ahorro cerca del 15% o más del peso de la estructura, estas estructuras soldadas pueden eliminar el porcentaje de peso antes mencionado debido a que no se utilizan placas de empalme tan necesarias para las estructuras atornilladas o remachadas. Así como también la eliminación de las cabezas de remaches y tornillos.

**La rigidez:** esta cualidad en las estructuras soldadas consiste en que al estar unidos directamente uno a otro, tienen una restricción mayor de movimiento que sus similares atornillada o remachada, ya que al estar unidas por medio de ángulos o placas y debido a la acción de las cargas aplicadas tienden a deformarse provocando un mayor grado de flexibilidad.

**Continuidad en las estructuras:** esta característica se traduce en la construcción de una sola pieza y debido a que las uniones soldadas son tan resistentes o en ocasiones más que el mismo metal base no debe haber limitaciones en las uniones. La continuidad entre los elementos ha permitido la realización de estructuras con formas agraciadas, esbeltas y de gran altitud además de sus limpias y suaves líneas que conservan las piezas soldadas.

**Versatilidad:** es la facilidad con la que se puede realizar cambios en la geometría de la estructura y la corrección de errores en la etapa de montaje si se da el caso.

**Número de elementos:** al necesitar un menor número de piezas esto se refleja en tiempo, montaje, peso y costo de la edificación en cuestión.

### **3.4.- Símbolos básicos de soldadura.**

A continuación se presentará la simbología más elemental utilizada en el ámbito de la soldadura, este código fue desarrollado por la American Welding Society (Sociedad Americana de Soldadura), con este sistema gráfico se proporciona la información necesaria utilizando simples líneas y números, reduciendo el espacio utilizado en los planos y especificaciones de Ingeniería plasmados en ellos. La implementación de este sistema de especificaciones beneficia directamente tanto a proyectistas, dibujantes y contratistas, debido a que es un sistema estandarizado para la edificación de estructuras de acero.

| SÍMBOLOS BÁSICOS DE SOLDADURA |        |                |               |   |       |   |   |                |                        |
|-------------------------------|--------|----------------|---------------|---|-------|---|---|----------------|------------------------|
| POSTERIOR                     | FILETE | TAPON O RANURA | RANURA O TOPE |   |       |   |   |                |                        |
|                               |        |                | CUADRO        | V | BISEL | U | J | ENSANCHAMIENTO | ENSANCHAMIENTO O BISEL |
|                               |        |                |               |   |       |   |   |                |                        |

Tabla 3.1.- Símbolos Básicos de Soldadura.

Fuente: Propia.

### 3.5- Soldadura por aleación.

La soldadura por fusión o denominada común, es aquella que consiste en unir metales o cierto tipo de aleaciones metálicas fundidas a temperaturas relativamente bajas. Bajo esta condición se puede dividir la soldadura por fusión en dos categorías las cuales son soldaduras duras y blandas, lo cual hace referencia al punto de fusión en que se realiza la soldadura y a la resistencia de la aleación utilizada en los metales de aportación.

En el caso de las soldaduras por fusión blandas, las aleaciones consisten en materiales de aportación que suelen ser de metales como el plomo, estaño y bajo ciertas circunstancias pequeñas cantidades de bismuto, por su parte en las soldaduras duras llegan a utilizarse aleaciones de plata (soldadura de plata), cobre y zinc (latón soldadura).

Para unir los elementos mediante la soldadura por aleación se deberá proceder en primera instancia a limpiar el área que se unirá y añadir fundente, por lo general bórax o resina. La correcta limpieza de los elementos unirá con mayor fuerza las piezas metálicas ya que eliminará cualquier cantidad de óxido presente en los metales, se continúa el proceso calentando las superficies de las piezas mediante un soplete o un soldador, cuando estas alcanzan la temperatura a la que se funde el metal de aportación, este es aplicado permitiéndole fluir libremente y endureciéndose al reducir la temperatura.

Este procedimiento se ha practicado en la humanidad desde hace cerca de 2000 años por las culturas Fenicia y China, según muestran los estudios realizados en esta área. Hacia el siglo I d.C se menciona a la soldadura con estaño como un procedimiento habitual entre los trabajadores de metales preciosos de la época. Para el siglo XV ya se hacía uso del bórax el cual permitía que el metal fluyera uniformemente sobre el molde, haciendo que conserve su brillo y pulido de la pieza al soldarla.

### **3.6- Soldadura por fusión.**

Dentro de este método de soldadura interviene una agrupación de procedimientos que se aplican en la fusión de los metales que se unirán con o sin la ayuda de metal de aportación y a temperaturas más altas a las que se someten las piezas soldadas mediante el proceso de aleación.

Dentro de los procedimientos involucrados en la soldadura por fusión se destacan, la soldadura por gas, la soldadura por arco y la soldadura aluminotérmica, mientras que otras se realizan al vacío mediante un haz de electrones o iones y la soldadura por haz luminoso que emplea un rayo láser como fuente de poder.

La soldadura por gas o con soplete utiliza el calor de la combustión, uno o varios gases, esta se dirige a las partes que se unirán y a la varilla con el metal de aportación. Esta variante de soldadura es un sistema móvil que no necesita conectarse a la red de energía eléctrica, dependiendo de la mezcla de gases que utiliza se distingue en oxiacetilénica (oxígeno/acetileno) y oxídrica (oxígeno/hidrógeno) por mencionarse alguna.

Por otra parte la soldadura por arco es una de la más comúnmente utilizada, especialmente para unir acero, el uso de esta soldadura requiere de la corriente eléctrica. Esta energía se utiliza para generar un arco eléctrico entre uno o varios electrodos aplicados a la pieza, esto genera la temperatura suficiente para fundir el metal y da lugar a la unión de las piezas

Esta soldadura cuenta con ciertas ventajas respecto a los otros métodos empleados para la unión de elementos metálicos, este cuenta con un proceso de unión más rápida debido a la alta concentración de calor. Pueden utilizarse electrodos fusibles que son el metal de aportación en forma de varillas recubiertas o desnudas. El tipo utilizado con mayor frecuencia es el de electrodo recubierto, con protección gaseosa y un fundente en polvo.

La soldadura por arco con electrodo recubierto cuenta con una varilla metálica que conduce la electricidad y está cubierta con el fundente que ayudara a aislar el contacto con el aire entre el exterior y el punto que se está uniendo, así como también disolverá y eliminara óxidos consiguiendo una correcta penetración del metal de aportación, el metal que será soldado estará conectado a la fuente eléctrica, en el momento en que la punta del electrodo toca la pieza de metal se forma el arco eléctrico, el intenso calor producido por el arco funde ambas partes de las piezas y el metal de aportación. Procedimiento que fue desarrollado a principios del siglo XX, principalmente para soldar acero.

Como menciona Vinnakota (2006), en la soldadura por arco con protección gaseosa se utiliza un electrodo recubierto especialmente, que se va consumiendo al mismo tiempo que el electrodo se utiliza. La mezcla que tiene la cubierta del electrodo está compuesta por arcillas de silicato y materiales en polvo como carbonatos, fluoruros, óxidos y aleaciones metálicas unidos con celulosa para adherirlo al electrodo. Al pasar la energía eléctrica a través del electrodo la corriente eléctrica se transforma en calor fundiéndose la cubierta de la varilla, así transformándose en gas y protegiendo la parte que se está soldando.

De manera que al ir avanzando la línea de soldadura, el arco forma el depósito de material que al enfriarse comienza a solidificarse formando la unión de las piezas metálicas, los depósitos de material se forman por medio de atracción molecular entre el material del electrodo fundido y las partes que se unirán más que por el efecto de gravedad esta es la razón por la que esta soldadura se puede usar hacia arriba. Los diámetros de los electrodos que se encuentran comercialmente van



desde 5/32" hasta 1/2". La cubierta del electrodo al iniciarse el proceso de soldado se convierte la mayor parte en gases de protección y escoria. Los propósitos de la cubierta gaseosa principalmente son los siguientes:

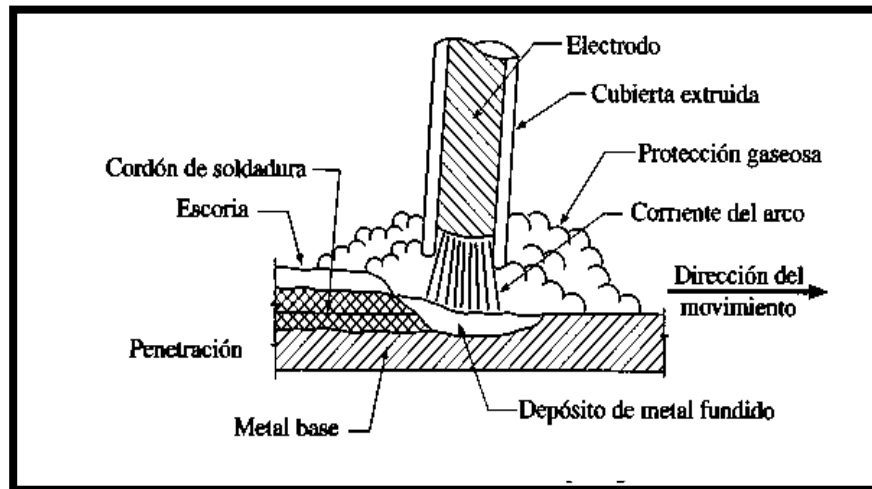
Al consumirse a una velocidad menor que el metal del núcleo del electrodo la nube de gas sirve para dirigir la corriente del arco.

A los gases formados por la combustión de la caliza y celulosa que recubren la varilla se les considera de protección debido a que resguardarán la soldadura del oxígeno y el nitrógeno del medio ambiente, evitando así la formación de óxidos y neutritos que provocarían la pérdida de ductilidad de la soldadura en otras palabras, la hacen quebradiza y propensa a la ruptura por fragilidad, también crean uniones de menor resistencia y con mayor riesgo a la corrosión.

Otra parte de los componentes de la cubierta como el magnesio, alúmina, óxido de magnesio y sílice forman la escoria del metal fundido. La escoria formada en contacto con el metal de aportación atrae y retiene las impurezas que se hayan podido formar en el metal de aporte, la escoria al ser más ligera sube a la superficie y protege del ambiente al metal recién depositado mientras se enfría y endurece.

Contienen desoxidantes como ferro-magnesio, ferro-silicio y ferro-titanio que reaccionan químicamente con el oxígeno, de tal manera que son una segunda barrera de defensa para el metal de aportación en caso de una posible falla del gas y la escoria.

La escoria deberá retirarse antes de aplicar cualquier tipo de pintura o cordón de soldadura adicional y se realizara mediante el cepillado o martillado cuidadoso en la sección de la unión que se decida.



Dibujo 3.1.- Elementos de la soldadura de arco protegido

Fuente: (Vinnakota 2006. Pág. 225).

### 3.7- Metal de aportación.

Al realizar una soldadura se fundirá la región del metal base situada delante del electrodo, mientras tanto el metal base se mezclara con el metal de aportación, que también se encuentra en estado líquido, posteriormente se dará la solidificación de la mezcla de los dos metales que unirá las dos partes entre las que se colocó el metal de aportación como lo estipula.

Cuando se desee estudiar esa zona de la junta conocida como metal de soldadura, deberá de tomarse en cuenta que está formada por metales base y metal

de aportación fundidos, que se mezclan en estado líquido y se solidificarán. Estos dos componentes son importantes en las propiedades finales de la soldadura, que pueden ser poco o muy diferentes entre el metal base y el de aportación, ya que la mezcla es de proporciones variables de ambas partes, el metal base no se podrá cambiar, salvo en casos muy extremos, puesto que ese es el material que deberá unirse. Por lo tanto es la aportación la que proporciona una manera efectiva de controlar la composición final y propiedades mecánicas de la soldadura.

Para la comprensión del origen y comportamiento del metal de soldadura deben tenerse en cuenta las tres fuentes que contribuyen a su formación: el metal base, el de aportación y el fundente. El porcentaje más alto suele provenir del metal de aportación proporcionado casi siempre por un electrodo consumible.

La composición del metal base que se funde y se mezcla con el de aportación es importante porque ésta debe estar diseñada para producir una soldadura satisfactoria, cuyas características podrían ser afectadas de manera desfavorable por un exceso de metal base, porque si los dos metales tienen composiciones diferentes la aleación resultante podría ser inadecuada. Estos porcentajes de metal base y de aportación pueden regularse variando los parámetros del proceso, para que al soldar aumente o disminuya la cantidad del metal base fundido.

La ingeniería de la soldadura podría simplificarse de manera considerable si se pudiese obtener con facilidad un metal de soldadura que tuviese propiedades físicas y mecánicas semejantes a las del metal base. Para llegar a esta condición pudiera parecer suficiente con utilizar un material de aportación que tenga la misma

composición química que el material que se esta soldando, pero al hacer esto no se llegaría al objetivo buscado, debido a las propiedades especiales que adquiere el metal base al fundirse y posteriormente volverse a solidificar. Además, los electrodos de igual composición a la del material base podrían ser inadecuados para las condiciones de transferencia del metal fundido, exposición a la atmosfera oxidante y enfriamiento rápido al que se somete el metal de aportación durante la colocación y después de ella. Estos factores son los que influirán en la composición química especial del metal de aportación.

### **3.8- Inspección visual.**

Según (Carabalí Lobo) dentro del campo de la Ingeniería Civil que se encarga de proporcionar elementos soldados de manera aceptable mediante procedimientos de soldado precalificados lo cual indicaría que no son necesarias las pruebas para su calificación de calidad, esto significa que si el metal de aportación es depositado adecuadamente, puede depositarse en el metal base satisfactoriamente, si el trabajo se realiza de acuerdo con los requisitos del Código de soldadura estructural de la AWS (Sociedad Americana de Soldadura).

Para la seguridad de un correcto proceso de soldado en un trabajo determinado deben seguirse tres pasos importantes

- 1.- Establecer buenos procedimientos de soldadura.
- 2.- Utilizar personal soldador calificado.

3.- La implementación de inspectores competentes tanto en taller como en obra.

Cuando se siguen correctamente los procedimientos establecidos por la AWS para soldaduras y utilizando la mano de obra calificada de soldadores, que previamente hayan demostrado su habilidad, es seguro que podrán obtenerse buenos resultados, pero la seguridad solo puede ser total cuando se cuente con un sistema de inspección calificada y capas.

En la meta de lograr una buena soldadura, existen varios factores dentro de los cuales pueden mencionarse la selección adecuada del electrodo, voltaje y corriente, propiedades del metal de aportación y el metal base así como también la posición de la soldadura. En el ámbito laboral donde debe ser muy minuciosa la calidad de la soldadura, por lo que suele usarse personal que cuente con certificados en los cuales muestran las calificaciones de cada soldador.

Los inspectores visuales proporcionados por la empresa pertinente es un factor que ayudara a los soldadores a realizar de una manera más adecuada su trabajo, y que por lo tanto les reconocerán el buen trabajo realizado cuando lo vean. Para que un inspector pueda desempeñar correctamente su trabajo evaluando las soldaduras realizadas en una estructura, es conveniente que cuente con la experiencia personal de haber soldado y dedicado bastante tiempo a observar el trabajo de buenos soldadores calificados.

Partiendo de estos conocimientos, el inspector contará con la capacidad de identificar si un soldador ha logrado la fusión y penetración correcta en la pieza que está trabajando. Así como también lograr reconocer buenas soldaduras en su forma, dimensión y apariencia general. Algunos aspectos que pueden hablar de la calidad de la soldadura son el color del metal después de realizar la soldadura y haberse enfriado, que deberá de asemejarse al que tenía antes de realizada la unión. Ya que si el elemento se calentó demasiado tomará un tono de color parecido al moño y con cierto matiz rojizo. La dimensión, uniformidad y forma de la soldadura también hablará de la calidad del trabajo realizado.

La inspección por parte de un hombre debidamente capacitado seguramente dará el visto bueno para una soldadura de calidad, pero no sería una fuente de información perfecta que represente la condición en el interior de la soldadura. El método de inspección visual seguramente es el más económico, pero particularmente útil para soldaduras de un solo pase y en la identificación de imperfecciones superficiales. Para determinar la calidad interna de las soldaduras existen diversos métodos, dentro de los cuales se encuentran las tinturas penetrantes o conocidas también como Líquidos Penetrantes, partículas magnéticas, ensayos de ultrasonido y radiográficas. Todos estos tipos de ensayos permiten la detección de defectos internos como las porosidades, falta de fusión o presencia de escorias.

Por su parte, el Manual de inspección visual I y II (2009) describe una serie de principios básicos para la inspección visual:

- a) La formación de la imagen: este fenómeno se presenta en el ojo humano u otro accesorio sensible a la luz, la mayoría de estos objetos están diseñados para la formación de imágenes.
- b) Las fuentes de luz: para la inspección visual son un factor de suma importancia, ya que una iluminación adecuada proporcionara fiabilidad del proceso que se realizara.
- c) Detección mediante fluorescencia: esta inspección se llevara a cabo bajo la influencia de de un compuesto químico aplicado para detectar discontinuidades en los metales. El término de fluorescencia se aplicara a los materiales que al ser expuestos a radiación produce una emisión de luz secundaria que resaltara.

### **3.9.- Líquidos penetrantes.**

Echevarría (2003), cataloga a los Líquidos Penetrantes como análisis No Destructivos que se emplean generalmente para evidenciar discontinuidades sobre casi cualquier tipo de materiales con alto grado de rugosidad o escamado, esta característica lo hace útil en innumerables campos de aplicación y por su puesto en el ámbito de la Ingeniería Civil con la inspección de soldaduras en estructuras metálicas.

El método de Líquidos Penetrantes tuvo sus inicios en los años posteriores a la segunda guerra mundial, a causa de la necesidad de contar con un método alternativo a las Partículas Magnéticas, el cual para su aplicación requiere materiales

con características ferromagnéticas. La aplicación de los Líquidos Penetrantes basada en la capilaridad puede identificar rápida y confiablemente imperfecciones como las discontinuidades abiertas a la superficie, las fisuras y las porosidades.

Es importante mencionar que esta prueba puede efectuarse a una gran variedad de elementos sin importar si su composición es ferrosa o no. El origen de la prueba de Líquidos Penetrantes se remonta a finales del siglo XX en los talleres ferroviarios de Harford en Estados Unidos de América, donde se aplicaba una prueba basada en “aceite y blanqueo” para la detección de fisuras ocasionadas por la fatiga en los componentes de locomotoras y vagones. Dicha técnica consistía primeramente en la limpieza del elemento que se deseaba ensayar y esperar a su secado, para posteriormente sumergir la pieza en una mezcla que consiste en un 25% de aceite caliente y 75% de queroseno durante algunas horas, después procedía a secarse con queroseno eliminando el exceso con papeles y trapos. El siguiente paso consistía en blanquearlo con una suspensión alcohólica a la que añadían cal o tiza, para finalmente observar si exudaban algún resto del aceite en la cal procedente de las zonas defectuosas, las características de los materiales empleados para realizar las pruebas ocasionaban una falta de contraste que hacía poco acertado el método.

En el año de 1941 Roberto y José Switzer presentan el método mejorado que posteriormente venderán a la compañía Magnaflux Corporation. Así con la nueva comercialización de los E.N.D (Ensayos No Destructivos) de Líquidos Penetrantes de mayor precisión pueden detectar bajo ciertas condiciones grietas de dimensiones hasta una décima parte de micrón.



Las técnicas actuales para la realización de pruebas de Líquidos Penetrantes podrían resumirse en cinco fases.

1.- Limpieza inicial y secado: que consiste en la eliminación de cualquier tipo de residuo en la zona de interés para la realización del ensaye de manera que se dejen descubiertas las posibles discontinuidades, para después dejar secar la zona.

2.- La aplicación de Líquido Penetrante y tiempo de penetración: al aplicar el Líquido penetrante en la zona de interés y dejarlo actuar el tiempo necesario para permitir que este se introduzca por capilaridad en dentro de las discontinuidades.

3.- Limpieza intermedia: se removerá el exceso de Líquido Penetrante, evitando extraer aquel que allá logrado penetrar en las fallas. Esta limpieza podrá realizarse mediante lavado con agua, solventes o aplicando alguna emulsionante, según sea la técnica utilizada.

4.- Secado: se secura la pieza con el agente limpiador.

5.- Aplicación del revelador: sobre la superficie ya preparada se procederá a aplicar el revelador, una vez evaporada deja una fina capa de polvo. El revelador consiste en un polvo el cual realizará el contraste para resaltar las discontinuidades, absorbiendo y llevando a la superficie el penetrante atrapado en las discontinuidades haciendo visibles. Esta acción consiste en una combinación de efectos de disolución y absorción. Los reveladores se clasificarán en tres categorías generales, de las cuales cada una de ella cuenta con subdivisiones:

I) Polvos secos: este tipo de revelador se utiliza con Líquidos Penetrantes fluorescentes, puesto que los Líquidos Penetrantes coloreados no producirían suficiente contraste. Estos están compuestos de polvo de sílice amorfo o coloidal, con pequeños porcentajes de polvo de talco, silicato, sales de calcio y polvos de titanio estos últimos aportan peso para su decantación sobre la pieza.

II) Dispersiones y soluciones acuosas: húmedos acuosos los cuales pueden ser:

a) Dispersión de polvo en agua.

b) Solución de polvo en agua.

III) Suspensión de polvo en disolventes volátiles no acuoso: húmedos no acuosos y se dividirán en:

a) No inflamables (solventes colorados).

b) Inflamables (solventes no colorados).

La composición química de los reveladores son un secreto de los fabricantes en cuanto a su porcentajes de las mezclas y sus diversos componentes.

Deberán poseer características tales como elevada capacidad de absorción, contar con facilidad para su dispersión de tal manera que pueda realizarse en forma uniforme sobre el ensaye que se estudiara. Proporcionaran un contraste adecuado de modo que para lograr esto deberán ser de color blanco para Líquidos Penetrantes

coloreados. No fluoreser para Líquidos Penetrantes fluorescentes. Y por último que cuenten con un proceso de remoción sencillo después del examen.

Inspección y evaluación: en esta etapa final el revelador absorberá el Líquido Penetrante retenido en las discontinuidades, llevándolo a la superficie para hacerlas visibles, esto puede ser por contraste o mediante fluorescencia.

Limpieza final: aunque los materiales utilizados no deberían generar corrosión al elemento que se ha ensayado, es preferente que se eliminen los restos para prevenir posibles daños posteriormente.

### **3.10.1.- Líquidos penetrantes con base oleosa y no oleosa.**

Debido a la extensa gama de productos de Líquidos Penetrantes existentes en el mercado es complicado hacer una elección, pero si dejan a un lado los productos especiales, se podría realizar una clasificaron en función de la base en la que está constituido el producto.

Penetrantes con base oleosa: su formula estará basada en una mezcla de hidrocarburos parafinados (de reacción lenta) y aromáticos (no inodoro pero empleado por ser excelente solvente de pigmentos). Los Líquidos con esta composición básica no deberán usarse en la inspección de recipientes contenedores de oxigeno liquido debido a que podría provocar explosiones.

Penetrantes con base no oleosa (inorgánicos): se caracterizan por la composición de de pigmentos inorgánicos. Poseen una menor sensibilidad en

comparación a los que están basados en soluciones oleosas, por lo que deben de ser empleados inspecciones donde no es necesaria tanta precisión, en consecuencia su costo de adquisición es relativamente bajo. En comparación con los Líquidos de base oleosa, estos si pueden utilizarse para ensayarse en embases de oxígeno líquido ya que ayudara a prevenir explosiones.

Otras clases de Líquidos Penetrantes existentes suelen ser los Penetrantes de altas temperaturas que están fabricados a base de ceras con aditivos de solventes no inflamables. Son menos densos que los de base oleosa y el rango de temperatura máxima en las que pueden operar es de 200 a 250°C.

### **3.10.2.- Ventajas y limitaciones de los Líquidos Penetrantes.**

Dentro de las ventajas con las que cuenta este método se encuentra la característica de la relativa simplicidad de aplicación y control, así como también la versatilidad para utilizarse en metales ferrosos y no ferrosos. Aunado a estos puntos a favor entra la importancia del bajo costo del procedimiento ya que no requiere de equipos de alta tecnología.

Las limitaciones implicadas que se encuentran en el método de Líquidos Penetrantes es que solo podrá detectar imperfecciones abiertas a la superficie. No será adecuado su uso en superficies muy rugosas o porosas.

### **3.10.3.- Técnica y procedimiento de aplicación.**

La preparación de las piezas de trabajo y el tratamiento consistirá en la limpieza y secado de la pieza para continuar con pruebas como la medición de la temperatura para cerciorarse que este dentro de la normativa, la identificación de la zona en la que se realizara el ensaye deberá cubrir una longitud de por lo menos 1 pulgada (2.54 cms) hacia las zonas adyacentes de interés, así como también la protección de las aéreas en las que no serán inspeccionadas para no cubrirlas con Liquido Penetrante ya que esto podría desviar la atención de la zona de interés.

Para la realización de una inspección adecuada deberá contar con una preparación superficial minuciosa ya que es una de las etapas críticas de este procedimiento, que de lo contrario las discontinuidades podrían quedar obstruidas ocasionando que el Penetrante no pudiera penetrar.

La elección del método de limpieza deberá hacerse en base al tipo de contaminante que deberá ser removido y el material del que esté constituido el elemento. Los productos utilizados para la limpieza inicial de las piezas se denominan "Cleaner". Otros factores de importancia son el tamaño de la pieza, el historial de temperaturas a las que ha sido sometida, dureza y aleación de la pieza. Para esto se mencionan las variantes de productos disponibles para limpieza.

a) Solventes: este se deberá aplicar para la remoción de contaminantes orgánicos como lo son aceites y grasas. No son recomendables para agentes inorgánicos. No se deberán dejar residuos en lo más mínimo debido a su alto nivel de volatilidad lo que la hace peligrosa en interiores poco ventilados. El solvente

denominado Tricloroetileno deberá ser empleado solamente para la limpieza inicial ya que podría contaminar el Penetrante.

b) Vapores desengrasantes: son usualmente los más utilizados y efectivos para eliminación de suciedad orgánica, un ejemplo de este tipo es el Tricloroetileno, pero debido al poco tiempo de contacto del vapor con la superficie es posible que la suciedad incrustada en las discontinuidades profundas no sean extraídas en su totalidad, por lo que es recomendable usar un segundo para la limpieza final.

c) Soluciones detergentes: la especialidad de esta solución radica en su uso para la eliminación de agentes inorgánicos. Se constituyen de una base de agua que contiene surfactante, que tiene la tarea de reducir la tensión superficial, facilitando de esta forma la acción del agente detergente. La solución podrá ser acida, alcalina o neutra, pero no corrosiva.

d) Soluciones con acción química (decapantes ácidos y alcalinos): este se utiliza cuando se desee eliminar óxidos, decapar que consiste en la eliminación química abrasiva de impurezas. Se deberá prestar especial cuidado al lavado final para no dejar residuos ácidos especialmente de ácido crómico ya que reducen la fluorescencia del Penetrante. Sin embargo es de gran ayuda este tipo de limpieza cuando se desea inspeccionar superficies con recubrimientos como pintura o barnices. Estas son soluciones acuosas no inflamables que contienen una variedad de detergentes para diferentes tipos de suciedad, pueden utilizarse en forma caliente para la remoción de óxidos y herrumbre (óxido de hierro).

e) Limpieza ultrasónica: está catalogado como el mejor método para la remoción de suciedad dentro de las discontinuidades aunque este método implica una inversión alta en equipamiento.

f) Métodos mecánicos como el arenado, cepillado y amolado: al aplicar este método de limpieza se tendrá sumo cuidado, ya que se podrá correr el riesgo de tapar las discontinuidades por la creación de deformaciones en la superficie así como también obstrucciones con partículas abrasivas.

g) Removedores de pinturas: estos removedores serán de marcas comerciales y suelen ser solventes o del tipo de los alcalinos que pueden utilizarse en caliente con temperaturas de 80 a 90°C. La pieza deberá ser enjuagada y secada perfectamente luego de la remoción como lo indica Echevarría (2003).

Las condiciones bajo las cuales se deberá efectuar el secado de la pieza que se ha limpiado deberá llevarse a cabo de manera natural a través de la evaporación, recirculación de aire caliente o frío ya sea por medios mecánicos o manuales, a una temperatura de la pieza de entre 16 y 52°C y dependerá directamente de los productos aplicados y del material en donde se realizará el ensaye.

La aplicación del Penetrante podrá realizarse por medio de tres técnicas diferentes, las cuales serán la inmersión, con pincel y por espray. El tiempo de penetración del Líquido es crucial y depende de la temperatura a la que se realizara el ensaye, tipo de discontinuidad, el material sobre el cual se efectuara la prueba, el tiempo mínimo requerido será el recomendado en la norma o la persona calificada

que efectúa el procedimiento. Mientras que la temperatura especificada será de entre 16 y 52°C.

La remoción del exceso del agente Penetrante se llevará a cabo luego de que el tiempo indicado haya transcurrido, esta remoción se deberá realizar con el cuidado de no retirar aquel líquido que esté retenido en las discontinuidades. Este procedimiento deberá ser realizado bajo luz blanca para penetrantes coloreados y bajo luz negra para los fluorescentes. La remoción estará en función del tipo del Líquido Penetrante y se dividen de la siguiente manera.

a) Penetrantes lavables en agua: debido a que la mezcla contiene cierta cantidad de emulsionante podrá ser removido solamente con la aplicación directa de agua, de modo que el chorro forme cierto ángulo con la pieza que se estará limpiando. El procedimiento se deberá realizar con agua en el rango de 10 a 40°C de temperatura.

b) Penetrantes postemulsificables lipofílicos: esta categoría de penetrantes no posee emulsificador incorporado, por lo que se podrá remover por el método de inmersión o por rociado.

El secado: cuando el tipo de procedimiento lo requiera se deberá secar de manera que el aire caliente sea recirculado por el elemento, cuidando que la temperatura de la pieza no supere los 52°C.

Aplicación del revelador: se hará luego de la remoción del penetrante y el secado de la pieza, los reveladores se encuentran clasificados de la siguiente manera:



a) Revelador seco: este se aplicará después de que la pieza allá sido secada y podrá ser de las siguientes maneras. Espolvoreándolo y removiendo el exceso con una corriente de aire seco muy suave. La segunda manera que constará en la inmersión de la pieza dentro del polvo, sacudiéndolas suavemente al retirarlo del depósito de polvo. De otra forma más detallada puede ser aplicable con una brocha suave.

b) Revelador soluble en agua: esta clase de reveladores de aplicara después de la remoción y antes del secado. Este tipo de reveladores y serán aptos para el uso conjunto con los líquidos fluorescentes y coloreados. La aplicación podrá realizarse diluyendo los polvos en agua según las especificaciones del fabricante que generalmente serán de 0.12 a 0.24 kg/lt. Ya que el polvo es soluble en agua no requiere agitación continua. Al aplicar el revelador antes del secado se disminuye así el tiempo de revelado.

c) Revelador en suspensión acuosa: se deberá aplicar después de la remoción y antes del secado, los métodos de aplicación podrán ser por inmersión, vertido y mediante spray. Su aplicación será apropiada para combinarlo con Líquidos Penetrantes fluorescentes y coloreados. Se aplican mezclándolos con agua para formar la suspensión, se deberá tener el cuidado debido para mantener el polvo en suspensión ya que demasiado polvo o muy poco revelador sobre la superficie de la pieza podría afectar la sensibilidad del ensaye. La formula contendrá agentes dispersantes que ayudarán a mantener las partículas en suspensión, así como también agentes inhibidores de corrosión y humectantes que serán de utilidad en la limpieza final.

d) Reveladores suspendidos en solventes: serán usados después del secado y podrá ser aplicado mediante aerosol y spray electrostático. Este tipo de revelador proporcionará una capa muy blanca sobre la superficie proporcionando un contraste máximo tanto para Líquidos Penetrantes fluorescentes y coloreados.

Después de haber seleccionado y aplicado el revelador, se espera el tiempo transcurrido para el revelado.

Las condiciones bajo las cuales se deberá de efectuarse la inspección de resultados para Líquidos Penetrantes fluorescentes serán con el área de inspección oscurecida. Otros factores que deberán tomarse en cuenta serán que el observador deberá permanecer por lo menos 5 minutos dentro del área oscurecida para adaptar su visión antes de comenzar el examen. La lámpara de iluminación ultravioleta deberá mantenerse cuando menos 5 minutos antes de su uso en la prueba.

La secuencia y tiempo de observación iniciará cuando el revelador allá secado completamente, para la inspección final deberá realizarse dentro de los 7 a 30 minutos posteriores al secado del revelador.

#### **3.10.4.- Reporte de líquidos penetrantes.**

La interpretación de los resultados e identificación de los tipos de defectos deberá de ser cuidadosa, ya que el método podría llegar a proveer indicaciones indirectas, así que no se podría determinar en primera instancia si es una indicación

falsa, real o no relevante. Podría definirse a una indicación real la cual es un defecto indeseable como una fisura y a una indicación relevante serán indicaciones reales que están fuera de las especificaciones permitidas. Las indicaciones no relevantes serán aquellas que a causa de la retención de Líquido Penetrante por características de la pieza son aceptables, en tanto que las indicaciones falsas se darán a causa de una acumulación de Penetrante y no por una discontinuidad, sino por gotas caídas sobre la pieza por descuido del inspector.

Se llevarán objetos que ayuden a la verificación de los resultados tales como lupas de 3 a 10 aumentos e instrumentos de medición de diferentes unidades de longitud.

El informe escrito que se deberá presentar debe incluir una serie de datos enlistados a continuación:

- a) Nombre del cliente.
- b) Normas de referencia y código de la especificación del ensayo.
- c) Identificación de la pieza, tipo de material, condiciones de la muestra y superficie que se examinara.
- d) Productos que se utilizaran, marcas e identificación del fabricante.
- e) Procedimiento de aplicación del penetrante y tiempo de penetración.
- f) Procedimiento de remoción, tipo de emulsificación y secado si se aplicara.
- j) Condiciones y tiempo bajo las cuales se realizara la observación.

k) Registro de las observaciones como fotos, esquemas etc.

l) Conclusiones y evaluación del resultado de los ensayos.

Toda la documentación deberá ser firmada por el inspector responsable del ensayo.

### **3.11.- Partículas magnéticas.**

En el apartado referente a las inspecciones de soldadura en la obra de McCormac (2003) se establece que en las Partículas Magnéticas se necesita magnetizar eléctricamente la pieza que se ensayará, de esta manera los bordes de las grietas superficiales o cercanas a la superficie se tornaran polos magnéticos (norte y sur a cada lado de la grieta), de esta manera al esparcirse el polvo seco de hierro o un líquidos con polvo en suspensión, entonces el campo magnético será tal que el polvo esparcido sobre la pieza ubicará y tomará la forma de la grieta, incluso su tamaño. Las imperfecciones que se podrán detectar con este método serán grietas, costuras e inclusiones a aproximadamente un décimo de pulgada por debajo de la superficie. Las limitaciones que se encontrarán al usar este método será que al aplicarlo a elementos soldados con múltiples cordones, la exanimación deberá realizarse a cada cordón individualmente.

### **3.12.- Identificación de fallas en soldaduras.**

Debido a la importancia que tienen las soldaduras para la industria de la construcción en general llámese naval, industrial, edificaciones y toda obra que

involucre estructuras metálicas. Y como ya se mencionó anteriormente, deben ser de buena calidad entendiéndose por esto que cumplan con las normativas establecidas para cada tipo de estructura y con el menor costo.

Entonces debido a que en todas estas estructuras se ve reflejada directamente la integridad y seguridad de las personas, es precisa la verificación de cada elemento unido de esta forma e identificar las partes donde se presente alguna discontinuidad, entendiéndose que esto consistirá en la pérdida de homogeneidad del material aplicado para la unión de elementos. Entonces un defecto en la soldadura será considerado como una discontinuidad inaceptable que deberá de ser reparada inmediatamente.

Las discontinuidades se podrían clasificar en sobre monta excesiva, salpicaduras, concavidad, desalineación, falta de fusión, falta de penetración, penetración excesiva.

Todas las discontinuidades que se enunciaron podrían ser evitadas bajo la implementación de soldadores calificados, capacitación y concientización del personal acerca del riesgo y costo que implicaría un mal trabajo. También deberá trabajarse siempre bajo la normativa establecida.

Durante el desarrollo de este capítulo se estudió más a fondo los detalles que se ven involucrados en el proceso de soldado de estructuras metálicas, también se describió el método de Líquidos Penetrantes utilizado en las soldaduras para verificar que no presente defectos que puedan afectar el cumplimiento requerido de seguridad y calidad para su correcto comportamiento estructural.

## CAPÍTULO 4

### RESUMEN DE MACRO Y MICRO LOCALIZACIÓN

Continuando con la presente investigación se mostrarán las generalidades de las estructuras a las que se aplicará el estudio, las regiones climáticas de México, el uso del acero como material estructural en obras de gran importancia en el país, así como el acero en estructuras a menor escala, tomando en cuenta el estado actual de los elementos después del procedimiento de soldado teniendo en cuenta las alternativas de métodos de inspección a soldaduras y la elección del método de inspección de soldaduras existentes.

#### **4.1.- Generalidades de las estructuras a las que se aplicará el estudio.**

Dentro del ámbito de la edificación en México, desde sus comienzos las estructuras se han realizado principalmente con materiales pétreos los cuales son el concreto, las piezas de barro recosidas conocidas comúnmente como tabique y el acero corrugado de refuerzo que se usa en conjunto con el concreto para ayudar a soportar la flexión en elementos como trabes y columnas, ya que es bien sabido que el concreto trabaja principalmente a compresión, de esta manera los dos materiales trabajan en conjunto para soportar adecuadamente los esfuerzos de flexo-compresión a los que será sometida la estructura cuando se encuentre en funcionamiento y se comporte lo más semejante a la forma en la que se idealizó el diseño.

Otro factor de vital importancia que encontramos es que no se necesita mano de obra tan calificada para realizar el trabajo de construcción con estos materiales en comparación con lo que la es en las estructuras de acero. Aunado a esto se encontró un factor decisivo para la elección de uno u otro material, el cual es la comparativa del costo entre construir estructuras de acero y concreto. Ya que los costos del acero tienden a ser mas volubles que los del concreto y sus materiales que se utilizan en la elaboración de estos elementos.

Hoy en día, poco a poco se le ha ido dando más aceptación y confiabilidad a las estructuras de acero dentro del campo de la Ingeniería Civil, aunque la elección de este sigue reservándose a estructuras con cierto grado de especialidad como edificios de gran altura, los cuales podrán diseñarse con elementos esbeltos y al final de su construcción serán más ligeros que sus similares de concreto, ahorrando así en costos de cimentaciones mayores. Otro factor que es decisivo será el tiempo con el que se cuente para el termino de la obra en la que se esté trabajando, ya que los elementos de acero al llegar a la obra sólo esperan ser ubicados en su posición y realizar la unión con el resto de la estructura dándole un avance rápido a su construcción.

#### **4.2.- Regiones climáticas de México.**

Dentro del territorio que corresponde a la república mexicana, encontramos casi la mayoría de climas que se conocen desde las planicies áridas del norte hasta las regiones tropicales en el sur.

Las regiones naturales de México están determinadas por factores y elementos como el clima, situación geográfica, orografía y la hidrología entre otros, los cuales determina el entorno geográfico.

La región 1 ubicada en el noroeste del país ocupa la costa oeste de la península de Baja California, con un clima muy seco y temperaturas que varían desde semi-cálidas a templadas y con un pico de lluvias en invierno. Representa el 2 por ciento del territorio nacional.

La región 2 comprende el golfo de California abarca la costa este de la península de Baja California y su parte central, el estado de Sonora (excepto el extremo sur) y el suroeste del estado de Chihuahua. El clima es en general muy seco con temperaturas desde muy cálidas a templadas. El régimen de lluvias es intermedio. Tierra adentro, el clima se torna más húmedo, del tipo árido a semiárido y en las tierras altas llega a ser sub-húmedo, con regímenes de temperatura que van desde muy cálidas a semi-cálidas y a templadas. Esta región comprende un 14 por ciento del área de México.

Región 3 ubicada en el Pacífico central comprende los estados de Sonora (sur), Sinaloa, Chihuahua (extremo suroeste), Nayarit, y Durango (borde oeste). La planicie costera tiene un clima muy árido a semi-árido. Tierra adentro, los regímenes de temperatura son cálidos y se vuelven sub-húmedos hacia las montañas. Tiene un régimen de lluvias de verano. Esta región cubre el 8 por ciento del país.

En la región 4 predomina un clima muy seco, semi-cálido a templado en esta región. A lo largo de la frontera el régimen de lluvia es intermedio y en el resto del



área presenta un régimen de lluvia estival. Hacia las montañas y hacia el sur, el clima cambia a seco y semi-seco, con temperaturas que van de semi-cálidas a templadas. Es la región climática más extendida de México con 26,5 por ciento del territorio. Esta región cubre los estados de Chihuahua, Coahuila (parte oeste), Durango, Zacatecas (parte norte), San Luis Potosí, y los extremos occidentales de Nuevo León y Tamaulipas, así como el norte de Aguascalientes, Guanajuato y Querétaro.

La región 5, ubicada en el centro se extiende a través de los estados de Zacatecas (sur), Aguascalientes, Guanajuato, Hidalgo, Nayarit (este), Jalisco (excepto la costa) y el Distrito Federal, así como Michoacán (norte), México, Tlaxcala y Puebla. El clima es sub-húmedo, con algunas variantes; las temperaturas son semi-cálidas o templadas y las lluvias presentan un máximo en verano. Esta región ocupa 9,7 por ciento del territorio.

La región 6 en el Noreste, esta región incluye los estados de Tamaulipas, Nuevo León y la franja oriental de Coahuila. El clima va desde semi-árido a árido y la temperatura desde semi-cálida a cálida. El régimen de lluvia es intermedio en la franja fronteriza y estival en las partes centro y sur. Cubre 9 por ciento del país.

La región 7 en el Golfo de México cubre el sur del estado de Tamaulipas y las porciones occidentales de los estados de San Luis Potosí, Querétaro y Oaxaca; norte del estado de Hidalgo; los estados de Veracruz y Tabasco así como el norte de Chiapas. El clima es predominantemente húmedo o sub-húmedo con temperaturas desde semi-cálidas a cálidas. Presenta un régimen de lluvias intermedio o estival y cubre el 9 por ciento de México.

En la región 8 ubicada en el Balsas-Valle de Oaxaca y el clima varía desde semi-árido a sub-húmedo con temperaturas cálidas y un régimen de lluvias estival. Incluye el sur de los estados de Jalisco, México e Hidalgo, la franja central del estado de Michoacán y los estados de Morelos, Puebla y Guerrero (excepto la costa) así como la franja central de Oaxaca. Comprende el 7,5 por ciento del territorio nacional.

La región 9 en el Pacífico sur, comprende el estado de Colima, y las costas de los estados de Jalisco, Michoacán, Guerrero y Oaxaca. El clima es sub-húmedo y las temperaturas pueden ser cálidas, semi-cálidas o templadas en las tierras altas. Tiene un régimen de lluvias estival. Cubre el 4,2 por ciento de México.

La Región 10 en el Sureste, esta región incluye el sur del estado de Chiapas y el extremo oriental del estado de Oaxaca. El clima es húmedo, decreciendo gradualmente a sub-húmedo en las tierras altas, con temperaturas que pueden ser cálidas, semi-cálidas y templadas. Tiene lluvias de verano y cubre 2,9 por ciento del país.

Por último la región XI en la Península de Yucatán, comprende los estados de Campeche, Yucatán y Quintana Roo. El clima es sub-húmedo, con altas temperaturas. La sección occidental tiene lluvias estivales mientras que la porción restante es intermedia. Ocupa el 6,7 por ciento del territorio de México.

Todos estos climas ya mencionados que aparecen en la república mexicana, son importantes considerarlos en la construcción de estructuras de acero ya que intervienen en la decisión de medidas de mantenimiento que se le dará a la estructura a lo largo de su vida útil.

#### **4.2.1.- Uso del acero como material estructural en obras de gran importancia en el país.**

En la mayoría de las estructuras donde se ha empleado este material en las diferentes regiones de México ha sido reservado su uso solamente para las que reúnen con ciertas características como los son la altura de la estructura, las condiciones del suelo donde se desplantara, en caso de puentes vehiculares la distancia entre claros que se deba salvar y para puentes ferroviarios donde hasta hace relativamente poco tiempo se comenzó a usar, se tendrá especial cuidado a las cargas vibratorias que será sometido y la conexión entre cada uno de los elementos tanto principales como secundarios, ya que este medio de transporte como lo conocemos en el país se ha reservado casi exclusivamente para el transporte de grandes volúmenes de carga.

En las obras donde también se ha elegido el acero para sus estructuras son algunas cubiertas de estadios donde si bien, no son elementos que ayudan a canalizar las fuerzas a las que está sometida la estructura, deben contarse con ellas para su funcionalidad y comodidad de los visitantes.

En los últimos años la participación del acero ha tenido una incursión importante en la construcción de edificios de arquitectura contemporánea, en la que el campo de la edificación de estructuras de acero ha llegado a ocupar el 21% de la construcción total en el país. Los sistemas estructurales modernos para edificios de acero contemporáneos utilizados actualmente son ilimitados, partiendo de una estructura de acero se puede proyectar y diseñar prácticamente cualquier forma

deseada por el proyectista. Alrededor del mundo ahí iconos representativos de estos edificios, en la ciudad de México contamos con la Torre Mayor y el Museo Soumaya por mencionar solamente algunas.

Las formas comunes y convencionales de los edificios en las urbes de las grandes ciudades metropolitanas de México han ido desapareciendo poco a poco para dar paso a tipografías totalmente irregulares. La irregularidad de estos nuevos edificios van dirigidos a la arquitectura vertical y orgánica e intencional, lo que garantiza que ninguna estructura sea igual a otras. Para las nuevas tendencias de edificación el acero no cumple solamente con el requisito de material estructura sino que también se utiliza para formar elementos decorativos que le den clase y distinción a cada edificio.



Foto 4.1.- Estructura de acero del Museo Soumaya, Ciudad de Mexico

Fuente: internet.

Aunado a las características que se mencionaron de este material entra otra característica de gran importancia que es la construcción sustentable y amigable con el medio ambiente por sus beneficios de reciclaje. El uso de las estructuras de acero en México ha demostrado que este sistema tiene excepcionales características que permiten proyectar obras sumamente complejas que con otro material sería difícil materializar.

#### **4.2.2.- Uso del acero en estructuras a menor escala.**

Si bien no sólo se reserva el uso de las estructuras de acero para grandes edificaciones y tampoco solamente para elementos principales. Dentro de algunos elementos estructurales primarios como las trabes y las columnas que conforman la super estructura ahí elementos que también son de gran importancia como los atizadores que cumplen la función de rigidizar al elemento en la mayoría de los casos para trabes armadas ubicadas en puentes. En estructuras de menor escala dentro de las edificaciones se llega a utilizar para albergar pequeños estacionamientos, bodegas con sistema de cubierta a base de armaduras de acero, anuncios espectaculares para los cuales se implementa igualmente este material al igual que la soldadura y los tornillos para realizar la unión de los diferentes elementos que constituyen estas estructuras.

A continuación se mostrarán una serie de fotografías tomadas en la ciudad de Uruapan, Michoacán en las cuales se muestran diferentes tipos de elementos los cuales ya han sido soldados y se encuentran actualmente en servicio. Estos elementos han recibido una capa de pintura que los ayudará a resistir la corrosión.

#### 4.3.- Estado actual de los elementos despues del procedimiento de soldado.

Una vez que se las piezas independientes de acero son unidas llegan a formar las siguientes estructuras que fueron diseñadas para cumplir una determinada funcion.



Foto 4.2.- Unión de placa base a cartabones y columna mediante soldadura de filete.

Fuente: Propia.



Foto 4.3.- Unión combinada de tornillos y soldadura de placa base a columna principal con soldadura de filete.

Fuente: Propia.



Foto 4.4.- Conexión de trabe y columna principal con placa de apoyo para la trabe.

Fuente: Propia.



Foto 4.5.- Unión de trabe secundaria al alma de la trabe principal mediante un Angulo y apoyada en el patín inferior.

Fuente propia

#### **4.4.-Alternativas de métodos de inspección a soldaduras.**

Otros métodos para el control de calidad de soldaduras son el procedimiento de radiografía que consta en el uso de una máquina de Rayos-X portátil, funciona mediante isotopos de Radio o Cobalto radiactivo para tomar las fotografías de la pieza que se esté inspeccionando. Este es un método muy confiable ya que se tiene una imagen completa del interior de la unión pero a su vez son procedimientos bastantes costos y que requieren personal muy especializado.

Su efectividad se ve reflejada en uniones soldadas a tope como en tuberías importantes de acero inoxidable, utilizadas en proyectos de energía atómica, pero aun no se logran buenos resultados para las soldaduras de filete, ya que las fotografías son difíciles de examinar

Una de las desventajas principales de este método es el peligro de la radiactividad, ya que hay que utilizar procedimientos y equipos para proteger a los técnicos y trabajadores cercanos al lugar donde se efectuó la prueba.

Por otro lado la prueba de calidad basada en ultrasonidos, utilizada en la industria de manufactura del acero incursiono al control de calidad de soldaduras.

Las ondas sónicas se envían a través del material que vaya a inspeccionarse y se reflejan desde el lado opuesto de este, la onda sónica reflejada se detecta en un tubo de rayos catódicos. Los defectos de la soldadura afectan el tiempo de transmisión del sonido y así el operador puede verlos en el tubo, localizando las fallas y determinar que tan importantes son.



#### **4.5.- Alternativa escogida de los diferentes tipos de inspección de soldaduras existentes.**

La opción elegida a las diferentes pruebas que pueden realizarse para la inspección de soldaduras fueron los Líquidos Penetrantes por las ventajas que tiene sobre los otros métodos, como los son el costo de la prueba, menor riesgo de los trabajadores involucrados en el proceso y facilidad de realizar las pruebas a los elementos en la obra si se requiere.

## CAPÍTULO 5

### METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Continuando con la presente investigación se definirá el método de investigación empleado, enfoque de la investigación a la que se orientaron los estudios realizados, el alcance de la investigación, como es el diseño de la investigación, los instrumentos que permitirán la recopilación de datos y la descripción del proceso de investigación.

#### **5.1.- Método empleado.**

Como menciona Mendieta (2005) la presente investigación está sustentada bajo el marco de los métodos científicos y matemáticos que se describirán a continuación:

El método matemático fue una de las primeras nociones conceptuales que ha captado el ser humano, de la misma manera día a día y sin darse cuenta de que se aplica un procedimiento científico, se comparan cantidades, valores económicos y de capacidad. Este método en el campo de las matemáticas indica el origen del objeto.

En las investigaciones de cualquier índole donde se vean involucrados números de relaciones constantes, hipótesis variables para comprobar o refutar un fenómeno, se está aplicando un método cuantitativo. El cual se aplica a la presente investigación ya que intervendrán valores y mediciones a objetos determinados.

El método científico que es propio de la investigación científica se considera inductivo, ya que éste observa los fenómenos particulares para encontrar leyes o conceptos no descubiertos por el ser humano. Este método se apoya en los vastos conocimientos del propio investigador, para iniciar la formulación de supuestos o posibilidades en base al tema que se investigara.

Con el trabajo realizado el investigador, enriquecerá el conocimiento y podrá descubrir los fenómenos que se ajusten a la hipótesis realizada inicialmente.

## **5.2.- Enfoque de la investigación.**

El enfoque utilizado en esta investigación pertenecerá al tipo cuantitativo, el que consiste en la recolección de datos para así probar una hipótesis, basado en las mediciones numéricas y análisis estadísticos. Estableciendo así patrones en el comportamiento para probar las teorías establecidas, que presenta un conjunto de procesos ordenados y secuenciales.

Cada etapa del proceso conlleva a la siguiente, por lo tanto no se puede saltar u omitir ningún paso, del estricto orden. Partiendo de una idea que va desarrollándose y que una vez definida, deriva en objetivos y plantea las preguntas de investigación, apoyándose en la bibliografía correspondiente al área de investigación y construyendo una perspectiva teórica así lo estipula Hernández y Cols (2004).

De las preguntas resultantes en la hipótesis establecida y la determinación de las variables, se desarrollara una estrategia para probarlas, haciendo las mediciones de las variables en un contexto determinado, mediante el análisis de las mediciones obtenidas ayudándose de métodos estadísticos y estableciendo las conclusiones pertinentes a las hipótesis establecidas en la obra de Hernández y Cols (2004).

Dentro del enfoque cuantitativo se destacan las siguientes características:

- ✓ Los investigadores plantean un problema a estudiar delimitado y concreto, por lo que sus preguntas de investigación serán cuestiones específicas.
- ✓ Una vez que se ha planteado el problema a estudiar, los investigadores involucrados considerara los estudios realizados anteriormente, construye un marco teórico, de la cual derivara una en una o varias hipótesis, las cuales serán sometidas a prueba mediante el empleo de los diseños de investigación apropiados. Si los resultados obtenidos corroboran las hipótesis planteadas o son afines a estas, se aportara evidencia a favor de la hipótesis en estudio, en caso de ser refutadas, se descartaran en busca de explicaciones mejores y nuevas hipótesis.
- ✓ Las hipótesis establecidas se crearan antes de comenzar la recolección y análisis de los datos
- ✓ La recolección de los datos se basa en la medición de las variables o conceptos establecidos en las hipótesis. Esta recolección se realiza utilizando procedimientos estandarizados y aceptados por la comunidad científica. Para que esta investigación sea aceptada y creíble para el resto de la comunidad

científica, debe demostrarse que se siguieron adecuadamente tales procedimientos.

- ✓ Debido a que los datos son producto de mediciones representadas mediante números estos datos se deben analizar con métodos estadísticos.
- ✓ Los análisis cuantitativos se interpretan a la luz de las predicciones iniciales formuladas en la hipótesis, y de teorías realizadas previamente.
- ✓ La investigación cuantitativa debe ser hasta donde sea posible lo más objetiva e imparcial posible, los fenómenos observados o que se midan, no deberán ser afectados por los investigadores, ni por su criterio.
- ✓ Los estudios cuantitativos siguen un patrón predecible y estructurado, por lo que debe tener presente que las decisiones críticas se afectan antes de realizar la recolección de los datos.
- ✓ En estos tipos de investigaciones se pretende generalizar los resultados a un segmento o un universo, así como también que los resultados obtenidos puedan ser replicados en pruebas posteriores.
- ✓ Al final con los resultados obtenidos mediante los estudios cuantitativos se intenta explicar y predecir los fenómenos investigados.

La investigación que se está realizando en este estudio tiene como enfoque el tipo cuantitativo debido a que los estudios que se realizaran en especímenes de soldadura serán medidos y examinados, en base a estos datos se determinara si cumplen o no los requerimientos establecidos por las normas oficiales, según estipula Hernández y Cols (2004).

### **5.2.1.- Alcance de la investigación.**

El mismo Hernández y Cols (2004) menciona que el diseño, los procedimientos y los otros componentes de la investigación se realizarán de manera distinta si se trata de alcance exploratorio, descriptivo, correlacional o explicativo. Pero ya en la práctica cualquier investigación puede incluir elementos de más de uno de los alcances mencionados.

Para esta investigación se ha considerado el de tipo descriptiva, ya que considera la especificación de propiedades, características y rasgos importantes del fenómeno en estudio, por lo que se pretenderá medir y recopilar información de las variables o conceptos a las que se estudiarán.

Este tipo de estudios tiene como fin fundamental mostrar con precisión los ángulos o dimensiones del fenómeno o suceso. Para estos estudios el grupo de investigadores deberá ser capaz de definir, o al menos visualizar lo que se medirá y sobre que objeto se recolectarán los datos, esto se basará en uno o más atributos del objeto en estudio.

El conocimiento actual del tema de investigación, es un factor que señala la posibilidad de influencia. En primera instancia la bibliografía puede revelar que no hay antecedentes sobre el tema o que no son aplicables al contexto al cual se enfocará el estudio.

En segundo término la literatura puede revelar que ahí partes de teoría como apoyo empírico moderado, lo que significa que estudios descriptivos han detectado y definido ciertas variables y generalidades. Así mismo la bibliografía en la que se

apoyaran para realizar la investigación puede revelar que se aplica una o varias teorías a nuestro problema de investigación.

Una vez revisado el material en el que se apoyara el investigador, puede proceder a plantear el problema de investigación sin cambios o modificarlo en diferentes grados mencionado en Hernández y Cols (2004).

### **5.2.2.- Diseño de la investigación.**

Este consiste en el plan o la estrategia que se desarrolla para obtener la información que se requiere dentro de una investigación. Una vez que se ha precisado el planteamiento del problema, delimitado el alcance de la investigación y la hipótesis formulada, el investigador debe visualizar la manera correcta y practica las preguntas correctas a las que debe responder la investigación que está realizando, además de cubrir los objetivos estimados en un principio.

Si el diseño que se ideó en un principio fue cuidadosamente detallado, el producto que resultara del estudio contara con mayor grado de posibilidades de lograr el éxito para generar conocimiento.

El tipo de diseño de investigación al que se atenderá será del tipo no experimental en donde se mostraran estudios que se realizaran sin manipular deliberadamente las variables en estudio, y en los que solamente se observaran los

fenómenos en su ambiente natural para posteriormente realizar los análisis requeridos. En su lugar se pretenderá observar el fenómeno tal como se da.

El estudio no experimental observa las situaciones que ya existen, no son provocadas intencionalmente por quien realiza la investigación, las variables independientes que intervendrán ocurren y no es posible manipularlas, ni tener control directo sobre ellas, ya que estos fenómenos ya ocurrieron.

Dentro de los tipos de diseños no experimentales, se encuentran las investigaciones transeccionales que recolectan datos de un momento y tiempo único, cuyo propósito es describir las variables y analizar su incidencia y relación en un momento específico mencionado en Hernández y Cols (2004).

### **5.3.- Instrumentos de recopilación de información.**

Las herramientas que servirán para la recopilación de información en esta investigación consta de lo siguiente:

- ✓ Hoja de cálculo de Excel: que será de ayuda para la creación de los formatos en los que se hará el informe de las inspecciones y resultados obtenidos en las pruebas.
- ✓ Guía de inspección visual: es una lista que marca los detalles que se deberán cuidar en los elementos a los que se les habrá de realizar el proceso de soldadura y servirá de apoyo para hacer una completa inspección de los especímenes de soldadura que se estudiarán en el lugar de la obra.



- ✓ Micrómetro: este es un aparato de medición que cuenta con gran precisión en medidas de pequeña escala y el investigador se apoyara en estos instrumentos para medir deficiencias en la soldadura como lo son las discontinuidades y escoria, así como también para verificar que los espesores de cada cordón de soldadura sea el indicado como lo especifica el plano estructural.
- ✓ Líquidos penetrantes: serán las sustancias que se aplicaran directamente en las muestras de soldadura y que tendrán la función de revelar si presentan alguna deficiencia.

#### **5.4.- Descripción del proceso de investigación.**

Se tendrá como procedimiento a seguir para realizar las investigaciones pertinentes en este tema que aportaran datos para la confirmación de las hipótesis, y se preverán los siguientes pasos.

Para la realización de las pruebas a los especímenes de soldadura, se deberá establecer un lugar en donde se esté llevando a cabo este procedimiento, con las autorizaciones pertinentes del responsable de obra.

Una vez en el lugar donde se realizarán los muestreos, se hará la selección de las piezas a examinar. Una vez establecidos los elementos se procederá a realizar la inspección, primeramente de manera visual apoyado en la una guía de inspección, se realizarán mediciones de aspectos como espesores de garganta, discontinuidades, oquedades y exceso de escorias.

Ya que se termino con la inspección visual parirá a realizar la prueba de Líquidos Penetrantes que consiste en una previa limpieza de la muestra con una sustancia previamente seleccionada. Ya que ha secado el limpiador en la muestra, se aplica otro líquido que tendrá la función de infiltrarse en los poros, discontinuidades y deberá dejarse actuar por un lapso de tiempo. Una vez que ha transcurrido el tiempo determinado se aplicará el revelador, que después de su tiempo de acción revelara las grietas y defectos presentes en la pieza. El investigador deberá en base a su experiencia y basado en las normas establecidas crear el informe donde determine si cumple o no los estándares de calidad requeridos en el campo de las estructuras de acero unidas por medio de soldadura.

## CAPÍTULO 6

### ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS.

En el presente apartado de esta investigación, se realizarán los estudios relacionados con la inspección y control de calidad de las soldaduras realizadas en estructuras metálicas, realizando estos procedimientos en algunos elementos que han sido soldados.

#### 6.1.- Reporte de visita a la obra.

Durante la visita al lugar de construcción de un edificio destinado para estacionamiento público, los diseñadores y desarrolladores de esta estructura decidieron realizar la súper estructura mediante elementos de acero. Como se muestra en la siguiente fotografía.



Foto 6.1.- Fachada de la edificación.

Fuente: Propia.

En este lugar se encontraron a los responsables del ensamble de la estructura los cuales ya se encontraban en la etapa final de su participación. Los trabajadores revisaban las uniones de cada elemento, como el tamaño de los cordones de soldadura, las traveses donde ya se instaló la losa de acero para verificar si no ha sufrido algún tipo de pandeo ya sea local o general, véase fotografía 6.2. Entre otros aspectos.



Foto 6.2.- Losa de acero apoyada sobre las traveses primarias y secundarias.

Fuente: Propia.

El residente de la obra explicó detalles como la capacitación de sus trabajadores soldadores, los cuales son debidamente capacitados periódicamente por la empresa. Los detalles que se cuidan en su taller de ensamblado de estructuras, para el caso de esta construcción las columnas llegaron al sitio de la obra unidas a la placa base, solamente para la espera de su colocación y fijación final.

Como parte del control de calidad que ellos llevan a cabo, se encuentra la aplicación de Líquidos Penetrante, para la búsqueda de defectos en los cordones de

soldadura, estas pruebas las realizan principalmente en el taller de ensamblado, al igual que en el lugar de la obra si es necesario o el cliente lo requiere.

## **6.2.- Verificación del procedimiento para la revisión de soldaduras y características de productos utilizados.**

A continuación se describirán los tres principales productos que intervienen en el procedimiento de inspección de soldaduras por el método de Líquidos Penetrantes:

1.- El limpiador (Cleaner): presentado por la marca Magnaflux (ver Foto 6.3). El producto vendrá en presentación de spray, en un recipiente a presión e inflamable. Las precauciones de uso serán principalmente dirigidas hacia los ojos evitando el contacto directo o indirecto ya que producirá irritación en caso de que se llegara a presentar el contacto.



Foto 6.3.- Limpiador Magnaflux.

Fuente: Propia.

Las instrucciones de serán sencillas, pero deberán seguirse cuidadosamente para evitarse resultados erróneos. Primeramente para comenzar la limpieza de la zona que se realizará la prueba, deberá ser rociando el spray limpiador sobre una toalla o estopa (ver Foto 6.4) para pasarla sobre la superficie deseada. En caso de que sea necesario se podrá repetir este paso, teniendo en cuenta que este producto solamente es compatible con pruebas de Ensayos No Destructivos (END).



Foto 6.4.- Estopa con la que podría realizarse la limpieza de la superficie.

Fuente: Propia.

2.- El Penetrante: Sus características básicas serán el embalado a presión así como también inflamable. Y las precauciones radicarán también en la protección ocular. Este penetrante pertenece a fabricante conocido como Dinaflux (ver Foto 6.5).

Las instrucciones de uso consistirán en lo siguiente para este paso. El embase deberá agitarse perfectamente antes de usarse. El operador dirigirá el spray hacia la zona que se estará estudiando a una distancia de esta de entre 12 a 24 centímetros, moviéndolo a través de la superficie de prueba hasta cubrirse el área de penetrante.

Se dejara actuar el Penetrante un tiempo aproximado de 13 minutos según lo especifica el fabricante (Dynaflux).

Para la remoción del exceso de penetrante en el área circundante podrá usarse el mismo limpiador utilizado en la limpieza inicial.



Foto 6.5.- Penetrante

Fuente: Propia.

3.- El Revelador: presenta las mismas características de las dos presentaciones anteriores de envase.

Para su aplicación deberá ser agitado antes de usarse, una vez realizada la agitación se dirigida el spray a la zona donde se aplico el penetrante a una distancia aproximada entre la boquilla del aerosol y la pieza de no más de 30 centímetros, a lo largo de la sección. La aplicación deberá realizarse en una capa delgada y uniforme. El tiempo recomendado para inspeccionar el revelado será de entre 5 y 15 minutos.

### 6.3.- Prueba de Líquidos Penetrantes realizada en campo.

La prueba correspondiente al estudio que se presenta en esta investigación se realizó en la ciudad de Uruapan, Michoacán, en un conjunto habitacional llamado Fraccionamiento Las Lomas, en donde el ensayo se realizó en las uniones de una escalera en la placa base y en una placa que une el poste con la parte inferior de los escalones para su posterior colocación.

Al llegar al lugar se comenzó por seleccionar la estructura donde se probaría la soldadura, esta decisión fue tomada basándose en que algunas de las estructuras ya se encontraban pintadas por lo que no se permitió remover la pintura, lo cual era necesario para este ensayo. Una vez que se eligió la estructura como se puede observar (Foto 6.6), se procedió a inspeccionarla y elegir los elementos en los cuales se realizaría la prueba. Se mostrara el desarrollo del primer ensayo.



Foto 6.6.- Estructura elegida para realizar la prueba de Líquidos Penetrantes.

Fuente: Propia.



Se comienza el procedimiento de la prueba limpiando la zona que se ensayara con una lija para remover las partículas de oxido existentes ocasionadas por la exposición a la intemperie, como se observa a continuación (Foto 6.7).



Foto 6.7.- Placa base unida al soporte principal de la escalera.

Fuente: Propia.

Una vez que se ha realizado una limpieza preliminar de la zona se continuará a realizar una limpieza más profunda con el Cleaner (Limpiador), que es el primer paso en el procedimiento de la prueba, rociando el Cleaner en una porción de estopa para eliminar suciedades como las grasas principalmente que pueden impedir la correcta penetración de los Líquidos que se aplicaran posteriormente, ya que se ha realizado la limpieza se deberá dejar secar al aire libre un lapso de tiempo aproximado de 5 a 10 minutos para la aplicación del siguiente Líquido. Este paso se ilustra en la siguiente Foto.



Foto 6.8.- Limpieza de la zona a la que se realizará el ensayo.

Fuente: Propia.

Una vez que ha transcurrido el tiempo de secado después de la aplicación del Limpiador se procederá a aplicar el segundo Líquido que será el Penetrante, este Líquido que actuando por capilaridad se interna en las posibles discontinuidades que pueda presentar el cordón. Como se ilustra en la siguiente Foto siguiente.



Foto 6.8.- Zona limpiada para aplicar el Penetrante.

Fuente: Propia.

Ya que se ha esperado el tiempo de secado especificado se rociara el spray en la unión de la placa base para este caso, y se espera el tiempo de acción del Líquido que será de 15 minutos aproximadamente para la correcta acción de la sustancia. (Ver Foto 6.9).



Foto 6.9.- Líquido Penetrante aplicado.

Fuente: Propia.

Después de transcurrido el tiempo de penetración del Líquido se podrá retirar el exceso de penetrante con una pequeña porción de estopa como se puede observar en la Foto 6.10.



Foto 6.10.- Remoción del exceso de penetrante antes de la aplicación del Revelador.

Fuente: Propia

Después que ha transcurrido el tiempo de Penetración del Líquido, y que se ha removido el exceso del penetrante se continuó a aplicar el tercer y último Líquido que se utilizará en la prueba que es el Revelador, este mostrara si hay o no algún tipo de discontinuidad en el cordón de soldadura.

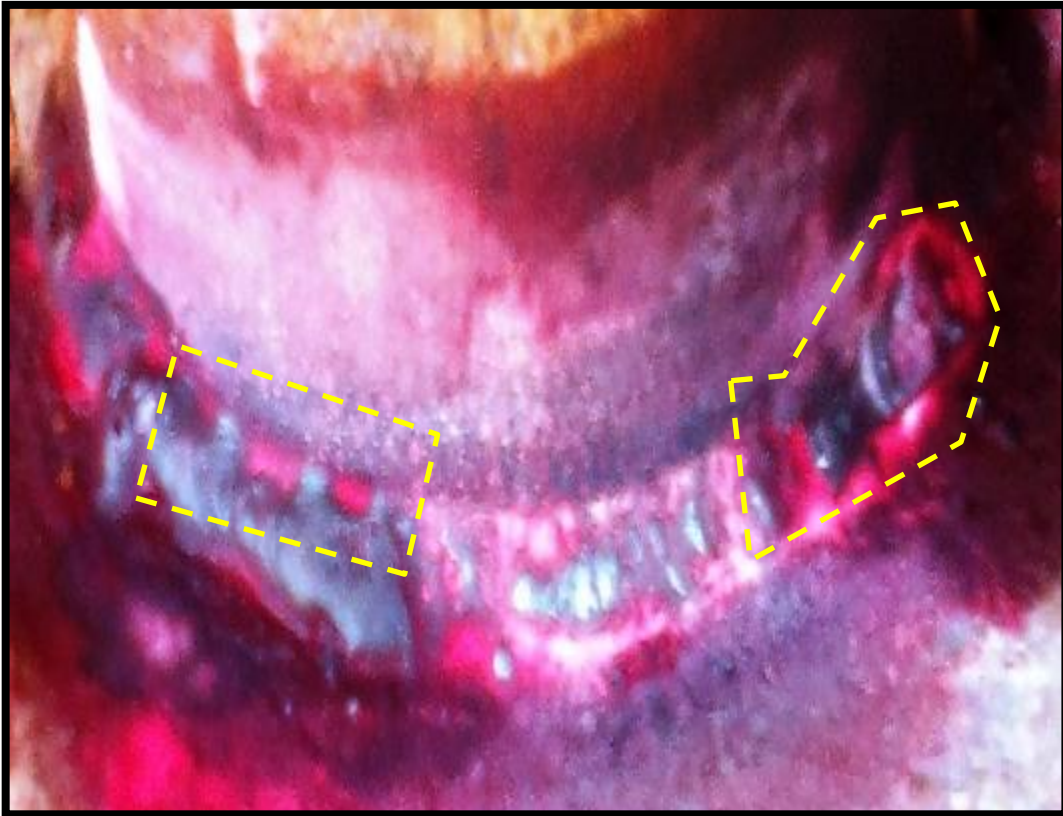


Foto 6.11.- Revelación de las imperfecciones en la soldadura después de la aplicación del Revelador y haberlo dejado actuar.

Fuente: Propia.

En la Foto 6.11, se pudo observar que se marcaron con un par óvalos algunas fallas como la irregularidad a lo largo del cordón, así como también el exceso de escoria que no se retiró de la soldadura. Los puntos coloreados de rojo en la Foto muestran las discontinuidades del cordón y son los indicadores del método que detecto alguna imperfección.

En los párrafos antes mencionados se ha descrito textualmente y con una serie de Fotos el proceso de inspección por medio de Líquidos Penetrantes que se

realizó en la placa base que se une al poste principal que sostiene la escalera lo cual revelo desde su inicio en la parte de la inspección visual que no se le dio el cuidado adecuado no la remoción de la escoria producto de la soldadura. En la segunda prueba que se realizo en una parte distinta de la estructura, al iniciar con la inspección visual se observo que la zona había sido tratada adecuadamente ya que no se detectaron restos de escoria ni otros defectos como falta de penetración y oquedades.

A continuación se muestra la segunda secuencia fotográfica del ensayo realizado a otro elemento soldado a la estructura al cual de igual forma se le realizó la prueba de Líquidos Penetrantes:



Foto 6.12.- Área de inspección previamente lijada para remover el óxido y limpiada con el Cleaner (Limpiador, primer paso de la prueba).

Fuente: Propia.



Foto 6.12.- Ya que se transcurrió el tiempo marcado después de la aplicación del Limpiador se rociará el área con el Penetrante (segundo paso de la prueba).

Fuente: Propia.



Foto 6.12.- Penetrante aplicado sobre la soldadura (segundo paso del procedimiento).

Fuente: Propia.



Foto 6.13.- Zona lista para la aplicación del revelador (tercer paso del procedimiento).

Fuente: Propia.



Foto 6.14.- Revelador actuando en el cordón de soldadura.

Fuente: Propia.



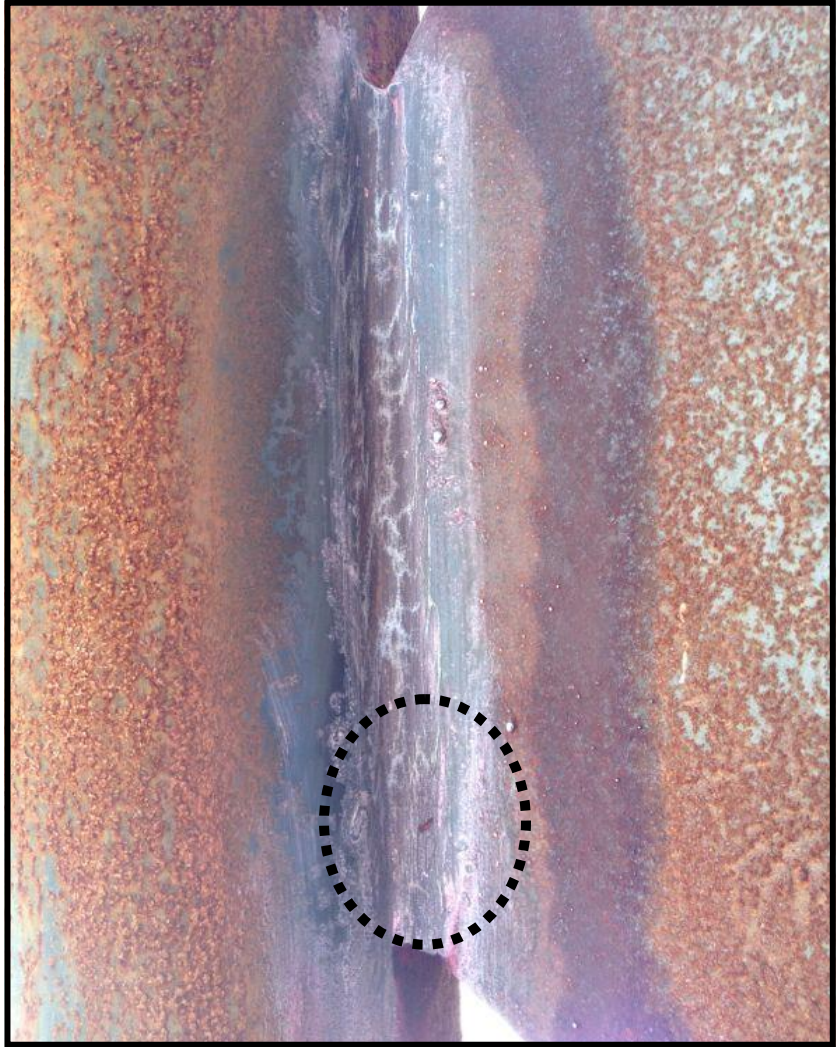


Foto 6.14.- Revelación de las discontinuidades.

Fuente: Propia.



Foto 6.15.- Discontinuidad superficial que se encuentra dentro de los parámetros de tolerancia.

Fuente: Propia.

Ahora se presenta el reporte de inspección de las pruebas realizadas en la investigación de campo donde se muestran los resultados de manera escrita del ensaye realizado.

| <b>ENSAYE DE LIQUIDOS PENETRANTES</b>   |                                  |                            |  |                                    |           |
|---|----------------------------------|----------------------------|--|------------------------------------|-----------|
| <b>OBRA:</b>  | <u>FRACCIONAMIENTO LAS LOMAS</u> | <b>ENSAYES No.:</b>        | <u>1 y 2</u>                             |                                    |           |
| <b>UBICACIÓN:</b>   | <u>URUAPAN, MICHOACAN</u>        | <b>AT'N.:</b>              | <b>FECHA DE INFORME:</b> <u>9-nov-12</u> |                                    |           |
| <b>FABRICANTE:</b>  |                                  | <b>NORMA:</b>              | <u>AWS 1,5</u>                           |                                    |           |
| <b>PROYECTO:</b>  | <u>ESCALERA</u>                  | <b>TIPO DE SOLD:</b>       | <u>FILETE</u>                            |                                    |           |
| <b>MATERIAL:</b>  | <u>ASTM-36</u>                   | <b>REFERENCIA:</b>         | <u></u>                                  |                                    |           |
| <b>ESPESOR:</b>   | <u></u>                          | <b>TIPO DE PZA:</b>        | <u>PLACA BASE Y VIGA</u>                 |                                    |           |
| <b>CARACTERISTICAS DEL ENSAYO</b>   |                                  |                            |  |                                    |           |
| <b>LIMPIEZA PREV:</b>   | <u>MANUAL</u>                    | <b>PENETRANTE:</b>         | <u>CONTRASTE DP 40</u>                   |                                    |           |
| <b>TEMPERATURA:</b>   | <u>24°</u>                       | <b>MARCA:</b>              | <u>DINA FLUX</u>                         | <b>APLICACIÓN:</b> <u>ASPERION</u> |           |
| <b>LIMPIEZA PENET:</b>  | <u>PAÑO C/SOLVENTES</u>          | <b>ETODO:</b>              | <u>MANUAL</u>                            |                                    |           |
| <b>REVELADOR TIPO:</b>  | <u>HUMEDAD NO ACUSO</u>          | <b>TIEMPO REVELADO:</b>    | <u>10 MIN</u>                            |                                    |           |
| <b>CASIFICACION DEL METODO:</b>   | <u>VISIBLES COLOREADOS</u>       | <b>TIEMPO PENETRACION:</b> | <u>10 MIN</u>                            |                                    |           |
| MARCA   | SOLD. NO                         | MEDIDA                     | ACEPTADA                                 |                                    | RECHAZADA |
| PLACA BASE  | 1                                | 20 CENTIMETROS             |  |                                    | X         |
| VIGA  | 2                                | 40 CENTIMETROS             | X  |                                    |           |
|   |                                  |                            |  |                                    |           |
|   |                                  |                            |  |                                    |           |
|   |                                  |                            |  |                                    |           |
|   |                                  |                            |  |                                    |           |
| <b>OBSERVACIONES:</b>   |                                  |                            |  |                                    |           |
| LA SOLDADURA REALIZADA EN LA PLACA BASE SE ENCONTRO CON UNA SERIE DE INPERFECCIONES INPORTANTES. EN EL SEGUNDO ENSAYO QUE SE REALIZO A LA VIGA SE ENCONTRO UNA INPERFECCION, PERO SE ENCUENTRADENTRO DE LOS LIMITES PERMITIDOS. |                                  |                            |  |                                    |           |
| <b>REALIZO:</b>   | <b>JORGE RAMIREZ GONZALEZ</b>    |                            |  |                                    |           |

Reporte 6.1.- Informe de prueba de Líquidos Penetrantes.

Fuente: Propia.

Retomando la pregunta de investigación que se planteó en el inicio de la presente investigación la cual fue si ¿El método de inspección de Líquidos Penetrantes es adecuado para la revisión de soldaduras en el campo de la Ingeniería

Civil? Y con la verificación de el método en campo con las pruebas que se realizaron se podría afirmar que gracias a la practicidad del método, la simplicidad de manipulación del equipo necesario en comparación con las otras pruebas q tienen la misma finalidad, otro aspecto que será decisivo en la implementación del método en esta área es el costo que será relativamente económico, es adecuada y el más factible para evaluar las soldaduras realizadas en estructuras metálicas más comunes en la Ingeniería Civil.

## CONCLUSIÓN

En base a lo que se mencionó en el objetivo general, el cual consistió en la revisión de soldaduras de estructuras metálicas por medio de ensayos no destructivos (END) de Líquidos Penetrantes, se pudo comprobar que realmente es un método aplicable y adecuado para el área de la Ingeniería Civil, ya que al realizar las pruebas mostradas anteriormente, encontramos que para la eficacia del método para la inspección de materiales ferrosos, la superficie debe de encontrarse libre de suciedad y agua, en nuestro caso en la limpieza preliminar se eliminó la mayor cantidad de óxido posible ya que fue uno de los principales obstáculos que encontramos. Las ventajas de aplicación de este método que se encontraron son la facilidad de transportar los materiales al lugar de la inspección, la manipulación y bajo riesgo de aplicación para los inspectores y personal cerca de la obra.

En base a los objetivos particulares que se plantearon en la presente Investigación, el seguimiento que se le dio a cada uno de ellos y se muestra a continuación su cumplimiento.

Conocer y mencionar las características del acero que se utilizan en la rama de la construcción Civil, se ha logrado llegar a conocer los diferentes tipos de acero estructural que se encuentran disponibles en el mercado de la construcción, dentro de los cuales se encuentran la alta resistencia lo que significa que se pueden crear elementos de relativo bajo peso y con gran capacidad de carga, la uniformidad del material ha jugado un papel importante ya que se ha logrado la creación de estos

elementos que mantiene prácticamente sus mismas propiedades mecánicas a lo largo de él, la durabilidad que tienen las estructuras creadas de acero es considerablemente amplia, mientras la edificación cuenta con el mantenimiento adecuado. Gracias a la ductilidad de estas estructuras se logra tener grandes deformaciones en los elementos antes de que fallen lo que favorece las evacuaciones a tiempo antes de una ruptura, el hecho de requerir ampliaciones a estructuras ya existentes no representa grandes inconvenientes ya que fácilmente se pueden añadir nuevas áreas.

Poder llegar a hacer un uso adecuado de los elementos estructurales, conociendo sus ventajas y desventajas, las ventajas que tiene el acero respecto a otros materiales empleados en la construcción es que cuenta con gran flexibilidad en la formación de perfiles en muchas formas. Respecto a los medios de conexión entre elementos se tienen buenas opciones como los remaches, tornillos, soldadura y conexiones mixtas. Por su parte las desventajas que se encuentran al momento de trabajar con este material se encuentra principalmente es el costo de mantenimiento ya que deben realizarse periódicamente inspecciones para detectar posibles puntos de corrosión y realizar las tareas de pintura, por otro lado el aspecto del fuego es un factor de vital importancia que hay que cuidar minuciosamente, implementando sistemas de aislantes térmicos y sistemas hidráulicos con rociadores conectados a detectores de humo de tal manera que protejan los elementos estructurales.

Basado en el conocimiento del comportamiento del acero y teniéndose en cuenta las condiciones a las que será sometido, como se ha mencionado anteriormente las propiedades del acero se ven directamente reflejadas por la

composición química del acero en su proceso de fabricación. De esta manera se da origen a los aceros de uso general, aceros estructurales al carbono, aceros estructurales de alta resistencia y baja aleación, aceros estructurales de alta resistencia baja aleación, resistencia a la corrosión atmosférica y placas de aceros templados y revenidos. Una vez conocidas las clases de acero disponibles y teniendo en cuenta las condiciones climáticas donde se ubicara la estructura como el caso de un lugar cercano al mar para de esta manera seleccionar un acero resistente a la corrosión por la salinidad del ambiente, o en el caso de que sea empleado en una industria puede requerirse una mayor resistencia a la corrosión química.

Mencionar los elementos que intervienen en las conexiones soldadas de elementos estructurales, para llevar a cabo una conexión de este tipo se deberán considerar las piezas que se unirán si requieren o no preparación previa antes de la unión, el tipo de electrodo que proporcionara la resistencia más adecuada para la estructura evitando que el cordón pueda llegar a fallar, así como también tomar en cuenta la posición en la que se llevara a cabo la soldadura.

Estudiar de manera correcta el concepto de soldadura, entendiéndose que hace referencia al proceso de unión de dos o más elementos metálicos llevándolos hasta el estado plástico permitiéndoles que fluyan, en esta parte es donde puede o no llevarse a cabo la aportación de un metal extra, el cual generalmente posee una resistencia mayor a las del metal base para evitar un desgarramiento en la unión bajo cargas aplicadas.

Considerar las ventajas de la soldadura, la soldadura se considera un procedimiento moderno en el cual se realizan las conexiones entre pizas de acero y cuenta con aspectos muy sobresalientes como lo son la economía que a consecuencia de la eliminación de ángulos de conexión, cabezas de remaches y el costo de la mano de obra ya que un obrero soldador puede reemplazar a una cuadrilla de cuatro obreros remachadores. La rigidez se ve considerablemente aumentada en comparación con los remaches ya que los elementos soldados se unen directamente unos a otros. La adaptabilidad que se logra al soldar las piezas resulta en una facilidad para realizar ampliaciones futuras a las construcciones ya existentes y la seguridad de operación del procedimiento de soldado considera que las medidas de seguridad extras se ven reducidos tales como la protección del público ante la posible caída de remaches en localidades muy pobladas.

Conocer los métodos de soldadura comúnmente usados, ya que la soldadura ha evolucionado en múltiples métodos de la soldadura es indispensable conocer cuáles son los más aptos para la Ingeniería Civil. Como lo es el caso de la soldadura por aleación a la cual se le denomina comúnmente consiste en la fusión de metales a bajas temperaturas, estas uniones pueden variar dependiendo de la temperatura a la que se lleve a cabo la fusión así como también la resistencia de la aleación del metal de aportación. En la soldadura por fusión existen diferentes métodos que se pueden utilizar como lo es la soldadura por gas con soplete, esta utiliza el calor de la combustión uno o varios gases y la dirige a las partes que se unirán y a la varilla con el metal de aportación. Otra variante que existe de este método es la de soldadura por arco es una de la más comúnmente utilizada, especialmente para unir acero,



para este caso se requiere el uso de energía eléctrica que generara el arco, la cual genera suficiente temperatura como para fundir el metal y dar lugar a la unión de las piezas.

Efectuar la revisión de soldaduras aplicadas a estructuras metálicas mediante la prueba de Líquidos penetrantes, ya que los Ensayes No Destructivos de Líquidos Penetrantes son una de las opciones con las que se cuentan para realizar las inspecciones a soldaduras, se llevaron a cabo estas pruebas donde se realizaron dos ensayes a cordones de soldaduras que se ubican en elementos que forman parte de una escalera de un conjunto habitacional. Al llegar al lugar fueron seleccionados los puntos donde se realizaron las pruebas, comenzando con una limpieza preliminar que retiraría la mayor cantidad de suciedad y óxido ya que estos pueden incrustarse en las posibles discontinuidades de la soldadura y evitar que se muestren correctamente.

Posteriormente el primer paso en la inspección consistió en la limpieza de la zona que se quiere estudiar con el limpiador (Cleaner), y se dejo secar un lapso de 5 min para continuar con la aplicación del segundo líquido y así mismo el segundo paso del procedimiento que es el Líquido Penetrante, este se internará en las fisuras o grietas por capilaridad lo que las hará visibles en el siguiente paso de la inspección, al aplicar el revelador y haber removido el exceso de Penetrante se pasa a realizar la inspección.

En esta instancia el Penetrante y el revelador ya ha realizado su función de penetración y el contraste ya es visible en caso de que se haya encontrado alguna discontinuidad. Una vez realizada la inspección y con los datos recopilados se pasa a realizar el informe que será entregado a la parte solicitante, en donde se mostrara el resultado de las pruebas y se hará saber por escrito si pasaron o no el control de calidad necesario para la estructura.

En el caso de las pruebas que se realizaron, se encontró que uno de los cordones de soldadura presentaba importantes fallas como la irregularidad en la forma del cordón, el exceso de la escoria que no se retiro después de realizar la unión. En la segunda prueba la inspección final revelo solo una pequeña marca que por su pequeño tamaño se considero como aceptable.

Cabe señalar que aparte de cumplir con el objetivo de dar respuesta a la pregunta de investigación se encontraron teorías tales como la historia y fabricación del acero desde los primeros tiempos de la humanidad, el uso y variedad de tornillos y remaches usados en los inicios de la construcción con elementos de acero, en lo concerniente a las soldaduras, se pudo indagar en los tipos de soldadura disponibles en el mercado actual y como se debe realizar la inspección por Líquidos Penetrantes de una soldadura.

Finalmente se puede establecer que se ha dado respuesta al objetivo y a la pregunta de investigación que es si ¿El método de inspección de Líquidos Penetrantes es adecuado para la revisión de soldaduras en el campo de la Ingeniería Civil?, y se encontró que efectivamente resulta practica y confiable la prueba de Líquidos Penetrantes para la inspección soldaduras de estructuras metálicas.

## BIBLIOGRAFÍA

Bowles, E. Joseph (1993).

Diseño de acero estructural.

Ed. Limusa.

Echeverría, Ricardo (2003)

Líquidos Penetrantes.

Ed. Universidad Nacional de Comahue.

Gabriel Delojo, Morcillo (2009)

Manual de inspección visual I y II.

Ed. Fund. Confemetal.faf

Hernández Sampieri, Roberto y Cols. (2004)

Metodología de la investigación.

Ed. McGraw Hill, México.

Loboa Carabalil, Jonny Lecier (2006)

Welding process in the engineering.

Ed. Atlantic International University

McCormac C. Jack. (2003)

Diseño de estructuras de acero, método LRFD.

Ed. Alfaomega

UNAM. (1993).

Comentarios, ayudas de diseño y ejemplos de las normas técnicas complementarias para diseño de estructuras metálicas, ddf. Volumen II

Ed. Series del instituto de Ingeniería.

Vinnakota, Sriramulu. (2006)

Estructuras de acero: comportamiento y LRFD.

Ed. McGraw Hill

## OTRAS FUENTES DE INFORMACIÓN

<http://www.google.com.mx/imgres?q=Museo+Soumaya&start=273&hl=es-419&tbo=d&biw=1441&bih=710&tbn=isch&tbnid=gDyHVc46ojFqYM:&imgrefurl=http://www.cnnextension.com/obras/2011/06/09/museo-soumaya-arquitectura-slim&docid=1ghBJvEAftYZ-M&imgurl=http://www.cnnextension.com/media/2011/06/09/museo-soymaya.jpg&w>