

00262



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO

2  
Lej

ESCUELA NACIONAL DE ARTES PLASTICAS  
DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO

EL ACERO COMO MATERIAL  
DE EXPRESION

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:  
MAESTRA EN ARTES VISUALES  
(ESCULTURA)

P R E S E N T A :  
EMILIA MARCELINA PEÑA AVILA

DIRECTOR DE TESIS PRESIDENTE: MTRO. FRANCISCO MOYAO PEREZ  
VOCAL: MTRO. OCTAVIO GOMEZ HERRERA  
SECRETARIO: MTRO. ARTURO DE LA SERNA ESTRADA  
SUPLENTE: MTRO. CARLOS BLAS GALINDO MENDOZA  
SUPLENTE: MTRO. JUAN DIEGO RAZO OLIVA

MEXICO, D. F.

1999

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

27 A352



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.

A LA MEMORIA DE MIS PADRES .

PARA MI ESPOSO Y MI HIJO .

EL ACERO COMO MATERIAL  
DE EXPRESIÓN.

ÍNDICE.

I. INTRODUCCIÓN.	5
------------------	---

CAPÍTULO I.

MARCO HISTÓRICO.

1.1. Introducción de la industria del acero en México	7
1.2. Influencia y desarrollo en México.	9
1.3. Constructivistas y otros artistas importantes.	15
1.4. Revolución Industrial.	23

CAPÍTULO II.

EL ACERO: HISTORIA Y USO DEL HIERRO, PROCESAMIENTO,  
CARACTERÍSTICAS Y ALGUNAS PROPIEDADES FÍSICAS.

2.1. Breve historia y uso del hierro.	25
2.2. Procesamiento.	29
2.3. Características.	39
2.4. Algunas propiedades físicas del acero	40
2.4.1. Tensión y compresión.	41
2.4.2. Tratamiento térmico.	43
2.5. Acero al carbono y de aleación (inoxidable).	47
2.6. Fundición del acero y modelado.	50
2.7. El acero trabajado en caliente y frío.	54

### CAPÍTULO III.

#### PROTECCIÓN CONTRA LA OXIDACIÓN Y CORROSIÓN PARA EL ACERO AL CARBONO.

3.1. Recubrimiento por pintura.	59
3.1.1. Preparación de la superficie.	60
3.1.2. Proceso de pintado.	62
3.2. Recubrimientos metálicos (electrólisis).	66
3.2.1. Cromado y cobrizado.	66
3.3. Pavonado (proceso químico).	69

### CAPÍTULO IV.

#### OBRAS EN ACERO DE LA AUTORA.

4.1. Referencias.	73
4.2. "HIPERVISIÓN": obra elaborada en lámina de acero al carbono dulce.	75
4.2.1. Elementos y características del diseño.	75
4.2.2. Elaboración de la maqueta.	76
4.2.3. Estructuración de la obra.	76
4.2.4. Materiales.	77
4.2.5. Limpieza con chorro de abrasivo.	78
4.2.6. Proceso de formado.	78
4.2.6.1. Corte.	79
4.2.6.2. Doblado.	79
4.2.7. Soldadura.	79
4.2.8. Esmerilado.	80
4.2.9. Acabado.	80
4.2.10. Instalación eléctrica.	81
4.3. "ALBORES DEL SIGLO XXI": obra elaborada en lámina de acero de aleación (inoxidable).	81
4.3.1. Elementos y características del diseño.	82
4.3.2. Elaboración de la maqueta.	83
4.3.3. Plantilla.	83
4.3.4. Estructuración de la obra.	84
4.3.5. Materiales.	84
4.3.6. Corte.	85
4.3.7. Doblado.	85
4.3.8. Rolado.	85

4.3.9. Soldadura.	85
4.3.10. Esmerilado.	86
4.3.11. Acabado.	86
4.3.12. Instalaciones: electrónica y motobomba.	86
4.4. "LA ESPIRA": obra elaborada con placa de acero al carbono dulce.	86
4.4.1. Elaboración general de la obra.	88
4.5. "ENLACE": obra elaborada con placa de acero al carbono dulce.	89
4.5.1. Elaboración general de la obra.	89
CONCLUSIONES.	90
APÉNDICE.	
Relación de fotografías de las obras.	94
BIBLIOGRAFÍA Y DOCUMENTOS CONSULTADOS .	107

## INTRODUCCIÓN.

EL ACERO COMO MATERIAL DE EXPRESIÓN tiene importancia dentro del desarrollo de las formas e ideas estéticas, en razón de que las expresiones artísticas hechas en acero en México, son abundantes, pero no han tenido una difusión que nos permita considerarlas como medios efectivos de comunicación plástica y vínculo de la cultura.

Por otro lado, este trabajo persigue describir el concepto, técnica, características y cualidades del acero en la estructura plástica. Este trabajo de alguna manera contribuye a un acercamiento a las ricas posibilidades de creación estética con acero, auxiliado de la tecnología y la ciencia de nuestra época.

Los elementos subjetivos, formas y contenidos, así como las abstracciones y concreciones que tengo acerca del mundo, así como el manejo del tiempo, el espacio, el movimiento, la materia y las manifestaciones de la luz reflejada en colores, son elementos que concibo importantes dentro del desarrollo de las formas e ideas y como parte de la escultura en metal.

Este trabajo debe entenderse como una búsqueda de manifestaciones artísticas y como punto de partida para el conocimiento de ésta temática. Esta tesis intenta contribuir al conjunto de conocimientos en los que el metal ha sido el objeto de estudio.

La temática que aborda ésta tesis, esquemáticamente, puede reducirse a lo siguiente:

Un marco histórico en el que se hacen algunas consideraciones sobre el arte en general y una breve historia de la utilización del acero, tanto para fines tecnológicos como artísticos, haciendo especial énfasis en el período de la "Revolución Industrial", y realizando algunos comentarios

sobre las esculturas elaboradas en acero, la corriente Constructivista y otros artistas importantes que han trabajado el acero.

En dos capítulos se habla de las características, propiedades y protección del acero. Un capítulo más comprende el proceso y desarrollo de las ideas y formas de las obras escultóricas que complementan el trabajo.

Por último se formulan las conclusiones, en las cuales se emitirán juicios críticos sobre las esculturas en acero, la tesis que se presenta y respecto de las obras que forman parte de esta tesis, elaboradas por la autora.

Este trabajo tiene un carácter monográfico, basado en información documental. Se complementa con la descripción, en general, del proceso de realización de dos esculturas, hechas por mi y en las cuales se utilizó el tipo de lámina de acero más apropiada para resaltar la forma y la idea de las obras. Una, que titulé "HIPERVISIÓN", la hice con lámina de acero al carbono dulce. La otra, que se llama "ALBORES DEL SIGLO XXI", está hecha en lámina de acero de aleación (inoxidable). También se agregan a esta investigación dos obras más, elaboradas con placa de acero al carbono dulce, llamadas "LA ESPIRA" y "ENLACE".

# CAPÍTULO I.

## MARCO HISTÓRICO.

### 1.1. INTRODUCCIÓN DE LA INDUSTRIA DEL ACERO EN MÉXICO.

En el territorio conocido como Mesoamérica que hoy ocupan México, Guatemala, El Salvador, Honduras, y Nicaragua, se destacó el desarrollo de la metalurgia no ferrosa. En México, la cultura purépecha (Michoacán, Jalisco, Colima, Guerrero, Guanajuato, Querétaro) nos permite estudiar la metalurgia prehispánica en innumerables objetos de oro, plata y cobre, pero en esas regiones, en esa época, no se trabajó el mineral ferroso. En los tiempos prehispánicos se conocieron los meteoritos (con contenido de hierro), a los que se les atribuía poderes mágicos y religiosos. Cuando llegaron los conquistadores españoles (1519), los aztecas utilizaban una técnica para trabajar el oro, la plata y el cobre. Igualmente, trabajaban cuatro aleaciones: cobre duro (bronce), oro y cobre (tumbaga), plata y cobre y cobre y plomo. El hierro fue dado a conocer por los conquistadores. Los primeros hierros traídos de España fueron forjados por los soldados de Hernán Cortés.

Durante toda la época virreinal fue frenado el desarrollo industrial en México; estaba prohibida la explotación del mercurio y del hierro. La minería se concretaba a la extracción del oro y la plata. Esto ocasionó un gran atraso industrial que duró hasta después de la Independencia. El mineral de hierro, el acero y los objetos elaborados en este material, durante la época colonial, siempre fueron traídos de España.

En el siglo XIX, se construyeron en Michoacán los primeros hornos para la fundición de hierro y acero en Hispanoamérica. Los trabajos de fundición comenzaron en el año de 1807. Estos hornos rudimentarios fueron destruidos en 1811, por órdenes del virrey, José de Iturrigaray. Es

hasta principios del siglo XX cuando se instala el primer alto horno en México. La industria siderúrgica mexicana tiene casi un siglo de actividad. Nació en 1903 con la compañía Fundidora de Hierro y Acero Monterrey. Es de notar, que la sustitución de carbón de leña por el combustible de alta calidad llamado coque, se llevó a cabo aquí en México, 80 años después de que se había iniciado en Inglaterra.

El ensayo "La metalurgia en México", realizado por Guillermo Salas y María Eugenia Nogués (1) de la Facultad de Química de la Universidad Nacional Autónoma de México, dice: "Mientras, en México se hacían esfuerzos considerables por impulsar esta industria. En 1903 se realizaba la primera colada de un alto horno. En ese momento era el inicio en Hispanoamérica, y lo fue durante más de 35 años. La fundidora de fierro y acero de Monterrey fue la única siderúrgica integrada al país durante más de 40 años." Felipe Cortés (2) opina acerca de la modernización de los hornos de fundición: "la nueva planta comprende básicamente la instalación de equipo de horno eléctrico de arco, un horno con olla, una línea de colado continuo de planchón delgado, un horno túnel para recalentamiento del planchón y un tren de laminación en caliente". Así, mientras en México se iniciaba la industria siderúrgica, en Europa se lograban avances tecnológicos que revolucionaron la calidad del acero, como son las aleaciones del acero con níquel, de acero con tungsteno y cromo, y de acero con vanadio, para darle dureza al metal. Con los descubrimientos de Henry Bessemer, se inició la producción a abajo costo; Karl Wliheim Siemen construyó el horno de solera abierta, que permite la elaboración de un acero de calidad; Harvy Bearley descubrió el acero inoxidable, aleación de cromo y níquel.

1) Guillermo Salas, María Eugenia Valdés. La siderurgia mexicana tiene su historia. Tecno-industria, Ed. CONACyT, junio-julio, núm. 10, 1993, p. 67.

2) Felipe Cortés. Implementación de la nueva tecnología. Tecno-industria, Ed. CONACyT, junio-julio, núm. 10, 1993, p. 52.

Esta breve historia ilustra someramente la manera de como se dió a conocer el metal de hierro en México. Enseguida se hace un análisis, en forma también general, de las obras de algunos escultores posteriores a la revolución mexicana (1910), que lograron renovar la escultura en el país.

## 1.2. INFLUENCIA Y DESARROLLO EN MÉXICO.

Edmundo O'Gorman (3) afirma: "La escultura en México nunca había llegado a someterse con la misma docilidad al dogma político y nacionalista como la pintura, y por ello se le consideraba como un arte menos importante. Con el gran pasado precortesiano y colonial se había terminado la escultura en México, según la opinión oficial. Los que habían hecho esfuerzos escultóricos artísticamente eran considerados insignificantes y sin interés". Sin embargo, en la época posrevolucionaria, escultores realistas como Juan Olaguibel, Guillermo Ruiz, Manuel Centurión, Carlos Bracho y otros más, realizaron obras con elementos revolucionarios, tales como: "Fuente Conmemorativa de la Expropiación Petrolera" y "La flechadora" de Olaguibel (bronces). Punto de partida hacia una nueva escultura en México, fue Ignacio Asúnsolo; puso las bases para una nueva concepción de escultura. No obstante, su obra es realista: "Monumento al General Alvaro Obregón" (1934). Igualmente, es de notar que el llamado "Monumento a la Revolución" fue diseñado por Emile Bernard, para lo que, inicialmente, sería la cúpula del Palacio Legislativo. Posteriormente, se le agregó el grupo escultórico tallado por Oliverio Martínez (1933).

Entre el grupo de escultores que lograron con su técnica y estilización personal, renovar el ámbito de la escultura, destaca Luis Ortiz Monasterio. En el trabajo de Ortiz Monasterio, hay una búsqueda muy compleja y conocimiento de su arte, como en "Quetzalcōatl", o en su serie

3) Edmundo O'Gorman. Cuarenta Siglos de la Plástica Mexicana. Ed. Herrero, p. 292.

de terracotas policromadas que son una aportación novedosa a la estética moderna mexicana; Carlos Bracho y Guillermo Ruiz, recuperan la forma tradicional prehispánica, trabajan la escultura con materiales pétreos y la técnica de talla directa. Fundaron, en 1927, la Escuela de Talla Directa y Escultura. Agustín Arteaga Domínguez (4) proporcionó los nombres de los siguientes artistas, como representantes de la Escuela Mexicana de Escultores (1926), todos ellos formados en la Academia de San Carlos: "Carlos Bracho, Federico Canessi, Ceferino Colinas, Juan Cruz Reyes, Macedonio Magaña, Francisco Arturo Marín, Oliverio Martínez, Luis Ortiz Monasterio, Guillermo Ruiz, Ernesto Tamariz".

Por otro lado, Ana María Rodríguez (5) opina acerca de los diferentes aspectos que influyeron para que México recibiera las nuevas corrientes plásticas que se extendieron por el mundo: "A partir de los cuarentas, debido a las consecuencias que trajo consigo la segunda guerra mundial, México empieza a transformar su modelo económico al propiciar un desarrollo industrial basado en la sustitución de importaciones. Este hecho originó cambios en la estructura de la sociedad (incremento de la población urbana, movilidad social, etc), generando una nueva burguesía con pretensiones cosmopolitas, situación que igualmente repercute en el ambiente artístico internacional: el arte deja de ser regionalista para acceder a un arte internacional.

4) Agustín Arteaga Domínguez. *La escuela Mexicana de Escultura. Maestros fundadores*. Ed. Instituto Nacional de Bellas Artes, México, 1990. p. 6.

5) Ana María Rodríguez. *Homenaje Universitario a Mathias Goeritz*. *Revista de la Escuela Nacional de Artes Plásticas*. Ed. UNAM, vol. 3, núms. 13 y 14, 1991-1992, p. 61.

En las artes plásticas se da una dicotomía. Por un lado, el arte nacional figurativo y mexicanista, accesible a la mayoría del público, y por otro, el arte internacional, sustentado en las corrientes europeas como la abstracción y el geometrismo."

Estas eran las circunstancias que rodeaban el ámbito mexicano, cuando artistas de otros países como Carlos Mérida, Francisco Zúñiga (figurativo), Rodrigo Arenas Betancourt (figurativo), Mathías Goeritz y Gunther Gerzso, se instalaron en México trayendo consigo la corriente de arte abstracto geometrizable. Por otro lado, no hay que olvidar que el mexicano Germán Cueto ya había realizado obras de tipo abstracto en 1930. Trabajó el cubismo escultórico y obras de carácter monumental en los siguientes sitios públicos: multifamiliar Benito Juárez, guardería infantil del Seguro Social (en Paseo de la Reforma) y el Instituto Nacional de Bellas Artes. Sus obras más conocidas son "Sacerdote", "Guerrero", "Orador", "Beisbolista", Tehuana" y su serie de máscaras, en las que utilizó lámina de acero.

Al respecto Rita Eder (6) dice: "En cuanto a la escultura en México, predominaba el monumento oficialista apenas interrumpido por Germán Cueto, artista hoy postergado, quien desde los años treinta hacía escultura abstracta por el camino del cubismo y cuyo talento para el uso libre de los materiales motivó a la larga a varios escultores mexicanos. Por otro lado, en aquel momento, Francisco Zúñiga, desde una perspectiva modernizante y con magnífico oficio, se instala en un realismo de líneas sintéticas cuyo sentido formal aplicará sobre el tema de los indígenas."

La vinculación de México con las vanguardias europeas se realizaron principalmente por medio de las obras de Mathías Goeritz (alemán que estudió la carrera de filosofía) Entre 1952 y 1953, construye el museo experimental "El Eco", bajo el concepto de una arquitectura emocional en

6) Rita Eder. *Arquitectura Emocional*. Revista de la Escuela Nacional de Artes Plásticas. Ed. UNAM, vol. 3, núms. 13 y 14, 1991-1992, p. 74.

contraposición con la funcional (teoría basada en la idea de que la forma de los elementos debe estar determinada por alguna función específica). Realizó la obra "La serpiente del Eco" en el patio de este edificio. Otras obras importantes de Goeritz como escultor son "Las Torres de Satélite" (colaboró el arquitecto Luis Barragán), de 1957-58. Son cinco prismas triangulares de concreto pintado. La torre menor mide 37 metros de altura y la mayor 57 metros. Posteriormente, con motivo de los juegos olímpicos, en 1967 se le comisionó para realizar uno de los proyectos más importantes en México: "La Ruta de la Amistad", cuya finalidad fue integrar la escultura al urbanismo.

Fuera de la ruta de la amistad, pero dentro del programa de ornamentación urbana, Alexander Calder realizó la obra "El sol rojo". El material que utilizó fue acero pintado. La estructura tiene un diámetro de 25 metros. Otro proyecto de importancia en el área artística en el que participa Goeritz está en el "Espacio Escultórico", de la Universidad Nacional Autónoma de México. En este proyecto se incluyeron varias esculturas de acero. En el catálogo aparecen los siguientes artistas:

Helen Escobedo:

- 1) "Coatl", 1980.  
Vigueta con hierro y pintado.
- 2) "Secuencia roja", 1979.  
Aluminio laqueado.

Manuel Felguérez:

- 3) "Variante de la llave de Kepler", 1979.  
Acero pintado.
- 4) "Combinación 144", 1978.  
Fierro pintado.

Mathias Goeritz:

- 5) Anteproyecto para la escultura "El Eco", 1953.  
Acero policromado.
- 6) "La corona del pedregal", 1980.  
Acero pintado.

Hersúa:

- 7) "Símbolo", 1976.  
Cobre y latón.
- 8) "Ave dos", 1979.  
Ferrocemento pintado.

Sebastián:

- 9) "Cubo axial", 1973.  
Aluminio.
- 10) "Arco macha", 1979.  
Metal pintado.

Federico Silva:

- 11) "4 Ocehuitli", 1979.

Los cambios que ha experimentado la escultura en este siglo, en lo referente a sustituir el volumen y la masa por vacíos y huecos, se hace patente en "El Espacio Escultórico" de la Universidad Nacional Autónoma de México. La escultura transitable se integra a la arquitectura. Otras de sus características es que son públicas, se colocan en el suelo y prestan algún servicio, ya sea de referencia o señalización, etc. Después de 1950, se inició en México el movimiento escultórico geométrico monumental. Es un arte de investigación. Tiene como base el arte prehispánico, su estilo, concepto y características de simplificación de la forma colores y figuras recortadas. Acerca del Centro del Espacio Escultórico, Ana María Rodríguez (7) opina: "En palabras de un funcionario de la Universidad, el Centro del Espacio Escultórico es un movimiento que busca sus apoyos en la tradición y en la vanguardia de nuestro país para apoyar la modernización de México. Este movimiento escultórico rebasa el arte privado, incorporándose a la gran tradición del arte público. Proyecto que tiene su origen en una concepción del arte como investigación, extensión de la cultura y un compromiso con la realidad social'. Grave, es esta declaración, el dar preferencia sólo al arte geométrico y no tomar en cuenta que en nuestro país existen otras propuestas y corrientes plásticas igualmente válidas. Llama la atención que en el momento de crear el Espacio Escultórico, la Universidad Nacional patrocine una sólo corriente plástica, la geométrica, y no todas. Aún

7) Ana María Rodríguez, ob. cit. p. 65.

así, este proyecto es la creación más importante de escultura monumental integrada al paisaje en nuestro país."

Fuera del proyecto inicial del "Espacio Escultórico" Rufino Tamayo, realizó la obra "La Universidad, Germen de Humanismo y Sabiduría", en acero pintado. Con este tipo de escultura monumental, México ha destacado internacionalmente en el campo de la corriente neoabstraccionista.

Por otro lado, también es de observarse la influencia que recibió México a través de la arquitectura europea con sus grandes construcciones de acero, que a mitad del siglo XIX adquirieron un gran desarrollo. La arquitectura del siglo XX, sigue utilizando este sistema de construcción con base en acero y hormigón. Un ejemplo de esta influencia es el Palacio Municipal de Orizaba, Veracruz, edificado completamente (muros y estructura) con acero forjado. Es desmontable y pesa 600 toneladas. Todas sus piezas fueron traídas de Bélgica en 1892. Es del estilo Art Nouveau (modernismo), se inauguró en 1894. El modernismo se caracteriza por el empleo del acero y el ladrillo en arquitectura.

### 1.3. CONSTRUCTIVISTAS Y OTROS ARTISTAS IMPORTANTES.

Históricamente, el Constructivismo se ubica dentro del desarrollo del arte europeo de vanguardia. Se desenvuelve en una sociedad burguesa. Este movimiento se inicia en Rusia en 1918 y termina en 1932. Tiene influencia del futurismo (1912-1913). Después de la revolución de octubre (1917), la vanguardia se manifiesta y lucha para construir, para transformar la sociedad, romper con cánones establecidos y pugnar por una nueva interpretación de la estética. Crearon la escultura-estructura. Inventaron formas y estilos que dieron como consecuencia el arte escultórico contemporáneo.

A. Corazón (8), proporciona la siguiente información: "Una de las pocas versiones sobre el nacimiento concreto del constructivismo nos la suministra S. Chan-Wagomedou (cit. por V. Quilici en "L'Architettura del costruttivismo"): 'El constructivismo nace como tendencia artística en la lucha por un nuevo tipo de trabajo estético. Inicialmente se reunieron en esta lucha representantes de aquellas formas artísticas que habían surgido, o como resultado de las mismas realizaciones técnico-científicas (cine, fotografía), o como reflejo indirecto de las mismas (producción de objetos de consumo, arquitectura). La individualización del constructivismo como corriente autónoma se produce en 1920, cuando un grupo de constructivistas del LEF, condujeron dentro del INCHUK (Instituto de Cultura Artística) la lucha contra los defensores del "arte puro" y el "arte aplicado". en este primer grupo de trabajo constructivista se encontraban A. Gan, J. Medunecski, A. Rodchenko, V. Stepanova y los hermanos Stenberg.' Sin embargo, A. Tarabukin (cfr. Quilici) incluye también a Tatlin, Lavinski, L. Popova, M. Socolov, Johanson, y otros, entre los artistas constructivistas".

8) A. Corazón. Constructivismo. Ed. Felmar, p. 18.

Se entiende por Constructivismo (escultura-estructura), toda abstracción geométrica en pintura y escultura. Los vocablos "abstracción y construcción" no se excluyen mutuamente. Actualmente, se siguen trabajando esculturas abstractas fundidas en bronce o cinceladas en piedra, pero las esculturas más recientes son "construidas" con material de acero. El Constructivismo es una manifestación artística universal.

Los artistas de la corriente constructivista tuvieron como finalidades: no utilizar el color como contenido de los objetos; rechazar la línea como valor gráfico; no usar el volumen como forma plástica del espacio, no se puede medir el espacio en volúmenes. son partidarios de la profundidad en lugar del volumen; reniegan de la masa porque las fuerzas estáticas de los sólidos y sus resistencias, no están en función de su masa; rechazan los ritmos estáticos de los egipcios como únicos elementos de creación plástica; y se declaran partidarios de los ritmos cinéticos. También tuvieron como prioridad de creación plástica la concepción del espacio-tiempo, aplicando en sus obras, el movimiento real. No usaron la belleza, los sentimientos para clasificar su obra, sino los instrumentos de medición y el razonamiento. De esta manera la escultura adquiere línea en tanto que dirección y profundidad.

En el siglo XIX no hubo aportaciones nuevas al concepto espacial. Los escultores del neoclásico, volvieron al concepto de las formas escultóricas contenidas dentro de un espacio limitado. También, los románticos y realistas organizaron sus grupos escultóricos dentro del movimiento rotativo en espiral del post-renacimiento y del barroco. En el siglo XX, la mayoría ha mantenido la forma y las tendencias escultórico-espaciales ya conocidas, con excepción de los escultores de la corriente Constructivista, como los hermanos Pevsner, Tatlin, Moholy, que experimentaron y crearon nuevos puntos de partida: la escultura como construcción y montaje; el uso de nuevos materiales; además, se da a conocer la escultura como un espacio ordenado y no como una masa dentro de un espacio circundante. También, adquiere la influencia del arte primitivo y arcaico,

en el sentido de volver a la frontalidad y monumentalidad a través de la simplificación de las masas. Puede decirse que todos los escultores, con excepción de los Constructivistas abstractos, continuaron usando la figura humana como base de su composición.

De esta corriente de las estructuras deriva el Neoconstructivismo (completamente geométrico), que a su vez da como consecuencia las llamadas "Estructuras Primarias", más conocidas como "Minimal Art" (Arte mínimo). El constructivismo adquirió un nuevo impulso en los años sesentas, con el llamado Arte mínimo, estructuras primarias, o arte ABC. Se inició en los Estados Unidos de Norteamérica, en los años sesentas. Edmundo O'Gorman (9) dice de las estructuras primarias: "Está relacionada con la escultura que crea un espacio o un ambiente arquitectónico y las pinturas en las que intervienen los sistemas matemáticos. Casi siempre existe una base geométrica y el uso de colores industriales intensos, no matizados y las formas elementales. Su cualidad más sobresaliente es una impersonalidad industrial derivada del hecho de que normalmente son fabricadas por la industria, según planos hechos por el artista".

Los escultores de estructuras primarias trabajan a escala monumental. Colocan la obra en el suelo, pared o techo para que se integren al ambiente. Utilizan materiales sintéticos nuevos y formas geométricas u orgánicas; se usa el color, y a veces la luz de un modo intenso. También consideran al acero, por sus cualidades físicas de resistencia y su bajo costo, como el material más indicado para realizar su obra basada en la idea de la construcción o forma pura.

Por otro lado, aclaro que no se habla de Estructuralismo como corriente de pensamiento ideológico y filosófico. El concepto general de estructura se refiere a un "todo" en el que los elementos se encuentran distribuidos en ella según una organización de conjunto, que es

9) Edmundo O'Gorman, ob. cit. p. 166.

el arreglo o composición de una obra.

Etimológicamente, estructura deriva del latín "structura". El concepto de estructura utilizado en estética, tampoco se puede comparar con el concepto de estructura de las Ciencias Naturales, o la idea de la estructura de la Física. No hay compatibilidad entre conceptos de planos de la realidad física y la fenoménica. La definición de la palabra estructura en arte, tiene su origen en el vocablo arquitectónico. Jean-François Pirson (10) dice: "La estructura designa el modo en que se distribuyen y disponen las partes de un todo y también el objeto organizado y los elementos constituyentes de este objeto. Francastel concluye que, en arte, la estructura caracteriza desde el primer momento la manera en que los elementos (no todos incluidos necesariamente en las premisas del proyecto) entablan relación dentro del contexto de un trabajo o un proyecto futuro. Nos acercamos así mucho más a la noción de objeto-producto final y empírico de una actividad cuyos móviles y medios son múltiples, menos que a la noción de forma".

En lo que respecta a los artistas más importantes posteriores a 1910, que usaron el acero como material de expresión y que hallaron en lo cóncavo una característica formal de la tendencia artística, destacan los trabajos de Alexander Archipenko, quien introduce huecos como en "Mujer peinándose" (1915). Georges Vantengloo, utilizó los instrumentos matemáticos y geométricos para expresarse: "Nucleus" (1946), usa la curva en forma de hilo de acero, que envuelve en el espacio a una figura sólida. Laszlo Moholy-Nagy, en "Requisito lumínico" (1922-1930), combinó placa de acero con plexiglás. Además, en 1929 dió a conocer la idea de lo que sería la plástica flotante, que en 1960, las llevó a cabo Alberto Collie: suspendió (flotaban) dos discos de titanio entre dos campos eléctricos. Alexander Calder, desarrolló en 1914 "Cinco ramas con 100 hojas", hecha con alambre y lámina de acero. Vladimir Tatlin realizó durante 1914, "Contrarrelieve", con placa de acero.

10) Jean-François Pirson. La Estructura y el Objeto. Ed. P.P.U. p. 22.

Hago especial énfasis en Pablo Ruiz Picasso y Pablo Gargallo, por ser los más conocidos y pioneros en el trabajo con lámina de acero.

Picasso nació en Málaga el 23 de octubre de 1881 y falleció el 8 de abril de 1973 en Mougins, Francia. Con una impresionante obra artística: pintura, escultura y obra gráfica, supera por su versatilidad a cualquier otro artista del presente siglo. A lo largo de 80 años trabajó, dentro de las artes plásticas, transformando y aportando nuevas ideas y técnicas.

Las nuevas formas de expresión, adoptadas por este artista desde 1909, marcan una ruptura con la manera tradicional con que se plasmaban las ideas plásticas.

Hans Joachim Albrech (11) dice: "Pablo Picasso trató de realizar las revolucionarias ideas cubistas en una cabeza de mujer. La superficie vigorosamente hundida no permite intuir la existencia de una conexión íntima dentro de volumen de la masa; no se puede descubrir ninguna correspondencia causal de presiones y cesiones, estirones y compresiones. Se observa más bien un relieve, ensamblado de facetas muy contrastadas, de curvas y ángulos, que con salientes y cavidades rodea un núcleo macizo vertical. Desde 1912, Picasso descubre en sus relieves de collage distintas soluciones a este emparejamiento contradictorio de volumen, núcleo y superficie".

Picasso, también hizo grandes aportaciones a la escultura contemporánea. A partir de 1925, realizó obras escultóricas de gran tamaño y plasticidad. Son construcciones abstractas con

11) Hans Joachim Albrech, *Escultura en el siglo XX*. Ed Blume p. 104.

varilla de metal. Usó como material alambre de acero. La figura está implícita en ella. En 1914 realiza la obra "Vaso de ajeno", escultura no figurativa, donde utilizó la fantasía de la figura humana. Inicia con este trabajo la "escultura objeto". Otras aportaciones muy notables son las investigaciones hechas en acero al carbono (dulce). En 1930 trabajó con Julio González, en experimentos realizados en acero. Las construcciones que ambos realizaron dieron ocasión para el surgimiento de la escultura directa en acero. La obra "Mujer en el jardín" data de esa época. Igualmente, en 1931, hizo otras construcciones metálicas y esculturas en hierro, como "Construcción en hierro forjado" y "Cabeza". Joachim Albrecht H. (12) añade: "Sin duda, obras de este género, como por ejemplo las construcciones de alambre de Picasso de 1930, son conocidas por el lector. Al igual que en el caso de la rejilla de la jaula, de una red o de un velo, se separa una parte del espacio según el espesor, densidad y posición de las varillas o hilos utilizados. La escultura queda siempre transparente a la luz y permeable al aire, y por lo tanto, translúcida. Su interior se encuentra abierto ante los ojos."

Pablo Gargallo nació en 1881, en Puebla de Zaragoza, España. Murió en 1934. Este artista investigó toda su vida materiales y técnicas nuevas. Sus estudios los aplicaba a sus obras. Estas reflejan un acercamiento a las vanguardias internacionales en lo referente al uso de los materiales y percepción de lo formal.

Gargallo, en 1898, trabajó altorrelieve en yeso que corresponde al modernismo naturalista. Posteriormente, en 1908 rompe con esta corriente y le da gran importancia a la articulación de los volúmenes.

12) *ibidem*. p. 123.

A partir de 1911, trabajó intensamente la chapa metálica. Realizó cuatro máscaras en las que introduce técnicas nuevas: "Máscara con mechón" (1911), "Arlequín" (1925), "Pequeño arlequín con flauta" (1931) y "Picador". También realizó escultura metálica con volumen y monumentalidad, como son: "Española con mantilla" (1930), "Gran bacante" (1931) y "El gran profeta" (1933).

Por otro lado, analiza la concavidad en el volumen por medio de líneas de fuerza, que al mismo tiempo son límites o perfiles de planos y cortes. La estructura de la figura se forma a través de las líneas.

Valeriano Bozal (13) dice: "El problema del volumen en piedra está directamente relacionado con la masa: la masa de piedra o mármol es la condición del volumen, que puede ampliarse o reducirse. La textura es el segundo de sus rasgos fundamentales. La relación con la figura, el tercero. Estos rasgos, los elementos que el escultor maneja, se planean también en las piezas realizadas con chapa metálica, pero ahora con una naturaleza diferente: el volumen surge no de la masa sino del hueco, esto es la novedad más importante que condiciona todas las demás. La chapa es una lámina, un plano, que se redondea, que se manipula hacia afuera o hacia adentro formando concavidades y convexidades, que carece de masa y pone en primer término el hueco espacial que hay detrás o dentro."

13) Valeriano Bozal. *Summa Artis*. Ed. Esparsa. vol. XXXVI, p. 106.

Eduardo Cirlot (14) opina: "Gargallo mantuvo del naturalismo la concepción figurativa; pero sustituyó el volumen por la línea, por el perfil recortado; en las superficies invierte a veces lo cóncavo y lo convexo, contando con los efectos de luz para que su "volumen virtual" quede regenerado."

Posteriormente, los siguientes artistas han trabajado, con su propio estilo, el acero: Sol le Witt "El cubo"; Jaques Woeschal "Equilibrio en el espacio"; Donald Judd, Robert Morris, Marlow Moss y Tony Smith son partidarios de integrar la escultura a una arquitectura ya existente, empleando formas simples y geométricas; Alexander Calder usó placa, alambre y tornillos "EL sol rojo", "EL circo", realizó obras utilizando placas colocadas en distintas direcciones o empleando curvas, "Un poco de azul bajo rojo", también sus "móviles", nombre que les dió Duchamp, son siluetas recortadas suspendidas de una armadura; Pedro Cervantes hace esculturas con defensas de automóviles; César utiliza las compresiones (comprime latas), también emplea el automóvil fuera de uso, comprimiéndolo y reduciéndolo a un cubo de metal triturado y golpeado; Kenneth Svelson maneja las tensiones del acero en su obra, construyéndolas con tubos de metal y cables metálicos que asemejan líneas en el espacio, al darles diversas direcciones ocasiona tensiones que logra estabilizar; Eduardo Chillida, trabaja con viguetas ("Yunque"). Artistas que utilizaron el *coil roul* y ángulo en su obra son Antonio Caro y Disuvero; Richard Serra, utiliza para expresarse placas tal y como salen de la fábrica (es el más mínimo de entre todos los artistas del minimal art); Luis Nevelson y José de Rivera se caracterizan por el trabajo armonioso del acero que se pliega alrededor de un eje principal, desarrollando curvas y contracurvas; Tinguely, estudió el cinetismo y ensayó con esculturas sonoras, puso de manifiesto el carácter puramente mecánico de sus obras con sus máquinas de pintar; Edgar Negret trabaja con tornillos, que además de unir, las cabezas de los tornillos semejan puntos en la superficie de su obra.

14) Eduardo Cirlot, J. Arte del Siglo XX. Tomo I, Ed. Labor, p. 138.

#### 1.4. LA REVOLUCIÓN INDUSTRIAL.

La revolución industrial, es también, económica, social e intelectual. este proceso no fue repentino, tuvo sus inicios en Inglaterra, antes de 1760 y alcanzó su pleno desarrollo en el mundo, después de 1830. Este movimiento fue el resultado de gente especializada en determinados campos, además de las enseñanzas de Francis Bacon (1561-1626), Robert Boyle (1627-1691), e Isaac Newton (1642-1727), y principalmente, el desarrollo de las fuerzas productivas y el surgimiento del capitalismo.

Entre 1700 y 1760, la minería y la industria del hierro estaban vinculados con la tierra y se usaba el carbón como combustible. El mineral procesado como metal líquido, se fundía en lingotes, se echaba en vaciado, o bien se pasaba a la fragua, donde se calentaba y golpeaba hasta transformarlo en barras de hierro forjado.

La principal innovación que tuvo la industria del hierro a principios del siglo XVIII, fue la sustitución del carbón (combustible vegetal) por coque (combustible mineral residuo de la hulla, carbón fósil o carbón de piedra), en la producción de lingotes y de vaciado. Con este procedimiento se logró producir lingotes de hierro de calidad.

El coque es un combustible que fue descubierto por Abraham Darby. Este hecho fue decisivo para que Inglaterra lograra convertirse en una nación industrial. Igualmente, Tomás Newcomen, fue uno de los iniciadores de la tecnología moderna. Inventó una máquina automática que usó en las minas (1708). Este invento fue muy importante porque permitía la explotación de vetas dentro y debajo de capas de agua. Puede decirse que la revolución industrial comenzó en 1760, con la industria del hierro, los altos hornos alimentados con coque, y que ocasionaron nuevas regiones industriales. Hubo nuevos inventos como la máquina de vapor, nuevas formas de

energía, nuevos conocimientos derivados de la ciencia. Además, hubo muchos otros factores, como las nuevas actividades que nacieron de este movimiento como es la ingeniería. La culminación de la revolución técnica se logró en 1829, con la locomotora de vapor guiada con rieles de hierro. Este invento tuvo efectos positivos en la vida económica de todo el mundo.

También en arquitectura hubo innovaciones a partir del material de acero. En 1832, Barthélemy Prosper Enfantin, expuso la idea de una nueva arquitectura en la que se tenía como base al hierro forjado. La armazón para las edificaciones tenían semejanza con la estructura molecular de los cuerpos. Posteriormente en 1850, Joseph Paxton, construyó el "Palacio de Cristal", con vidrio y acero, sirviendo como punto de partida para las actuales construcciones modernas. Principalmente, Paxton y Gustavo Eiffel (1832-1923) desarrollaron el nuevo estilo de la arquitectura moderna. Eiffel, sustituye a la piedra por el acero. Algunas de sus obras son: el puente sobre el río Duero, el viaducto de Garabit, la cúpula del "Observatorio de Niza", la armazón metálica de la "Estatua de la Libertad" de la ciudad de Nueva York. Pero la obra más conocida es la "Torre Eiffel", terminada en 1889, situada en el centro de París.

Adolfo Sánchez Vázquez (15) opina: "Con la revolución industrial del siglo XVIII las riquezas materiales se multiplican y el mercado, insaciable, absorbe más productos; sus fronteras se amplían más y más no sólo porque se incorporan a él nuevos sectores de producción material, sino también porque productos peculiares que hasta entonces, parecían ajenos a todo valor mercantil, caen ahora bajo sus leyes. Lo que en otros tiempos se tenía por reductos inexpugnables -dado los altos valores que parecían encarnar- queda sujeto también a la ley general de producción capitalista. La producción artística se vuelve producción para el mercado, y los más sacrosantos reductos son asaltados por el nuevo poder del dinero".

## CAPÍTULO II.

### EL ACERO: HISTORIA Y USO DEL HIERRO, PROCESAMIENTO, CARACTERÍSTICAS Y ALGUNAS PROPIEDADES FÍSICAS.

#### 2.1. HISTORIA Y USO DEL HIERRO.

Históricamente, se considera que el uso del cobre martillado (Edad del Cobre, 5000 años a.J.C.), marca la transición de la cultura de la piedra (prehistoria) a la del metal. Después se descubrió la manera de fusionar el cobre con el estaño, dos metales blandos, para producir un compuesto más duro como es el bronce. Con este descubrimiento se inició la Edad del Bronce (alrededor del año 3000 a.J.C.). Posteriormente se inicia la Edad del Hierro. El primer hierro que conoció el ser humano, fue el de los meteoritos, considerados de origen divino. Aproximadamente, entre el periodo 4000 y 1500 años a.J.C. se descubrió el hierro mezclado en rocas.

Es de observarse que en los lugares más civilizados se practicaba la fundición del oro, el cobre, el plomo, y se producía el bronce. Cuando se inició la fundición del hierro ya se tenían algunos conocimientos metalúrgicos. El hierro dulce lo usaron los egipcios, los griegos y los romanos. En la antigüedad el conocimiento de los metales se desarrolló al mismo tiempo que avanzaba la civilización. El hierro fue poco a poco ganando terreno a otros tipos de metales como el cobre y el bronce. Los historiadores no coinciden en un periodo determinado en que el hierro haya sido utilizado con fines industriales, pues ubican este fenómeno en diversos momentos dentro del periodo citado anteriormente.

El hierro, en contacto con un ambiente húmedo, se corroe rápidamente, por ello, las piezas de hierro anteriores a nuestra era, que hay en los museos del mundo, son muy pocas. Los

descubrimientos de nuevas técnicas para trabajar los metales, en especial la fundición de hierro y acero, coincidieron con la revolución industrial, que desarrolló maquinaria que permitía multiplicar la producción manual. También, surge en el siglo XIX, el transporte masivo. El dominio del acero se hace patente en el siglo XX, es la base para la industrialización. El hierro y el acero son las más importantes materias primas con las que ha progresado la civilización contemporánea.

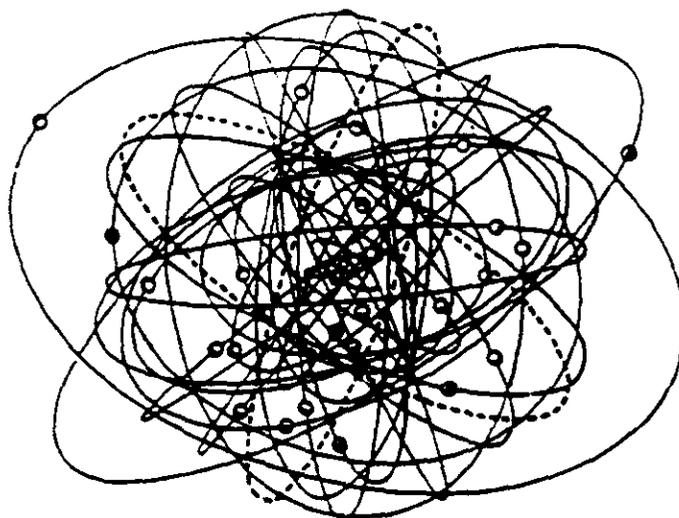
El hierro, del latín "Ferrum", es un metal blanco de textura aspera, que se torna fibrosa después de ser martillada. Su densidad es de 7.8 y se funde a los 1530 °C. Es muy dúctil, maleable y resistente. Se encuentra abundantemente en la naturaleza en estado de óxido, carbonato, silicato o sulfuro. El hierro ocupa el cuarto lugar entre los cuerpos simples que forman la corteza terrestre. En la tabla de clasificación de los elementos químicos, el hierro (Fe) tiene el número atómico 26 (número de electrones del átomo) y una masa de 55.6. Jerónimo Vázquez L. (16) opina sobre el hierro: "Es el elemento metálico de mayor uso en el mundo, y sin embargo, químicamente puro, tiene muy pocas aplicaciones, lo que significa que su empleo es en forma de aleación, principalmente con el carbono, para producir el acero." Por otro lado, a los metales les ha clasificado como ferrosos, preciosos, industriales, estratégicos y energéticos.

Como todos los materiales, el metal ferroso está constituido por átomos, pero las propiedades de estos materiales varían por el modo o manera en que están distribuidos estos átomos. J. Vázquez L. (17) lo define de la siguiente manera: "Atomo. Es la menor parte de un elemento simple, que posee todas las propiedades químicas de aquel."

16) Jerónimo Vázquez L. Diccionario Enciclopédico de la siderurgia. Ed. Urmo, p. 156.

17) *Ibidem*, p. 24.

La siguiente figura representa un átomo de Hierro.

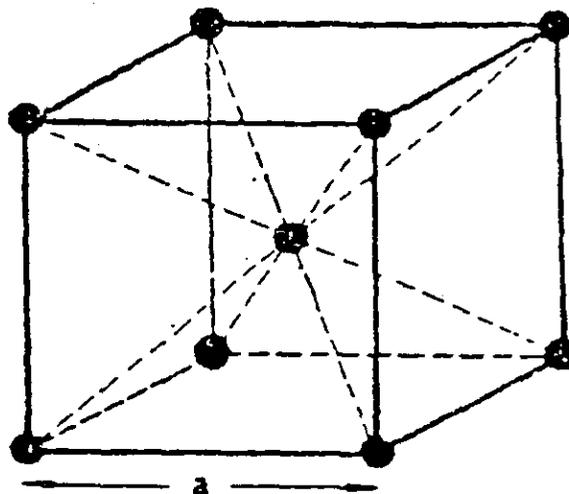


El átomo de hierro mostrando el núcleo rodeado por 26 electrones orbitales de Jessop Saville Ltd.).

Generalmente, a los materiales de la naturaleza se les ha clasificado según su estructura molecular. Estas pueden ser: estructuras cristalinas y estructuras amorfas. Los átomos en las estructuras cristalinas forman grupos regulares y repetidos llamados cristales. Los metales tiene un tipo de estructura cristalina.

Al respecto, J, Vázquez L. (18) dice: "Estructura cristalina. Un cristal es un material en el que los átomos que lo constituyen ocupan los lugares que pueden representarse como un ordenamiento regular en el espacio. El conjunto de cómo están ordenados es lo que se llama red, de las que existen 14 tipos diferentes. Cada red y cada punto de ella, en un determinado sistema, está rodeado por un idéntico sistema. La estructura de un cristal se basa en la red cristalina; pero, aunque permite muchas permutaciones, el número de cristales es limitado."

Cuando los metales se solidifican, sus átomos adquieren ciertas figuras geométricas, llamadas redes espaciales. Estas son características de las estructuras cristalinas. La mayoría de los metales tienen un único tipo de red asociada. Hay otros tipos de metales que tienen dos tipos de red. Se dice que éstos metales son alotrópicos y el cambio de un tipo de red a otro se llama variación alotrópica. Un metal con estas características es el hierro. Debido a su alotropía, es el material más importante. El tipo de red del metal de hierro es la cúbica. A una temperatura normal el hierro puro tiene una estructura cúbica de cuerpo centrado. (fig. 2). La siguiente ilustración es de J. Vázquez L. (19):



CONSTITUCIÓN Y NÚMERO DE ÁTOMOS  
DE RED CRISTALINA: CÚBICA.

18) *Ibidem*, p. 78..

19) *Ibidem*, p. 295.

Todo el hierro fabricado antes de mediados del siglo XIX, se obtenía en estado sólido y pastoso. Se caracterizaba por contener gran cantidad de escorias mezcladas con metal. Las barras se soldaban por martillado y así se obtenían piezas de hierro. En la actualidad, el método que se emplea para su elaboración se realiza en dos etapas, por fusión a altas temperaturas y por colado.

Los principales yacimientos de hierro explotados están en Inglaterra, Estados Unidos, España, Francia y Rusia. El mineral de hierro, además de su abundancia en la naturaleza, tiene una dureza superior a la del oro, cobre y bronce. También ofrece múltiples probabilidades para la creación artística. Es factible realizar con este metal las más variadas expresiones artísticas.

El metal ferroso se encuentra en :

- La magnetita. Es el mineral más rico en hierro que hay en la naturaleza. Su denominación química es óxido ferroso férrico magnético. Cuando es puro contiene 72.5% de hierro.
- La hematita es el mineral de hierro más abundante. Contiene 70% de hierro y 30% de oxígeno.
- La siderita, que contiene un 48.2% de hierro y 37.9% de anhídrido carbónico.

## 2.2. PROCESAMIENTO.

Hay varios procesos para convertir el mineral de hierro en mineral útil:

1.- El hierro crudo es un producto de alto horno y el mineral que se utiliza es la hematita. El hierro fundido en el alto horno se vierte en moldes. Cuando se enfrían se forman los lingotes de hierro. Por otro lado, si el hierro fundido se introduce en hornos de solera abierta o en convertidores Bessemer, se transforma en acero.

2.- El hierro colado o fundición de hierro. Es esencialmente el mismo que el hierro crudo, con

la diferencia de que el hierro es colado de una manera especial.

3.- El hierro forjado contiene partículas fibrosas de escoria silícea. Como están distribuidas en el hierro puro dan como resultado una gran resistencia a la corrosión. Este material fue el más importante para la construcción de estructuras hasta el año de 1855, en que fue sustituido por el acero.

John L. Feirer (20) dice: "El mineral de hierro se funde en altos hornos; las otras materias primas necesarias para producir hierro son coque, piedra caliza y aire. El coque, utilizado como combustible para producir hierro, se obtiene a partir del carbón mineral. La piedra caliza actúa como fundente o limpiador para eliminar las impurezas del mineral de hierro. Se requieren alrededor de dos toneladas cortas (1.8 toneladas métricas, o t) de mineral de hierro, una tonelada (0.9 t) de coque, 1/2 ton (0.45 t) de piedra caliza y 4 toneladas (3.6 t) de aire para producir una tonelada (0.9 t) de hierro.

El alto horno, en el cual se produce el hierro, es una estructura grande de acero de casi 100 ft (30 m) de altura, forrada con ladrillos refracterios (resistentes al calor). Se carga por la parte superior con capas alternadas de coque, mineral y piedra caliza. Cada alto horno tiene tres o más hornos a fin de calentar. Se hace pasar el aire a presión por tubos de esos hornos y se descarga en la base del alto horno a temperaturas entre 1200°F y 1600°F (650 a 870°C). El coque arde en el chorro de aire caliente para producir una temperatura de unos 3500°F (1925°C) en el aire que circula a presión.

Cuando el oxígeno del aire entra en contacto con el coque que está al rojo, se producen grandes cantidades de bióxido de carbono; éste gas se descompone después de formar monóxido de carbono, que es un activo agente reductor. Esto significa que el monóxido de carbono se

20) John L. Feirer, *Metalisteria*. Ed. MacGraw-Hill, pp. 35-36 .

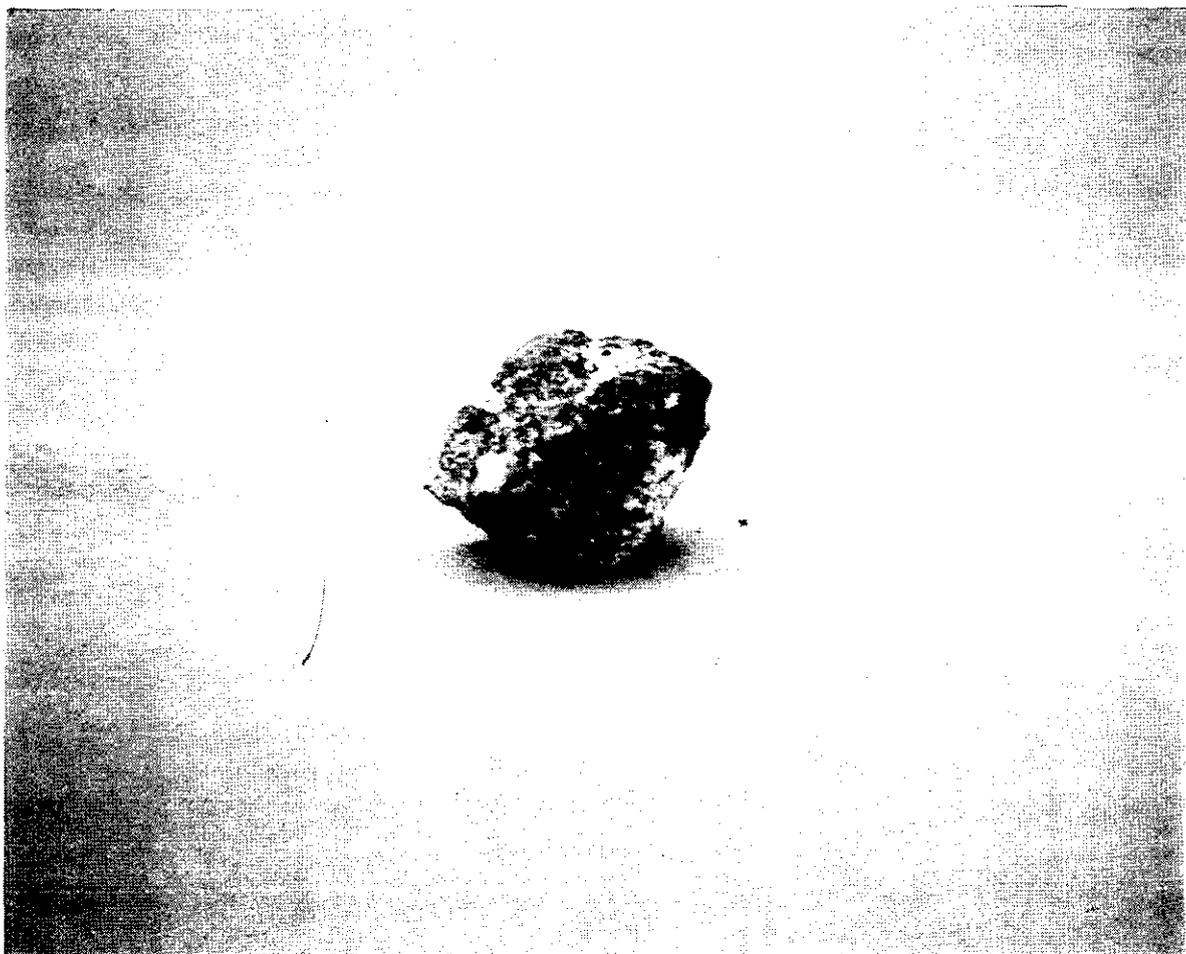
combina con el oxígeno del mineral y en un momento dado, por medio de esas reacciones se separa el hierro en forma de una masa esponjosa y porosa. Esta masa de hierro se mueve hacia abajo a la zona de alta temperatura y empieza a fundirse. Antes de que llegue al fondo del alto horno, ya está fundido por completo.

La piedra caliza, que se carga con las otras materias primas, se combina a altas temperaturas, con las impurezas térreas del mineral para formar escoria, la cual como es más ligera que el hierro fundido flota en la superficie. La escoria se extrae por la esclusa para escoria y el hierro ya limpio se extrae por una abertura en la parte inferior llamada piquera. Durante este proceso, el hierro ha captado entre 3.5 y 4% de carbono al coque. El alto horno funciona sin interrupción. La materia prima se carga con la mayor rapidez posible a fin de tener suficiente hierro fundido para vaciar o sangrar el horno a intervalos fijos, por lo general de 4 a 6 horas. En cada sangría, se extraen del horno entre 100 y 125 toneladas (90 a 115 t) de hierro líquido, el cual fluye a lo largo de canales hacia cazos de gran tamaño montados en carros. Este producto del alto horno se llama arrabio y al vaciarlo en moldes se llama lingote.

El acero se produce a partir del arrabio. El proceso para su producción consiste en refinar el hierro del alto horno para eliminar el exceso de impurezas. Al mismo tiempo, en cada planta siderúrgica se controla la cantidad de elementos de aleación que se agregan al hierro y son parte integral del acero."

Las siguientes fotografías, muestran al mineral de hierro llamado magnetita, el coque, la piedra caliza y un lingote de hierro. Además, se muestran las figuras de un alto horno y una fábrica de acero:

La magnetita es el mineral más rico en hierro que existe en la naturaleza.



El coque sirve como combustible para fundir el mineral de hierro.



La piedra caliza elimina las impurezas del mineral de hierro en alto horno.



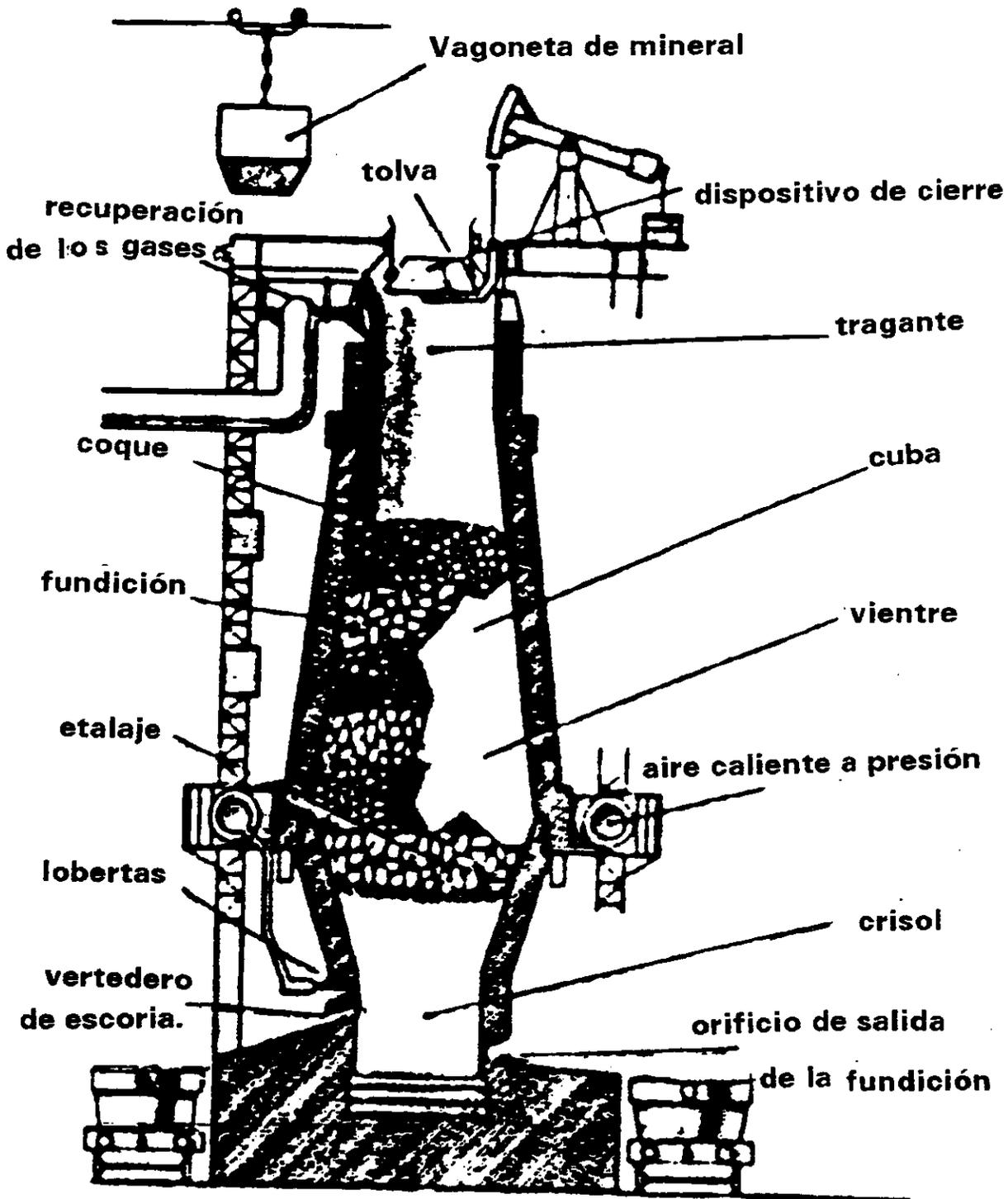
El arrabio (hierro líquido) es un producto de alto horno. Al vaciarse en moldes se le llama lingote . Y precisamente , a partir del arrabio se produce el acero.



La escoria es el residuo del proceso de fundición del acero.

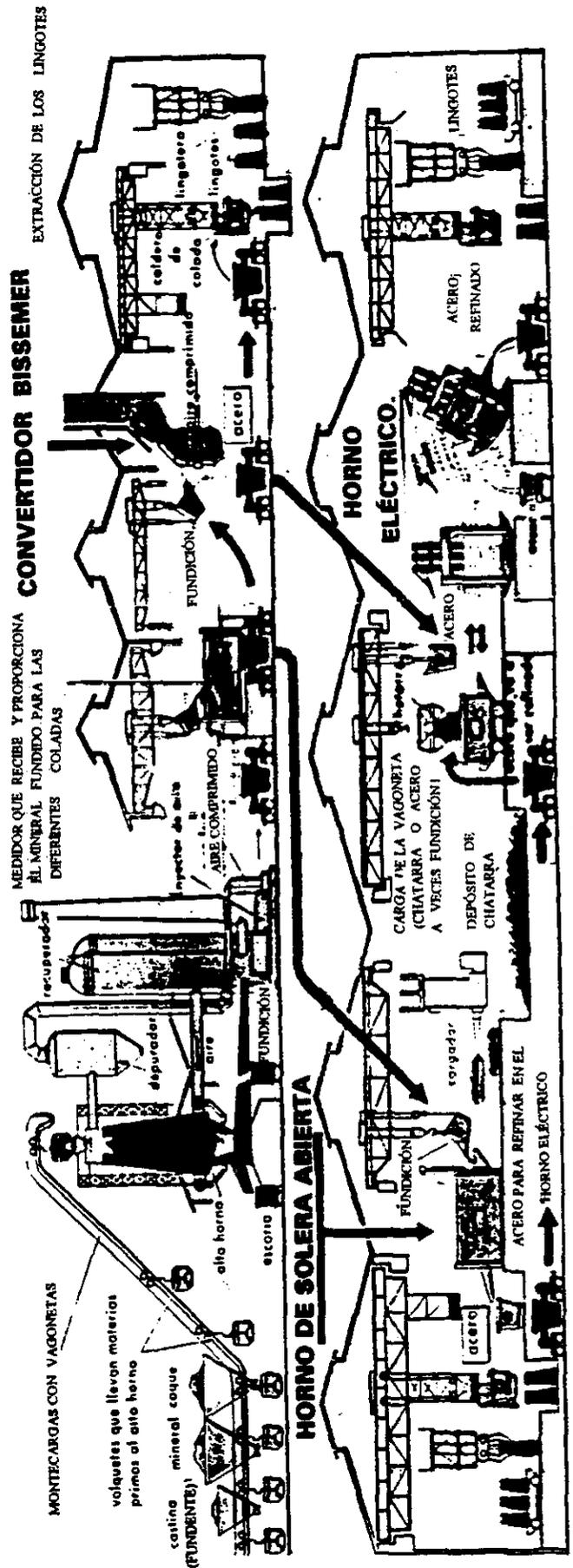


La siguiente figura describe los componentes, de cada una de las partes, de un alto horno en donde se funde el mineral de hierro.



**ALTO HORNO.**

La siguiente figura describe una fábrica de acero. En ella, se procesa la materia prima que al combinarse con el carbono produce diferentes clases de acero.



FABRICACIÓN DEL ACERO .

### 2.3. CARACTERÍSTICAS.

ACERO, del latín *acies*, punta. El acero se obtiene a partir del hierro crudo o arrabio y es esencialmente un proceso de oxidación para eliminar Carbono, Silicio, Manganeso, Fósforo y Azufre. Su producción se logra por medio de procesos básicos o ácidos de solera abierta. Por hornos: eléctrico, de crisol, de oxígeno básico, y de Bessemer. El acero es, principalmente, una aleación de hierro y carbono.

J. Vázquez L. (21) da la siguiente definición acerca del proceso que sigue el diagrama de equilibrio hierro-carbono: "El hierro y el carbono, para la concentración de 6.6% de C, forman un compuesto e la forma  $Fe_3C$ , *cementita*, parcialmente soluble en hierro y que, para una concentración de 4.3% C, forma una eutéctica, *ledeburita*. Como todos los compuestos, al pasar a solución sólida, la cementita se disocia en sus elementos Fe y C. El límite de solubilidad del C en el hierro es de aproximadamente 1.7% de dicho elemento, a 1130°C, lo que marca el límite superior en los aceros."

Los aceros ordinarios se endurecen por temple. Estos contienen más de 0.15% de carbono. El objeto de templarse es aumentar su resistencia y dureza. Para ello, se calienta a temperatura elevada y luego debe enfriarse rápidamente en agua u otro líquido.

Como las aleaciones son materiales compuestos por dos o más elementos, donde uno de ellos es metal, poseen propiedades metálicas. Hay tres tipos de aleaciones:

1. Dos componentes son insolubles uno en el otro en estado sólido; mantienen sus propiedades y características individuales.

21) Jerónimo Vázquez L. ob. cit. p. 158.

2. Dos elementos son solubles uno en el otro en estado sólido.
3. Los elementos se combinan para formar compuestos intermedios. Estos compuestos son resistentes, duros y de alta resistencia.

Los aceros inoxidable son aleaciones, se procesan con otros metales y se clasifican en grupos:

**Primer grupo.** Aceros llamados "martensíticos", se endurecen por temple, como los aceros ordinarios. Contienen de 12 a 16% de Cromo, con un contenido de Carbono que varía de 0.1 a 0.4%. su inoxidable aparece después del temple.

Los aceros del **segundo grupo** se llaman "ferríticos". Contienen de 16 a 30% de Cromo. No pueden templarse por enfriamiento.

El **tercer grupo** es el de los aceros "austeníticos", que contienen de 12 a 30% de Cromo y de 7 a 25% de Níquel. No se endurecen por temple. También, el acero clásico "18-8", y un gran número de aceros pertenecen a este grupo. En la actualidad, la fundición baja en Silicio, llamada fundición de afino, es el sistema que más se usa para la fabricación de acero.

#### 2.4. ALGUNAS PROPIEDADES FÍSICAS DEL ACERO.

Los materiales metálicos de acero tienen propiedades físicas y mecánicas. Las propiedades físicas son: tratamiento térmico, tensión, deformación, dureza y durabilidad. Las propiedades mecánicas se producen cuando los materiales son sometidos al uso, por lo que sus propiedades son determinadas por pruebas de laboratorio que tienen normas previamente establecidas. Menciono tan sólo algunas de las propiedades físicas del acero que considero más vinculadas con este trabajo.

#### 2.4.1. TENSIÓN Y COMPRESIÓN.

Los materiales al ser usados en mecanismos o estructuras están sometidos a fuerzas aplicadas como son la tensión y la deformación. A las fuerzas internas se les da el nombre de tensiones. Se miden cuantitativamente (tensión por unidad de área, libras por pulgada cuadrada). A la deformación se le denomina: deformación por alargamiento. La tensión y la deformación se realizan cuando los materiales son usados en mecanismos o estructuras que están sometidas a fuerzas aplicadas.

El acero tiene la cualidad de ser maleable, su plasticidad le permite no sufrir ruptura cuando se le aplica una fuerza o se le da forma. El hierro colado no tiene esta cualidad. Los materiales se someten a cargas estáticas para conocer su comportamiento. Estas pruebas son reglas establecidas, por lo que los resultados que se obtienen son los mismos en cualquier parte del mundo. Dentro de los ensayos estáticos más comunes están el ensayo de tracción o compresión y el de dureza. Con la prueba de compresión se puede obtener información acerca de las propiedades de un material. Esta consiste en someter, en una máquina de pruebas, una muestra del material a diferentes tipos de tensiones. La deformación que se produce por cargas aplicadas en un material, se pueden determinar en forma precisa por medio de un aparato medidor. De esta manera se pueden determinar datos que se presentan en la curva de tensión-deformación.

La tensión es directamente proporcional a la deformación. El límite de proporcionalidad es la establecida por la ley de Hooke. Esta ley dice: "Dentro del rango elástico de los materiales la tensión es proporcional a la deformación". La relación entre la tensión y la deformación se llama módulo de Young o de elasticidad, es para el hierro, acero y elementos de aleación. Esta es una medida de rigidez que indica la capacidad del material para resistir la deformación. En las tensiones que sobrepasan el límite elástico, los aumentos de deformación y de tensión no son proporcionales.

La compresión es el efecto de comprimir (apretar un cuerpo de manera que reduzca su volumen). Al trabajar los metales se requiere de la fuerza para cambiar la figura de una pieza trabajada.

El metal puede cambiar su forma de tres maneras: por aplicársele fuerza y posteriormente volver a su estado normal (deformación elástica); por aplicársele una fuerza permanente (deformación plástica); la otra forma en que un metal cambia de configuración es por rotura. Se necesita más fuerza para la rotura que para la deformación plástica.

Se utiliza la prueba del esfuerzo de tensión como el máximo esfuerzo o fuerza que puede soportar un material sin romperse. La prueba del esfuerzo de tensión es la más indicada para evaluar los metales, e incluyen la aplicación de compresión o tracción del metal.

El esfuerzo de compresión es la fuerza para comprimir un material antes de romperse. Hago notar, que en las obras que presento, elaboradas en lámina y placa de acero, al trabajo realizado para darle la forma requerida, se ubican dentro del tipo denominado deformación plástica.

Después del límite elástico se produce la llamada deformación permanente. Este es un fenómeno de plasticidad con las que se pueden realizar deformaciones permanentes, moldear y cortar todo tipo de metales para darles cualquier forma. Entre más plástico es un material, adquiere mayor capacidad para la deformación sin romperse. La ductibilidad es la característica que tienen los metales de alargarse plásticamente sin sufrir ruptura. La fragilidad se da cuando un material carece de ductibilidad. La maleabilidad es la capacidad que tiene un material para ser deformado sin romperse. Por otro lado, la dureza se relaciona con la tracción o compresión..

La dureza es la característica que tiene un material para resistir ser mellado y rayado. Para especificar la dureza más ampliamente se tomó la definición de J. Vázquez L. (22): "**Dureza.** Resistencia a la deformación por penetración. Mide la resistencia que opone un cuerpo a su penetración por otro de mayor dureza, se emplean los ensayos *Brinell, Vickers, Shore, Rockwell* y *esclerómetro*. Se trata en todos estos sistemas de medidas comparativas, efectuadas bajo unas condiciones experimentales bien determinadas. Están aproximadamente relacionadas unas con otras, así como la resistencia a la tracción o compresión del metal... La dureza relativa se expresa en términos de la escala de Mohs y está determinada con diez tipos de minerales: 1) talco; 2) yeso; 3) calcita; 4) fluorita; 5) apatita; 6) feldespato; 7) cuarzo; 8) topacio; 9) corindón y 10) diamante."

#### 2.4.2. TRATAMIENTO TÉRMICO.

La mayoría de los metales no son solubles ni insolubles por completo el uno en el otro. Sólo aceptan cierto porcentaje como máximo en su composición. Al respecto J. Vázquez L. (23) dice: "**Tratamiento térmico.** El acero con contenido de carbono superior al 0.15% es susceptible de recibir el tratamiento a elevadas temperaturas, bien para ablandarle haciéndole más fácilmente mecanizable (recocido), dejándolo más dúctil y blando, o bien para endurecerle por enfriamiento rápido, cambiándole su constitución y propiedades físicas. El que el tratamiento térmico pueda ser beneficioso, depende de si es correctamente aplicado, uniformemente calentado, seguido del adecuado enfriamiento. También depende de la uniformidad del material, composición química, eliminación de defectos, inclusiones y segregaciones acentuadas; y de

22) Jerónimo Vázquez López, ob.cit. pp.142-143.

23) *Ibidem*, p. 327.

que el tratamiento en la instalación sea la adecuada, con el calor uniforme en toda la longitud de la pieza y en toda la sección, unificando la temperatura del núcleo central con la del exterior. Regulación e igualación de las temperaturas, mantenimiento del tiempo necesario a la temperatura elegida, etc."

El tratamiento térmico se define como el calentamiento y el enfriamiento de un metal con el propósito de alterar sus propiedades. Los tratamientos térmicos se dividen en varias fases: sólida, líquida y gaseosa.

Los cambios de fase tienen lugar en el hierro y en el acero, determinan su composición. El acero es, esencialmente, una aleación de Hierro y Carbono, o sea que el Carbono está en el acero en forma de compuesto intermedio, carburo de hierro ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ), llamado Cementita.

El tratamiento térmico del acero tiene su origen en las transformaciones que tienen lugar en el hierro puro con los cambios de temperatura. A la temperatura ambiente ordinaria, el hierro puro tiene una estructura cúbica de cuerpo centrado. Es magnético, y no es muy fuerte ni más duro que el cobre. Esta condición se conoce como fase Alfa. cuando el hierro alfa se calienta a  $1414^\circ\text{F}$  pierde sus propiedades magnéticas, pero permanece su estructura de cuerpo centrado. En esta condición se llama hierro Beta. Por ejemplo, el endurecimiento del acero en dos etapas, tienen lugar cuando la austenita se transforma en ferrita y cementita. Esta transformación tiene lugar con el enfriamiento lento. J. Vázquez L. (24) dice: "El carbono se disuelve en solución sólida en el hierro, en forma de inserción, es decir, que en el estado sólido los átomos de carbono se intercalan en los espacios existentes, entre los átomos de hierro."

La gran importancia que tienen los cambios de fase radica en que el hierro tiene diferentes capacidades para retener carbono en solución sólida.

24) *Ibidem*, p. 158.

Es por este hecho que es posible el tratamiento térmico del acero. El contenido máximo de carbono de una aleación de hierro-carbono que puede tener toda su cementita en solución sólida es de 1.7%. Las aleaciones hierro-carbono que tienen menos de 1.7% se llaman aceros. Los que tienen más de 1.7% de carbono se clasifican como hierros de fundición. La siguiente observación es de J. Vázquez L. (25): "Acero. Aleación C-Fe; teóricamente con contenido de carbono entre 0.1 y 1.7%. Está entre el *hierro dulce* y la fundición. Contiene siempre cantidades más o menos importantes de silicio, manganeso, fósforo y azufre. El mayor tonelaje del acero se emplea en su calidad suave o dulce, con contenido de carbono menor de 0.23%, con lo que es soldable y fácilmente mecanizable".

La denominación de los aceros va de acuerdo a la cantidad de carbono que tienen en su composición:

- a) Aceros eutectoides, contienen 0.83% de carbono.
- b) Aceros hipoeutectoides, los que tienen menos de 0.83% de carbono.
- c) Aceros hipereutectoides, aquellos que tienen más del 0.83% de carbono.

Algunas observaciones generales :

- 1) Los aceros con más del 0.15% de carbono tienen la característica para combinar su constitución y propiedades físicas, por medio del calentamiento o enfriamiento (tratamiento térmico).
- 2) Se llaman aceros al carbono a los que no contienen aleaciones (Cromo, Níquel, Vanadio, Molibdeno, Tungsteno, Cobalto, Boro, etc.).

25) *Ibidem*, p.305.

3) Los aceros que más se utilizan en la industria son :

- a). Hierro fundido, contiene entre 2 y 4% de carbono . Algunos de sus productos son hierro blanco, el gris, y el maleable. Cada uno tiene sus propias características.
- b). El hierro dulce contiene muy poco carbono, menos del 0.1% .
- c). El acero al bajo carbono (dulce) contiene de 0.1 a 0.3 % de carbono (aceros hipoeutectoides) .
- d). El acero al alto carbono, contiene de 0.6 a 1.7 % de carbono (acero hipereutectoide)..

Las fases de los tratamientos térmicos son diferentes y van de acuerdo al resultado que se quiera obtener. Los tratamientos térmicos del acero pueden ser por:

- 1.- Endurecimiento. Esta basado en el cambio que se efectua en dos etapas. Primero debe ponerse en condiciones austenísticas. Luego debe enfriarse rapidamente. El acero endurecido está compuesto por martensita y cementita.
- 2.- Templado interrumpido. El acero es enfriado rápidamente, pero enseguida se interrumpe para darle un baño de elevada temperatura.
- 3.- Templabilidad. Esta se define por la facilidad del acero para desarrollar su máxima dureza cuando se somete al ciclo normal de calentamiento y temple. La templabilidad no es lo mismo que la dureza.

Lo importante es conocer que varios aceros de composiciones distintas tienen propiedades casi idénticas de resistencia cuando se les somete a un adecuado tratamiento térmico. La mayor parte

de este proceso se realiza en el taller de fundición. J. Vázquez L. (26) da su opinión al respecto: "TEMPLABILIDAD. Facultad de endurecimiento con posibilidad de que un acero austenítico, por temple, pase a martensítico. Se expresa como el máximo diámetro de redondez, en el que el temple llega a toda superficie interna por temple en agua. El centro de la barra se supone con un 50% de martensita".

Es de observarse también que por medio de la durabilidad, se mide la resistencia al desgaste y cambios físicos-químicos de un acero o hierro. Al respecto J. Vázquez L. (27) dice: "LÍMITE DE DURACIÓN O DE FÁTIGA. En el ensayo de fatiga es el número de ciclos, o sea, el de inversiones de esfuerzo aplicado a la prueba antes de producirse la fractura de esta. La prueba de duración es sinónimo de la de fatiga."

Para probar la resistencia de los materiales se les somete a pruebas de tensión y flexión. Para ello se utilizan aparatos especiales. Este tipo de pruebas son útiles para clasificar los metales de acuerdo a su sensibilidad, ranuras y tensiones.

## 2.5 ACEROS AL CARBONO DULCE Y DE ALEACIÓN (INOXIDABLE).

Existe actualmente, una escala o código para indicar el proceso empleado para producir acero. Este sistema es el: AISI-SAE (American Iron and Steel Institute-Society of Automotive Engineers). La escala de producción es:

26) *Ibidem*, p. 141.

27) *Ibidem*, p. 104.

B: Acero al carbono Bessemer ácido.

C: Acero al carbono abierto básico.

CB: Bessemer o solera abierta a opción de planta laminadora.

E: Aleación de acero en horno eléctrico.

SIN PREFIJO : Aleación de acero de solera abierta.

Los aceros al carbono están sujetos a la corrosión. Para evitar la corrosión se ha producido gran variedad de aceros de aleación. Los elementos de aleación son: el cromo, el níquel, el vanadio, el molibdeno, el tungsteno, el cobalto, el boro, el cobre y además otros componentes. Con estas sustancias se produce una mayor resistencia; endurecimiento; estabilidad y mejor maquinabilidad. Igualmente se producen aceros de composición balanceada, con la finalidad de que reúnan los elementos de aleación necesarios para algún uso o necesidad específica. J. Vázquez L.(28) dice: "ACEROS AL CARBONO. Se llama así al que no contiene aleación especial más que las residuales corrientes y cuya suma no sea mayor de 3.0%."

El acero inoxidable es una aleación de 18% de cromo y 8% de níquel, comúnmente conocido como 18-8. Pertenece al grupo de los aceros inoxidables austeníticos. No es magnético y se endurece sólo por trabajo en frío. También puede pulirse a espejo.

Aquí, hago referencia a la obra "ALBORES DEL SIGLO XXI", porque el tipo de acero inoxidable que utilicé para su elaboración (en la base) pertenece al grupo de los aceros austeníticos, que es una aleación que contiene 18% de cromo y 8% de níquel. Calidad 304. También, usé lámina de acabado espejo. Calidad 430. Tiene la característica de ser magnética.

28) *Ibidem*, p. 235.

Los aceros inoxidable ferríticos no contienen níquel y son similares a los austeníticos. Por otro lado, los aceros inoxidable martenísticos, en su mayoría, no contienen níquel, pero tienen más carbono y menos cromo que los ferríticos. Se endurecen con tratamiento térmico, son resistentes al medio ambiente, agua, vapor y ácidos débiles. La mayoría de los aceros inoxidable son difíciles de maquinar debido a su dureza. J. Vázquez (29) da la siguiente definición: "Acero inoxidable. Comprende una extensa gama de composiciones químicas, sin más coincidencia que es la de contener cromo en cantidades variables, pero siempre por encima de 12 %, que es el elemento que proporciona la inoxidable y resistencia a la corrosión".

29) *Ibidem*, p. 301.

## 2.6. FUNDICIÓN DEL ACERO Y MODELADO.

La fundición o colado de metales, es el proceso que se sigue para producir diferentes tipos de modelos o figuras de un diseño. E. P. de Garmo (30) opina: "Los diseñadores deben tener presente el método de fundición y proveer las tolerancias que el proceso requiera. Al mismo tiempo, un diseño adecuado puede eludir la necesidad de una tolerancia excesiva." Y agrega (31): "La fundición o colado, o sea la producción de una forma determinada por la introducción de un material fundido en una cavidad previamente preparada, o molde, donde se solidifica, es uno de los procesos más antiguos de fundición. La fundición es aún hoy uno de los procesos más importantes y básicos debido a que tiene varias ventajas definidas: pueden producirse formas complicadas de casi cualquier tamaño, y con secciones delgadas. Los metales que más comúnmente se funden son: hierro, acero, aluminio, latón, bronce, magnesio. De éstos, el Hierro es el más adecuado para fundirse, por su baja fluidez, baja contracción, resistencia, rigidez y facilidad de control".

Para dar forma al metal en fusión, se vacía en moldes. Hay diferentes procesos de fundición, pero todos tienen los mismos problemas y requieren de los siguientes factores. Según la opinión de E.P. de Garmo (32):

- a) Debe fabricarse un molde de cavidad.
- b) Debe lograrse una forma adecuada de fundir el metal a colar.
- c) Debe lograrse un método adecuado para introducir el metal en el molde y asegurar el escape de aire y de todos los gases contenidos en el molde antes de llenarlo, o de los que se originen por la acción del metal caliente sobre el molde.

30) Paul de Garmo, E. *Materiales y Procesos de Fabricación*. Ed. Reverte, p. 274.

31) *Ibidem*, p. 209.

32) *Ibidem*, p. 210.

- d) Debe preverse la contracción que sobreviene en la mayoría de los metales durante la solidificación y el enfriamiento.
- e) Se debe poder sacar la colada del molde.
- f) Después de sacar la colada del molde, se deben realizar ciertas operaciones de acabado para eliminar partes sobrantes que están adheridas a la colada, como resultado del método de introducción del metal en la cavidad, o que son extraídas del molde por contacto del metal con él".

Agrega además (33): " en la actualidad hay seis tipos principales de proceso de colado:

1. Fundición en arena. Se usa la arena como material del molde. Como las pequeñas partículas de arena se pueden aglomerar en secciones delgadas, y pueden usarse en grandes cantidades, pueden fabricarse productos en un amplio rango de tamaños y formas con éste método. En este proceso se debe preparar un modelo nuevo para cada colada. Generalmente, en fundición de arena, se hace fluir el metal dentro del molde por gravedad.
2. En la fundición en molde permanente el material fluye, usualmente por gravedad, dentro de un molde metálico. El mismo molde puede usarse repetidamente para producir una gran cantidad de piezas.
3. La fundición en matriz también emplea un molde metálico o matriz, pero el metal fundido es forzado dentro de la cavidad bajo presión, la que se mantiene hasta que se completa la solidificación.
4. En la fundición por centrifugado puede emplearse un molde de metal o arena. Las fuerzacentrifugas se utilizan para hacer que el metal fundido adopte una forma dada dentro del molde y se asegure una estructura metálica uniforme y densa.

33) *Ibidem*, p. 33.

5. La fundición por revestimiento usa un modelo de cera y mercurio congelado o un molde de yeso u otra mezcla cerámica. Se adapta muy bien a la producción de piezas pequeñas y complicadas que deben lograrse con gran exactitud dimensional.
6. La fundición en casquete o vaina utiliza un casquete relativamente fino que se hace vertiendo una mezcla de arena y resina plástica alrededor de un modelo de metal recalentado, hasta un espesor de 1/8 de pulgada. El casquete resultante se cuece luego para asentar la resina formando así una cavidad semirrígida. Las dos mitades del casco se unen entre sí para formar una cavidad o molde. Estos casos se refuerzan con munición o arena para otorgar resistencia al molde antes de verter el metal".

J Vázquez (34) opina: "Colada. Puede ser para moldes en arena, en hierro o en acero, en cadenas de lingoteras metálicas para arrabio, y en lingoteras de fundición para obtener los lingotes de acero que pasarán a la forja o a la laminación. En la colada de lingotes puede realizarse directamente por arriba o en sifón, haciendo al acero para penetrar por la parte inferior y ascender por el interior de la lingotera, así se cuela la gran cantidad de lingotes pequeños que han de alimentar los trenes de laminar o para forja de hasta 30 t. La mejor superficie que presentan los lingotes así colados es debida a la eliminación de las salpicaduras del chorro de acero líquido sobre las paredes de la lingotera. Moderna es la utilización de la colada continua, que proporciona mayor uniformidad en la composición y al ser de menor sección que los lingotes convencionales, la segregación de elementos es menor que en un lingote de mayor sección."

34) L. Vázquez, ob. cit. p. 242.

Todos los procesos de fundición requieren de algún tipo de horno para fundir el metal. Estos deben reunir los siguientes requisitos:

- a) Temperatura adecuada.
- b) Economía.
- c) Prevención de la contaminación.
- d) Contar con las prevenciones necesarias para cuando se efectuen los cambios químicos producidos por los elementos agregados al metal fundido.

Los hornos que más se usan son los de: Cubilete, de aire, eléctrico de arco, eléctrico de inducción, de solera abierta, de corriente lateral y el de crisol. J. Vázquez (35) da la siguiente definición, donde se incluyen varios tipos de hornos: "Siderurgia. Es la ciencia que estudia las operaciones industriales concernientes al hierro, desde el mineral, su extracción, beneficio, reducción, fabricación del acero, hasta su posterior elaboración y acabado. Los minerales de hierro se presentan en distintas formas y composiciones, generalmente en forma de óxidos, hematites, magnetita, etc. o carbonatos, siderita, que hay que calcinar. También de la tostación de las piritas. La reducción se realiza por C y CO en el alto horno, que por su elevado rendimiento térmico no ha podido ser sustituido hasta ahora. El arrabio obtenido de la reducción del mineral es afinado por distintos y muy variados procedimientos, convertidores Bessemer y Thomas, hornos Martin-Siemens, eléctricos (éstos dos últimos con la mezcla de chatarra de acero) y finalmente el soplado con oxígeno tipo LD".

35) *Ibidem*, p. 344.

## 2.7. EL ACERO TRABAJADO EN CALIENTE Y EN FRÍO.

Para que haya acero, se necesita además del mineral de hierro, la materia prima: coque, piedra caliza, aire y oxígeno. El coque se usa como combustible. La piedra caliza es el fundente o limpiador que elimina las impurezas del mineral. Después de efectuarse el proceso de producción de acero, queda un residuo o desecho llamado escoria.

Posteriormente, para que se produzca el acero, se funden todos los ingredientes en un alto horno. En seguida, se pasa a los hornos de producción, donde el acero se vacía en moldes para formar lingotes. J. Vázquez L. (36) nos proporciona la siguiente versión: "Alto horno. Recipiente circular, ligeramente cónico en su parte alta, sobre un cono truncado invertido (etalejes) descansando sobre el crisol cilíndrico. Por medio de toberas situadas en la parte inferior, se inyecta viento a presión de 0.7 hasta 1.8 kg./cm.<sup>2</sup> para producir arrabio por fusión de los minerales con carbón de coque. La carga compuesta de mineral, coque y caliza, se introduce por la parte superior, pasando en su descenso por temperaturas crecientes, recogiéndose el arrabio y su escoria en piqueras a distinta altura, en su parte inferior. El viento es previamente calentado a 500 ó 700°C, haciéndose circular a contra corriente de como cedieran su calor los gases de salida, que alternativamente se hacen pasar por una estufa en forma de colmena de refractarios, de modo que, cuando una estufa está calentándose, otras están cediendo calor almacenado en el periodo anterior."

El procedimiento que se sigue para los lingotes, es el de recalentamiento. A este proceso se le llama de colada continua (hay muchos tipos de colada). El paso a seguir, va de acuerdo al tipo de acero que se desee producir.

36) *Ibidem*, p. 36.

El hierro como elemento puro no es adecuado para emplearse en la industria. Su utilidad se inicia cuando se le agrega carbono. Los aceros al carbono están clasificados de acuerdo a la cantidad de carbono que contienen. Esta cantidad se mide en puntos o porcentajes. Por ejemplo, 100 puntos equivalen a 1 % de carbono.

El trabajo en caliente está definido como la deformación plástica que sufren los metales a una temperatura mayor que la temperatura de recristalización. Es un proceso de manufactura muy importante para alterar, completamente, la forma de los metales sin provocar su ruptura. J. Vázquez L. (37) define: "Recristalización. Metales puros y soluciones sólidas que han sufrido un trabajo en frío (p.ej. un alambre de acero) recristalizan con un tratamiento térmico. Durante este, se produce una activación térmica que permite a los cristales de mayores ángulos y, por lo tanto, de más elevada energía, agruparse lentamente uno con nuevos límites. El resultado es la transformación de los anteriores cristales distorsionados o alargados en la dirección del trabajo en frío (trefilado) y de elevada dureza, por otros más blandos...". Y agrega (38): "Trabajo en caliente de los aceros. Forja, estampación, laminación, extrusión, etc., son procesos que se realizan a temperatura inferior que la requerida para la recristalización, pero lo suficientemente elevada para obtener plasticidad y menor resistencia al acero que la que tiene en frío. Generalmente, se mejoran las características mecánicas del acero por el trabajo en caliente."

Por encima de la temperatura de recristalización no se produce el endurecimiento por deformación, porque el trabajo en caliente está asociado con la temperatura de recristalización y no con la temperatura absoluta. Algunos procesos de trabajo en caliente: Laminación, forja, extrusionado, estampado, soldadura de tubos, de tope, de solapa, perforación, estriado o embutido, repusaje.

37) *Ibidem*, p. 253.

38) *Ibidem*, p. 362.

El trabajo en frío, se define como el modelado de metales por medio de deformaciones plásticas que se efectúan por debajo de la temperatura ambiente. El trabajo en frío es más adaptable para la producción en masa. J. Vázquez L. (39) explica: "Produce deformación plástica a temperatura tan baja que queda el material endurecido. Se entiende temperatura por debajo de la recristalización. A medida que aumenta el grado de deformación plástica, desciende la temperatura en la que se produce la recristalización. Puede realizarse el trabajo en frío de un acero, por laminación, calibrado, forjado, trefilado, extrusionado, etc. El acero así tratado aumenta su resistencia a la tracción y la dureza, resistencia a la fatiga, resistencia eléctrica, y en cambio, disminuye la ductilidad".

Los principales procesos de tratamiento en frío son: Prensado, laminado (que puede fabricarse en chapa o con la finalidad de calibrar la medida justa), curvado, cizallado, compresión, estirado, corte.

La mayoría de las herramientas que se fabrican se elaboran con acero al carbono. Los aceros que más se utilizan con fines industriales son los siguientes: el hierro fundido, el hierro dulce, y los aceros al carbono.

El Hierro fundido contiene entre 2% y 4% de carbono. Sus principales productos son el hierro blanco, el gris y el maleable. El hierro gris y el hierro o fundición blanca, tienen como característica la buena resistencia al desgaste. Son muy frágiles, no se pueden martillar ni darles forma. Son económicos. El hierro maleable es un hierro fundido que es recocido para que adquiera mayor maleabilidad. Tienen una resistencia intermedia, no son ni frágiles ni duros. Resisten el martillado. Son difíciles de soldar. Se usan mucho en la rama de la plomería.

39) *Ibidem*, p. 65.

El hierro dulce contiene muy poco carbono. Se puede forjar, doblar fácilmente en caliente o en frío y se puede soldar. Por lo regular no se usa en talleres de trabajo por su alto costo. Se usa en herrería ornamental.

El acero al bajo carbono es el llamado acero dulce o blando. Contiene de 10 a 30 puntos, o sea que contiene de 0.1 a 0.3% de carbono. Se puede maquinar, soldar y darle forma fácilmente. No se endurece. Se puede trabajar sobre banco como herrería ornamental. Este tipo de acero se adquiere en el mercado con los nombres de lamina negra, flejes, barras, varillas, placa, etc. Es de observarse que mi trabajo "HIPERVISIÓN", está hecho con lámina negra. Igualmente, "LA ESPIRA", y "ENLACE", con placa.

El acero al mediano carbono contiene de 0.3 a 0.6% de carbono (de 30 a 60 puntos). Se emplea en la elaboración de piezas para máquinas, martillos, etc.

El acero al alto carbono contiene de 0.6 a 1.7% de carbono (60 a 170 puntos). Se utiliza para hacer herramientas y cualquier objeto que se deba endurecer y templar. La siguiente lista de calidades de aceros, que se pueden adquirir en el mercado, la proporcionó Aceros Fortuna, S.A. (40):

" CALIDAD .	
Aceros para cementación	EX 8 EX 17 GB 1
Aceros para construcción	TCMo 4 TX 10 GB 4 GB 6

40) Aceros Fortuna, S.A. Índice de calidades. Centro de Servicio, Distribuidores de Acero Finos. Sucursal Centro, p. 11.

Aceros al carbono      W 11 prima  
(acero plata)

CALIDAD

Aceros para trabajar  
en frío

CA 1220  
CA 1215  
SW 111  
SW 55  
WA 255  
12 M  
W 10 V

Aceros para trabajar  
en caliente

WA 255  
MoG 511  
MoG 510 V  
NG 2 Supra

Aceros para moldes que  
trabajan material  
sintético  
Aceros rápidos

EW X 40  
W 18  
Mo 500

Aceros inoxidables

F 13 a  
T 171 T  
A 18 a  
AS 18  
AS 182

Aceros refractarios

10 A  
12 A "

## C A P I T U L O   I I I .

### PROTECCIÓN CONTRA LA OXIDACIÓN Y CORROSIÓN PARA EL ACERO AL CARBONO.

La oxidación y corrosión es la capa de óxido que se forma en un metal al combinarse con el oxígeno o por perder electrones, produce una reacción química. Cuando la capa de óxido aumenta se produce el color café que la caracteriza. La protección del acero puede efectuarse de varias maneras: Por pintado; aleándolo con otros metales, como el cromo, a altas temperaturas; por cromado; niquelado; cobrizado; aluminizado; a temperatura ambiente. También, por galvanizado, por estañado, fosforado, etc. Este último tipo de protección es de menor duración.

En este capítulo se tratará, solamente, sobre recubrimientos para el acero al carbono dulce o blando usando pintura acrílica (laca); cromado y cobrizado (electrólisis) y por pavonado (proceso químico).

#### 3.1. RECUBRIMIENTO POR PINTURA.

El sistema de pintado que se describe a continuación es el empleado en la escultura "HIPERVISIÓN".

Por economía y duración debe escogerse un buen sistema de pintado e igualmente es importante su correcta aplicación. Con esto disminuirán notablemente los gastos de mantenimiento. Las investigaciones y experiencias de personas especializadas han demostrado que el éxito de la protección para estructuras y láminas de acero al carbono dulce se basa en los

principios generales proporcionados por F. Fancott (41):

- "1. Correcta preparación de la superficie del acero que va a pintarse.
2. Elección adecuada del sistema de pintado.
3. Un proceso correcto de pintado. Esto supone la aplicación del sistema de pintado preciso, bajo buenas condiciones ambientales y con espesores de películas adecuadas."

También es importante utilizar materiales de buena calidad y mano de obra calificada.

### 3.1.1. PREPARACIÓN DE LA SUPERFICIE.

La correcta preparación de la superficie que se va a pintar, es la base fundamental para asegurar un buen recubrimiento por pintura. Una consecuencia del acero al carbono laminado es que se recubre toda su superficie de una fina capa de hierro oxidado o costra de laminación, llamada Calamina. Esta es consecuencia del proceso de calentar el acero al rojo blanco y al ponerse en contacto con el aire, ocasiona que se oxide rápidamente. La costra de laminación varía de espesor, estructura y composición, y también varía de un material a otro.

El método de preparación de la superficie en una estructura de acero depende de varios factores como son: el medio ambiente en que haya de estar situada la estructura; el estado superficial de las planchas y perfiles; la facilidad de acceso para el futuro mantenimiento. Igualmente es importante el procedimiento que se escoja para eliminar la calamina y óxido.

41) F. Fancott. Protección por Pintura de Estructuras Metálicas. Ed. Blume, p. 1.

Todos los métodos tienen como principios generales, para un proceso de pintado, lo siguiente:

- 1) Limpiar la superficie del acero de polvo y grasa.
- 2) Lavar con agua caliente o por chorreado los cordones de soldadura y escoria que se producen por el soldado.
- 3) Eliminación mediante métodos mecánicos o químicos de la calamina o costra de laminado.

El procedimiento mecánico más importante es la limpieza con chorro de abrasivo. Este método de limpieza se utilizó en una de las esculturas que presento en ésta tesis con el nombre de "HIPERVISION". La limpieza se lleva a cabo mediante la proyección de partículas abrasivas dirigidas hacia el acero, las cuales son enviadas desde una máquina especial, a gran velocidad. Los principales procedimientos para realizar esta limpieza son:

- a) El abrasivo, impulsado por una corriente de aire comprimido y chorro de arena húmeda.
- b) El abrasivo, proyectado por centrifugación.

La limpieza superficial con chorro de arena se define como: eliminación completa de la superficie de grasa, suciedad, escamas de óxido y materia extraños, así como todos los óxidos, calamina y cualquier tipo de residuos.

El otro procedimiento, llamado descapado químico y que sirve para la eliminación de la calamina, se realiza en general, sumergiendo el acero en un baño de ácido concentrado a una temperatura adecuada. Hay varias formas para el descapado químico. Los más utilizados son: ácidos sulfúricos y clorhídricos. El ácido actúa sobre el acero desprendiendo la capa de óxido de la calamina. Este método se complementa lavando perfectamente con agua caliente el hierro o el acero para eliminar el ácido residual.

Estos métodos de preparación de superficie deja al acero vulnerable a la corrosión, por lo que las superficies descapadas deben ser protegidas inmediatamente con un recubrimiento, pintura u otra clase de protección.

Se ha comprobado que el valor de protección máximo de un sistema de pintado, se alcanza únicamente cuando la superficie del acero ha sido correctamente preparada. También el tiempo de duración de la pintura, se amplía por varios años, sólo cuando las superficies están totalmente exentas de calamina y óxido.

Los factores que influyen para elegir un sistema de pintado son:

- 1) El método de preparación de superficie, eliminación de la calamina.
- 2) El tipo de estructura que se va a proteger, ya sea usada o nueva.
- 3) Lugar de aplicación de la pintura.
- 4) Destreza de la mano de obra.
- 5) Ambiente donde estará expuesta la obra.
- 6) El costo y la calidad de los materiales.

### 3.1.2. PROCESO DE PINTADO.

Para conseguir los mejores resultados de pintado, es necesario: a) una temperatura seca (10-30°C); b) una atmósfera seca y sin contaminación (gases y humo); c) también es conveniente que el acero estructural nuevo reciba, por lo menos, la capa de imprimación inicial bajo techado en taller, y dejando solamente, la última capa de acabado para ser aplicada en obra.

El espesor de la película de pintura, para estructuras de acero, debe ser de un espesor de 1/6 de milímetro. Es conveniente aumentar el espesor de la película por encima de los límites sugeridos, en las zonas donde lo requiera el diseño o lugares donde la corrosión pueda ser severa (aristas, ángulos, cabezas de turcas, remaches, cordones de soldadura, y en general, en las partes inferiores de las superficies horizontales).

El procedimiento más económico para realizar un buen trabajo en una estructura o lámina de acero es: combinar la correcta preparación de la superficie con un buen sistema de pintado. Igualmente, los resultados de alta calidad se obtienen en estructuras nuevas de acero, cuando no hay calamina u óxido debajo de la pintura.

Las pinturas de imprimación aplicada al acero deben contener pigmentos con propiedades inhibitorias que eviten la corrosión. Los siguientes pigmentos tienen propiedades inhibitorias: cromato de Zinc, Plomo metálico, Minio de Plomo, Sulfato de Plomo. Para una imprimación anticorrosiva en hierro y en acero expuestas a la intemperie, se recomienda usar epóxico, poliuretano, o praimer. Las resinas epóxicas tienen gran resistencia a los agentes químicos y a la humedad. La pintura de poliuretano, cuando ha endurecido, tiene gran resistencia a la humedad. El praimer contiene minio. Las imprimaciones con base de minio aplicadas al acero son las más usadas por sus buenos resultados. Estos tienen propiedades de rápido secado o de tirotrópia (las pinturas tirotrópicas se fijan fácilmente y se pueden aplicar en películas gruesas sin descolgamientos). Lo adecuado es aplicar dos capas delgadas en la estructura antes de la pintura. En la obra que presento, "HIPERVISION", utilicé praimer, clasificado en el mercado como "universal". Se puede pintar una superficie con variados tipos de pintura de aceite, sin sufrir desprendimiento.

Para proteger una estructura de acero de la corrosión atmosférica, es necesario aplicar un sistema

de pintado como el siguiente: dos capas de imprimación de minio (praimer) y dos capas de pintura de óxido de hierro o laca acrílica (ambos en un vehículo de aceite de linaza). La duración aproximada de este procedimiento es de 15 años, tomando en cuenta que su aplicación se realizaría en una superficie bien preparada. Otros factores importantes son: la calidad de la pintura, su aplicación en tiempo seco y que el espesor de la película corresponda a 1/6 de milímetro. Esto es el equivalente de tres capas aplicadas con compresora. También hay que evitar que la estructura pintada esté en contacto permanente con agua o con sólidos húmedos. Hago notar que la obra que presento, "HIPERVISION" fue pintada con laca acrílica de color amarillo.

Por otro lado, el efecto de las diferentes composiciones del acero también influyen para su durabilidad. Se ha comprobado que los sistemas de pintado duran más sobre hierro forjado que sobre acero al carbono . Los aceros llamados de "baja aleación" contienen menor cantidad de elementos aleados que los aceros inoxidable. Los aceros que contienen pequeñas proporciones de cromo, cobre y níquel, tienen mayor resistencia a la corrosión de la intemperie que el acero al carbono no aleado. Por ejemplo, un acero que contiene 1 % de cromo y 0,5 % de cobre, adquiere una resistencia a la tensión 50% más elevada que un acero ordinario, e igualmente su corrosión es tres veces menos. El acero al carbono , llamado también acero ordinario necesita protección mediante la pintura para evitar la corrosión. Este no es el caso de los aceros inoxidable.

La siguiente fotografía muestra el recubrimiento por pintura acrílica (laca).



### 3.2. RECUBRIMIENTO METÁLICO (ELECTROLISIS).

Hay varios procedimientos para aplicar los recubrimientos metálicos.

Los recubrimientos metálicos pueden aplicarse por: electrólisis; por imprimación en el baño del metal protector; por metalización; por cementación y por chapeado. En esta investigación, sólo se hará referencia al recubrimiento por electrólisis.

Cualquiera que sea el procedimiento de protección que se use, debe desengrasarse previamente la pieza con un disolvente apropiado, (sosa caústica, tricloro etileno, benceno, etc.). Posteriormente hay que eliminar el hollín y cascarilla de la superficie del metal (descapado).

#### 3.2.1. CROMADO Y COBRIZADO.

El cromo es un metal que se emplea con aceros aleados (inoxidables) y también se usa como protector de la oxidación y la corrosión. El cromado y el cobrizado son recubrimientos de capas de cromo y de cobre que se aplican por electrodeposición, o sea, que se deposita el material por electrólisis. Este sistema consiste en la aplicación de una corriente eléctrica a un electrólito (sustancia que contiene iones que pueden emigrar por electricidad). Esta forma de cromado se usó en la obra "LA ESPIRA".

El recubrimiento electrolítico se lleva a cabo mediante la utilización del metal protector como ánodo (polo positivo), y las piezas que se deseen recubrir como cátodos (polo negativo), en nuestro caso, el acero. El níquel y el cromo son los metales más apropiados para efectuar el recubrimiento por electrólisis y también son los más indicados para proteger el acero.

El método más utilizado para cubrir piezas de acero con cromo o cobre es el siguiente: a una pieza de acero se le aplican tres o cuatro capas del metal protector. Primero, una de cobre, luego una de níquel y por último una de cromo. O bien, comenzar con una de níquel, otra de cromo y terminar con una de cobre. La última capa va de acuerdo al terminado que se quiera: cobre o cromo. No es recomendable que la última capa sea de níquel, porque se mancha y empaña con el aire húmedo. Además, el cromo es más duro que el níquel y el cobre tiene por objeto cubrir los poros del metal y aumentar su adherencia. Al respecto José María Lasheras (42) dice: "el níquel y el cromo son los metales más empleados en recubrimientos electrolíticos. Cuando se trata de piezas de acero se aplican frecuentemente tres, o cuatro capas: una de cobre, otra de níquel y otra de cromo, o bien, una de níquel, otra de cobre, otra de níquel y otra de cromo."

42) José María Lasheras y Esteban. Tecnología del Acero. Ed. Autor-Editor, p. 443.

La siguiente fotografía corresponde a la escultura "LA ESPIRA", donde se usó el recubrimiento metálico por electrólisis para el cromado.



### 3.3. PAVONADO (PROCESO QUIMICO).

El proceso de pavonado para proteger al hierro y al acero de la corrosión, también se sirve de acabado decorativo. La oxidación superficial o pavonado es un procedimiento no metálico. La oxidación no se continua como un proceso destructivo del material, sino que sólo actúa exteriormente. El pavonado, puede realizarse por: calentamiento, por electrólisis (oxidación anódica); y por ataque de un ácido (oxidación química). El proceso de pavonado (oxidación química) se usó en la obra "ENLACE" .

El método más adecuado para el acero es por calentamiento. El procedimiento comienza calentando la pieza de acero en un horno abierto o bien por medio de un baño de sales fundidas con base de una mezcla de nitrato sódico y potásico a una temperatura de 260°C a 400°C. La película que se forma de este proceso es una película de óxido férrico magnético. Si se emplean sales se produce el color azul. Acerca del uso del pavonado o ennegrecido, Sergio Gómez Herrera dice (43): "Fundamentalmente, el proceso de pavonado, consiste en la oxidación-reducción del fierro en medio alcalino en presencia de sosa caústica, el potencial aparente es de -0.8 a -0.9 voltios en solución 10 N saturada de NaOH. El fierro es atacado rápidamente en caliente, y lentamente en frío desprendiendo hidrógeno y se forman los siguientes óxidos de los cuales el requerido es el siguiente:  $Fe_3O_4$  (más correctamente  $(FeO_2)_2 Fe$  negro)."

Otra opción para proteger el acero con óxido negro, la proporciona John L, Feirer (44): " El acabado con óxido negro es un proceso químico para ennegrecer, en el que se emplea un baño alcalino oxidante con base en sosa caústica; esta solución produce una superficie

43) Sergio Gómez Herrera. Diseño de una Planta de Pavonado para acabado de piezas industriales. Tesis..UNAM, p. 2.

44) John L. Feirer, ob.cit. p. 302.

óxida controlada en el acero. El metal herrumbroso que se disuelve en la superficie permanece en el revestimiento para formar un compuesto similar al sulfuro para colorear el cobre.

Los acabados con óxido negro se pueden utilizar en sustitución de otros baños. Las ventajas de este proceso incluyen:

- \* Capa negra, atractiva, brillante o mate, según sea el acabado de la superficie.
- \* Durabilidad y resistencia moderada a la corrosión cuando están a la intemperie.
- \* Facilidad de aplicación con equipo poco costoso.
- \* Proceso con un sólo baño.
- \* No hay cambios de dimensiones.
- \* Es un proceso rápido.
- \* Excelente adherencia de la pintura y laca.

Una solución típica para el óxido negro incluye de 12 a 15 litros de hidróxido de sodio por galón de agua (1.4 a 1.8 kg por litro). Las concentraciones del hidróxido de sodio en el agua varían conforme se evapora el agua durante el proceso. La concentración de nitrato de sodio de de 5 onzas por galón (7 g por litro).

Para hacer la solución, llene el tanque hasta la mitad con agua. Agregue las sales con lentitud y agítelas para que se disuelvan mejor. Para revestir la pieza efectue lo siguiente:

**PRECAUCION: CUANDO SE AGREGAN LAS SALES AL AGUA SE GENERA CALOR;  
POR ELLO, PONGA UNA CANTIDAD PEQUEÑA CADA VEZ.**

1.- Sumerja la pieza en un detergente alcalino caliente a 82°C durante 5 minutos.

2.- Enjuague la pieza con agua caliente o fría.

3.- Sumerja la pieza de trabajo en el baño de solución que debe estar entre 140 y 143°C, hasta el color negro sea profundo y uniforme.

4.- Enjuague la pieza con agua fría, corriente.

5.- Sumerja la pieza en aceite ocre para protegerla."

Este tipo de protección, por pavonado, se usa mucho para proteger armas (pistolas, rifles, etc.).

Hago notar, para poner en práctica lo anterior es necesario acudir a los autores aquí citados con la finalidad de complementar y conocer todo el proceso de pavonado.

Estos procedimientos tienen como característica utilizar un medio alcalino y sosa cáustica en el proceso químico. Se denomina medio alcalino (alcali, sustancia parecida a la sosa) a la fundición de sales. Los ácidos tienen la propiedad de formar sales al aplicarse a ciertos metales como el hierro y el acero. Respecto al sodio, es un metal y se le conoce como cloruro de sodio o sal común. El llamado hidróxido de sodio o sosa cáustica, es una base muy corrosiva y quemante.

La siguiente fotografía muestra a la escultura "ENLACE", tiene un acabado de pavonado. Se aplicó el procedimiento de oxidación química.



## CAPITULO IV.

### OBRAS DE ACERO DE LA AUTORA.

#### 4.1. REFERENCIAS.

Las obras tridimensionales que presento como resultado de la investigación, son trabajos elaborados, una, con lámina de acero de aleación (inoxidable); las otras tres, con lámina y placa de acero al carbono dulce. La ubicación que doy a estos trabajos van de acuerdo a la clasificación que la Historia del Arte da a las obras (por estilos) artísticas tridimensionales. También están influenciadas, básicamente por el movimiento constructivista (1918-1932). Igualmente, las clasifico como obras cinéticas. Por consiguiente, estos trabajos pretenden expresar la belleza de forma más que la manifestación de contenido. No obstante que algunos autores los separan, en mi opinión, están íntimamente ligados, es decir, no existe forma sin contenido ni contenido sin forma.

Toda obra humana refleja algunas condiciones de vida del momento en que fueron elaboradas. Las artes visuales no escapan a la influencia que el medio natural, económico, político y social ejerce sobre el artista. Por ello, el contexto histórico en que surgen éstas obras que complementan esta investigación coinciden con la reflexión expuesta en mi tesis de licenciatura (45) que dice: "... es en un periodo en que los cambios en la economía, en la organización del Estado, en las concepciones ideológicas, en las tradiciones culturales y

45) Emilia M. Peña Ávila. Libro-Objeto: Pasaje del Códice Tira de la Peregrinación. Tesis Licenciatura, ENAP, UNAM, p. 95.

científicas, surgen a una velocidad vertiginosa. Todo parece indicar que el hombre del fin de siglo se despoja de su tiempo para abrir paso al siglo XXI, que optimístamente pensamos traerá nuevas esperanzas y alternativas de mejorar las condiciones de vida del ser humano. Este contexto histórico desecha las formas de dominación que han prevalecido en el presente siglo: la lucha por la democracia y la libertad cobran nuevos ímpetus; ya nadie tolera, conscientemente, la prepotencia, la intolerancia y el autoritarismo. También, el ser humano de nuestro tiempo reclama oportunidades de desarrollo económico que le permita vivir en mejores condiciones de vida. Ya nadie quiere ser explotado por su trabajo y se desea estar abierto a nuevos avances de la ciencia y de la técnica, así como al disfrute de las manifestaciones culturales".

En lo referente al arte cinético, la palabra "cinético" proviene del griego Kinematicos, significando que tiene el movimiento como principio. El adjetivo cinético aplicado al arte, data de 1920, cuando los hermanos Pevsner (Antoine y Naum Gabo) publican su "Manifiesto Realista", en el que aparece la frase "ritmos cinéticos". Naum Gabo realizó la primera escultura cinética: una lámina de acero que generaba vibraciones por medio de un motor eléctrico y creaba un volumen virtual. En el año de 1955, quedó incorporado al léxico artístico el concepto "Arte Cinético". Igualmente, adquiere esta denominación desde el punto de vista terminológico como movimiento artístico. La obra cinética se caracteriza porque delimita el tiempo y el espacio al unirlos. Tiempo y Espacio objetivados. El aporte técnico en el arte cinético proporciona una nueva forma de percepción y transforma el entorno.

Artistas importantes que introdujeron nuevas técnicas y cinetismo en las artes plásticas son: Schöfer, con "La Escultura cysp" (contracción de cybernétique y de spatiodynamique), es la primera obra con cerebro electrónico que controla sus movimientos (1955); Vasarely, al igual que Schöfer, utiliza la técnica luminocinética en su obra, como en la serie de fotografismo; Soto, Tomasello y Mondrian, trabajan la abstracción geométrica (cuadrados y círculos) y el

movimiento como en "Continuo Luminoso"; Soto, se pronunció por integrar el movimiento en sus estructuras dinámicas como en "Modulación en Azul", (1965); en cambio Kosice, utiliza principalmente el agua para expresarse, aludiendo al arte hidrocínético. Alexander Calder trabajó "móviles" (1960) como en "5 ramas con 100 hojas". En ellas el viento provoca su movimiento.

#### 4.2. "HIPERVISIÓN": OBRA ELABORADA EN ACERO AL CARBONO DULCE.

El tipo de acero, lámina negra, utilizado para la elaboración de esta obra, contiene de 0.1 a 0.3 % de carbono (acero al carbono dulce o blando). Las características de esta clase de acero pueden verse en los puntos 2.5 y 2.7. Considero que el acero es un material que me permite expresar la manera de cómo veo y experimento la vida con mis experiencias, procesos y consecuencias que de algún modo modifican y enriquecen la realidad que siempre es objetiva. El acero, repito, es un material adecuado para plasmar las ideas concebidas y llevarlas a la realidad de muy diversas formas. Por su plasticidad y durabilidad, permite realizar un trabajo plástico con múltiples posibilidades de expresión. El acero como medio de expresión no excluye la utilización de otros materiales que tratan de comunicar afinidades y contradicciones, síntesis y generalizaciones y maneras de hacer patentes la belleza. Para la realización de "HIPERVISIÓN" se empleó lámina de acero al carbono y el proceso de pintado (ver apéndice).

##### 4.2.1. ELEMENTOS Y CARACTERÍSTICAS DEL DISEÑO.

Las características principales en el diseño de "HIPERVISIÓN", se basa en 4 círculos completos y 8 semicírculos. Puede decirse que es una "unidad orgánica". La palabra "orgánica" sirve para marcar la idea de una relación necesaria y funcional entre las partes y el todo, se opone a la subordinación del hombre a la máquina. La idea de "HIPERVISIÓN", surgió de elementos

circulares. Esta estructura de círculos y semicírculos se repiten. Cada módulo rota sobre un eje vertical, unido por un punto de su circunferencia en el que los planos forman figuras con líneas curvas, que van hacia adentro y hacia afuera, generando espacios vacíos de formas orgánicas, ocasionándose una degradación de tamaño. En la parte central del eje se unen los vértices hacia adentro por medio de dobleces de los planos, los cuales generan nuevas caras y líneas curvas.

Escogí el color amarillo porque mi propósito es dar a la obra una sugerencia de armonía, un toque de optimismo y una sensación de encuentro entre lo pensado y lo logrado. El color amarillo parece expresar movimiento a partir del centro y parece aproximarse al espectador. También, según la teoría del color, el espectro solar alcanza su máxima expresión de la claridad con el amarillo y lo clasifica como cálido. La expresión del color amarillo genera una actitud activa, animada y esforzada.

#### 4.2.2. ELABORACIÓN DE LA MAQUETA.

Para elaborar la maqueta de "HIPERVISIÓN" primero, se hizo el dibujo en dos cartones de 36 x 24 cm. cada uno. Posteriormente, tracé los dibujos (no se tomaron en cuenta las proporciones) directamente en una lámina de acero dulce (lámina negra) calibre 10, con diámetro de 91 x 240 cm. Previamente, se limpió la superficie de la lámina para eliminar la cáscara o calamina. Para ello, se empleó la técnica llamada chorro de abrasivo o arena. Este procedimiento puede verse en la sección 4.2.5..

#### 4.2.3. ESTRUCTURACIÓN DE LA OBRA.

La obra hecha en acero al carbono, "HIPERVISIÓN", se trabajó totalmente en los talleres de la ENAP. No se utilizó ninguna maquinaria en especial para su realización. Requirió de un

recubrimiento de laca acrílica para evitar la corrosión. El procedimiento que utilicé esta descrito en el capítulo III de esta tesis . También se le adicionó luz de gas neón. La mayor parte de la obra está pintada con un color primario (amarillo), complementándose con el azul y rojo de los tubos de gas neón, que al reflejarse en la figura proyectan colores secundarios. Es un trabajo en el que la luz artificial constituye una de sus características.

#### 4.2.4. MATERIALES.

Materiales y herramientas más importantes usados en la elaboración de "HIPERVISIÓN":

- Dos láminas de acero al carbono (lámina negra) medidas de 91 x 2.20 cm., calibre 10.
- Electrodos de 1/8 para soldar acero al carbono.
- Disco de desbaste para metal.
- Disco de lija de 78 , de grano 36.
- Primer Universal. y plaste.
- Lijas de agua de varias calidades.
- Pintura de color amarillo.(laca).
- Sellador. y thinner.
- Instalación de luz neón.
- Transformador de voltaje.
- Cable para corriente de luz neón..

Herramientas usadas en la obra "HIPERVISIÓN":

- Compás de precisión
- Cortadora de lámina de metal (guillotina).
- Esmeriladora
- Equipo para soldadura eléctrica
- Segueta y compresora de aire.

#### 4.2.5. LIMPIEZA CON CHORRO DE ABRASIVO.

Las láminas de acero al carbono son roladas en caliente. Tienen cáscara o costra (calamina). Requieren de la limpieza de la superficie para eliminar la calamina. El sistema empleado en "HIPERVISIÓN" es el llamado limpieza con abrasivo. Es un abrasivo natural, arena de cuarzo. La costra de laminación varía de espesor, estructura y composición, y también varía de un material a otro. La costra de laminación tiene una estructura laminar compuesta de tres capas de óxido ferroso. El contenido de oxígeno dentro de los distintos óxidos aumenta de adentro hacia afuera. El proceso de limpieza que utilicé está descrito en el capítulo III , sección 3.1.1..

La compañía Dupont (46), en su manual de productos dice: "Este tipo de limpieza, utiliza algún tipo de abrasivo a presión para limpiar la superficie, a través de este método, se elimina toda la escama de laminación, óxido, pintura y cualquier material incrustante. Una superficie tratada con este método, presenta un uniforme color gris claro, ligeramente rugoso, que proporciona un excelente anclaje a los recubrimientos. La pintura primaria debe ser aplicada antes de que el medio ambiente ataque la superficie preparada".

#### 4.2.6. PROCESO DE FORMADO.

Al sistema de trabajo de banco que se aplica al metal artístico en la industria, se le llama trabajo en frío o de formado (el metal se endurece por trabajo). Incluye los procesos que cambian la configuración de un metal, cuando la lámina está a una temperatura menor a la de reblandecimiento, o a la temperatura ambiente.

46) Dupont, S.A. Preparación de Superficies Metálicas. Manual de Productos. Recubrimientos de Alta Ingeniería. México, D.F., p. 22.

Los cuatro procesos para trabajo en frío en lámina metálica son: corte, doblado, troquelado o formado con prensa y rechazado. Algunas características del trabajo en frío es que los cortes resultan más exactos, tienen un mejor acabado y son menos costosos que hacerlos en caliente, como la fundición y el forjado. Los procedimientos utilizados en "HIPERVISIÓN" son el corte y el doblado.

#### 4.2.6.1. CORTE.

El cortado de metal es el proceso que generalmente se usa para obtener piezas o figuras de forma específica.

Algunos métodos para cortar metal son: el cizallado eléctrico y con disco. El término cizallado se aplica, en general, a los cortes hechos con cuchillas rectas, o bien, a los cortes en los que se utilizan cuchillas rotatorias para hacer figuras. Otros, son el aserrado y el corte con flama. En "HIPERVISION", los cortes se realizaron por el método de aserrado, con una sierra de arco (manual).

#### 4.2.6.2. DOBLADO.

La lámina de metal se puede doblar mejor y con más rapidez en la dobladora de precisión y de cortina, pero también se pueden realizarse de otras formas. Los dobleces de "HIPERVISION" se hicieron a mano, sin ninguna herramienta especial.

#### 4.2.7. SOLDADURA.

El proceso de soldadura que se empleó para soldar "HIPERVISION" es la llamada soldadura por

arco, en el que se emplearon electrodos de 1/8 para acero al carbón. El procedimiento de soldadura por arco consiste en soldar mediante el calor que se produce al establecerse un arco eléctrico entre el metal y el electrodo.

#### 4.2.8. ESMERILADO.

El esmerilado de metales es una forma de abrasión. La acción de cortar o rebajar a un metal más blando, por fricción, se le llama abrasión (disco de desbaste). En la obra "HIPERVISIÓN" se utilizó esmeril que es un abrasivo natural (60% de óxido de aluminio). Se traba con esmeril de diferentes grosores en las partes que no fueron cubiertas con pintura de laca. Otras de las esculturas esmeriladas son "LA ESPIRA " y "ENLACE".

#### 4.2.9. ACABADO.

Para el acabado de "HIPERVISIÓN" se sometió a un tratamiento de protección contra la corrosión. Se usó pintura laca acrílica de color amarillo canario y sellador en las partes no pintadas. Se aplicó el proceso de pintado de acuerdo al procedimiento tratado en el capítulo III de esta tesis. Se tomó en cuenta lo siguiente:

- Preparación de la superficie (limpieza por abrasivos).
- Técnica de aplicación de la pintura (con pistola de aire).
- Espesor de la película de pintura (se aplicó la cantidad adecuada de acuerdo a las características de la superficie).
- Calidad en el material.

Para aplicar la pintura se usó un equipo de aspersion (compresora de aire y pistola). El acabado es liso.

#### 4.2.10. INSTALACIÓN ELÉCTRICA.

Los tubos de gas neón que lleva la obra "HIPERVISIÓN" requieren de corriente eléctrica de cierto voltaje, por lo que se necesita un transformador (127 volts) para elevar el voltaje. Las piezas de unión tienen que instalarse con un buen aislamiento. El cable que se utiliza en la salida del transformador está elaborado para soportar un elevado voltaje..

#### 4.3. "ALBORES DEL SIGLO XXI": OBRA ELABORADA EN ACERO DE ALEACIÓN INOXIDABLE.

##### CONTEXTO EN EL QUE SURGE ESTE TRABAJO.

Trato de hacer una escultura que simbólicamente exprese las condiciones de existencia del ser humano al final de este siglo XX, y la pretensión de acercarse a posibles tendencias que se desarrollarán en el siglo que se avecina.

Este segundo milenio termina con grandes contrastes. El saldo del siglo XX, es halagüeño en algunas aspectos, pero en otros resulta decepcionante, por lo que puede afirmarse que el siglo XX ha sido un siglo revolucionario en materia de ciencia y tecnología. Sobresale el auge de los medios de comunicación, la T.V. vía satélite; la utilización de la energía solar; avances notables en medicina, especialmente en las enfermedades epidémicas.

En contraste, este siglo XX ha sido administrado por la competencia entre los seres humanos que con tesón buscan un espacio donde desarrollarse, y se termina con la despersonalización como individuo. Igualmente han aumentado desorbitadamente el número de descalzos y hambrientos en el mundo; en México, de 90 millones de mexicanos, 85 millones están incluidos entre pobres y marginados que carecen de alimentación, habitación y vestido; por otro lado la contaminación,

que pone en riesgo la existencia del planeta.

Lo dicho anteriormente son consideraciones muy generales y abstractas. De algún modo pretenden describir de manera muy vaga, el contexto histórico en el cual se dan las tendencias artísticas de finales del siglo XX. Seguramente, en el siglo XXI, nuevas tendencias artísticas cobrarán vigencia y tendrán mayor espacio de desarrollo.

En las siguientes secciones continuaré con la descripción general, de los pasos que seguí en la elaboración de la obra "ALBORES DEL SIGLO XXI".

#### 4.3.1. ELEMENTOS Y CARACTERÍSTICAS DEL DISEÑO.

Creo que la manera más aproximada para expresar el mundo en que vivimos es através de formas curvas y no rectas. En lo que se refiere a las características del acero empleado en esta obra, se trata de uno de tipo austenítico 18-8 (ver secciones 2.3 y 2.5). Se usó acero inoxidable calibre 18, y 24, de dos calidades: opaco y pulido espejo. Las medidas de la escultura son de 50 X 90 X 90 cm. . (ver apéndice).

Para el trabajo de "ALBORES DEL SIGLO XXI", primero, se trazó la idea en cartón. Posteriormente se hizo la plantilla en base al tamaño deseado para la escultura. Luego se trasladó ésta a la lámina de acero para el corte.

Para la elaboración de "ALBORES DEL SIGLO XXI", parto del círculo para generar superficies curvas y compongo con ellas figuras concéntricas. En este trabajo se pretenden unir dos tipos de movimiento: el real y el aparente. El movimiento real se lleva a cabo por medio de una bomba para agua. Al accionarse el sensor de la bomba, el agua cae sobre la figura superior. El movimiento aparente es ocasionado por el medio ambiente, los objetos, la luz y también por el espectador al ser reflejado en la escultura.

La obra consiste en formas que tienen características similares que se repiten alrededor de un centro común. Existe una gradación en los planos doblados con dirección opuesta, hacia adentro y hacia afuera. El punto focal está en el centro de los módulos, rodeado por líneas curvas irregulares. Una de las partes de la escultura se entrecruza con otra, formando una intersección en el plano por donde sale el chorro de agua, lo que permite que pueda realizarse el movimiento real. Otro de los módulos se desvía hacia la forma de un cono. En la obra se integra agua, luz, color y movimiento.

En conclusión, la escultura posee un continuo movimiento visual y otro mecánico, existiendo también oposición en sus superficies interiores.

#### 4.3.2. ELABORACIÓN DE LA MAQUETA.

En la obra de acero inoxidable "ALBORES DEL SIGLO XXI", primero se hizo un bosquejo de la primera idea. Luego se procedió a realizar el diseño en cartón.

#### 4.3.3. PLANTILLA.

Después de haberse elaborado la maqueta de "ALBORES DEL SIGLO XXI", se hizo la plantilla del diseño, teniendo como base un círculo de 90 cm. de diámetro para la obra original. Posteriormente se fue construyendo poco a poco, modificándose donde era necesario, para su completa estructuración.

#### 4.3.4. ESTRUCTURACIÓN DE LA OBRA.

"ALBORES DEL SIGLO XXI", esta hecha con lámina de acero inoxidable. La ubico dentro del arte abstracto. El modo como están distribuidas las partes y elementos para construir y relacionar la obra en su totalidad, radica básicamente en la repetición de formas curvas; construye una misma función de movimiento: real ocasionada por el agua y virtual por la luz. En su elaboración (en la base) se utilizó lámina de acero de aleación (inoxidable), de acabado opaco, calibre 18, (tipo AISI 304). Se complementa su estructuración con lámina inoxidable de acabado espejo, calibre 20 y 24. Calidad 430.

Para el corte y formado de la lámina, se requirió de maquinaria especializada: corte eléctrico, en máquina cizalladora ; dobladora y roladora de una planta industrial maquiladora.

El acero inoxidable (AS 18) que se utilizó es el más adecuado para estar en contacto con el agua. El manual de "ACEROS FORTUNA" (47) dice: "AS 18 es un acero de estructura austenítica. Debido al bajo contenido en carbono de menos de 0.07 % se evita la corrosión intergranular, sin ser tratado térmicamente después de efectuarse la soldadura. Es susceptible de pulido espejo. Con la misma estabilidad química que el A 18, ofrece, sin embargo, por su bajo contenido en carbono, mejor maquinabilidad."

#### 4.3.5. MATERIALES.

Dos láminas de acero inoxidable acabado espejo, una, calibre 24, medidas 91 X 2.20 m.; la otra de calibre 20, medida 91 X 95cm.

47) Acero Fortuna, S.A. Aceros Inoxidables, op. cit. Sucursal Centro, México, D.F. p. 120.

Una lámina de acero inoxidable acabado opaco, calibre 18. medida 91X2.20 m.

- Electrodo para soldar acero de aleación.
- Bomba para agua.
- Cable para corriente eléctrica.
- Un sensor de movimiento.
- Lámina de plástico (mirroflex) de 1.20 x 200 cm.

#### 4.3.6. CORTE.

El corte se realizó con una máquina de cizallar eléctrica para lámina..

#### 4.3.7. DOBLADO.

Los dobleces se hicieron de 90°. Se usó una dobladora de placa.

#### 4.3.8. ROLADO.

Hay tres tipos de maquinaria para efectuar el rolado: roladoras eléctricas, manuales y de rodillos, las cuales se gradúan según el espesor de la lámina y la curvatura deseada.

La obra "ALBORES DEL SIGLO XXI" requirió de dos tipos de rolado: a una pieza se le dio forma cóncava y a otra, convexa. Para ello se utilizó una roladora eléctrica.

#### 4.3.9. SOLDADURA.

Se utilizó soldadora de arco eléctrico y electrodos para acero inoxidable de 3/32.

#### 4.3.10. ESMERILADO.

Se esmeriló en las partes donde se usó soldadura, para emparejar las partes soldadas.

#### 4.3.11. ACABADO.

El acabado para el tipo de metal de "ALBORES DEL SIGLO XXI" es el mismo que le dio la fábrica de laminación. El acero inoxidable no requiere de protección contra la oxidación. Para su limpieza se usó agua, jabón y una franela para secar el metal.

#### 4.3.12. INSTALACIÓN ELÉCTRICA Y MOTOBOMBA.

La instalación electrónica tiene un detector infrarrojo de movimiento, que acciona automáticamente a la bomba , y a la luz eléctrica. Para que se active el sensor basta que el espectador se acerque a la escultura. Esto permite que al estar cerca el espectador se pongan en movimiento algunos elementos de la escultura. Igualmente, al alejarse dejarán de funcionar las partes que fueron activadas.

#### 4.4. "LA ESPIRA": OBRA HECHA EN PLACA DE ACERO AL CARBONO DULCE.

En el área artística, en el campo de la escultura, corresponde a la corriente Constructivista el haber fundamentado el fenómeno del movimiento real por medio del arte abstracto-geométrico y la incorporación de los medios técnicos en su elaboración.

El movimiento siempre se representó, convencionalmente, a través del manejo plástico de la luz, agregando un número mayor de partes en la figura, o bien, se representó por formas onduladas; multiplicación de líneas (en la superficie del agua, en los pliegues de la ropa o del cabello); por desplazamiento, posición inestable o de caída del cuerpo humano, a lo cuál se le dio el nombre de . contraposto (griegos y manieristas); por expresión de potencia o tensión ("Moisés" , de Miguel Ángel ) ; por postura natural ("Los burgueses de Calois", de Augusto Rodin). Es hasta el siglo XX cuando se le da solución al problema. En el área escultórica, a las dimensiones de largo, ancho y profundidad se agregó el tiempo, o sea, el tiempo que tarda un objeto en trasladarse de un lugar a otro en un movimiento real.

Es de hacer notar, que en el lenguaje del arte, el concepto, espacio-tiempo ha sido tema de estudio, a lo largo de la historia, por escultores y pintores.

La obra "LA ESPIRA" alude a al signo del movimiento, llamado Ollin, que aparece en el Tonalamatl, Libro de las Ciencias de la civilización mesoamericana. Esta idea de Ollín, movimiento rodante, corresponde a la misma idea, a la que en la actualidad, se le ha dado el nombre de espacio-tiempo. En ella se interceptan dos círculos que simbolizan los ojos del sol. El color amarillo representa su luz. También, al unirse los círculos se forman cuatro partes como símbolos de las cuatro estaciones del año o los cuatro puntos cardinales. Su estructura es asimétrica. Al respecto, Paul Westheim (48) opina acerca del Arte Prehispánico: ... "su simetría es asimétrica, característica de las formas plásticas del Arte Mesoamericano en que se refleja el dualismo que rige la concepción del mundo".

(48) Paul Westheim, Ideas Fundamentales del Arte Prehispánico en México. Ed. Era. p. 155.

#### 4.4.1. ELABORACIÓN GENERAL DE LA OBRA.

Esta obra se hizo con placa de acero al carbono dulce calibre 1/8. El material tiene las mismas características que se explican en el capítulo II, secciones 2.3 y siguientes. También, en lo referente al acabado se siguieron las mismas reglas del proceso de recubrimiento metálico (electrólisis), que se explican en el capítulo III, sección 3.2. Se aplicó la técnica del cromado y se siguió el siguiente procedimiento:

- 1°. Se esmeriló la placa para limpiarla y quitarle la calamina.
- 2°. Se pulió.
- 3°. Se desengrasó con sosa.
- 4°. Se introdujo, primero al baño de cobre, luego al de níquel, y por último al de cromo (secciones 3.2.1. y 4.2.8.).

Por lo general, la estructuración de la obra se basó en el punto 4.2.6. (proceso de formado). Pero quiero agregar, con respecto al tipo de corte utilizado, lo siguiente. Se le llama corte con oxígeno, al corte que se efectúa en un metal por medio de la flama de un gas y un soplete eléctrico. En los cortes que se hicieron en "LA ESPIRA", se aplicó este método. Se usó plasma (gas inerte) y pantógrafo. La placa de acero al cortarse por el sistema de plasma no sufre calentamiento, porque al mismo tiempo que el soplete va cortando la figura, el sistema de aire va enfriando. Por otro lado, la máquina o pantógrafo manda copiar el dibujo, hecho sobre cartulina o cartón primavera y delineado con tinta china, a la máquina eléctrica que corta con plasma.

El material de "LA ESPIRA" es una placa de acero al carbono cromada. La escultura mide 104 x 105 x 103 cm. (ver fotografías en el apéndice).

#### 4.5. "ENLACE": OBRA ELABORADA EN PLACA DE ACERO AL CARBONO DULCE.

"ENLACE", alude a la unión de todos los países de la Tierra, por medio de las vías de comunicación.

##### 4.5.1. ELABORACIÓN GENERAL.

"ENLACE" se elaboró con placa calibre 3/16 de acero al carbono dulce. Reúne básicamente todo el procedimiento descrito en la sección 4.2.6, con excepción del corte y el acabado. El corte se efectuó con el llamado corte con oxígeno, descrito en la sección 4.4.1. . Respecto al acabado en negro, se usó el proceso de pavonado (oxidación química), el cual también sirve para protegerla de la corrosión (sección 3.3.). La escultura mide 67 x 75 x 30 cm.

## CONCLUSIONES ..

Después de estudiar y reflexionar sobre el desarrollo del arte en general, la utilización del acero en creación de obras artísticas tridimensionales, la influencia que han ejercido en el arte escultórico artistas de la corriente Constructivista, así como el pensamiento de grandes artistas del arte escultórico, he llegado a algunas conclusiones, que se han enriquecido con las características, propiedades físicas y mecánicas del acero utilizado como material de expresión. También aprendí a distinguir los diferentes métodos de protección para el acero al carbono y de mis experiencias llevadas a la práctica en el proceso de elaboración de las obras que complementan ésta investigación.

De manera breve, expongo las conclusiones obtenidas:

1. El arte está sometido a un cambio permanente, tanto en sus concepciones estéticas, métodos y técnicas para la elaboración de las obras artísticas. Igualmente el cambio se expresa en los materiales utilizados en el quehacer artístico.
2. Pienso igual que los autores que afirman que el arte es un producto social, porque va aunado al trabajo, sensibilidad y aportación que el artista plasma en su creación artística; igualmente, el arte no es ajeno al contexto económico, político y ético del ámbito en el que se desarrolla. El arte tiene que ver y debe mucho al trabajo y al esfuerzo de muchísimos seres humanos, anónimos unos, conocidos otros, de diversas épocas, que calladamente han contribuido a la producción de los materiales que se utilizan en las obras artísticas.
3. El acero como una posibilidad expresiva en el arte, no escapa al proceso de renovación y búsqueda constante de formas, técnicas, procedimientos e ideas estéticas, del contexto histórico en que se desarrolla. Esto es, el acero como material de producción estética tiene una historia

propia, con las variantes y modalidades que surgen con motivo de los cambios de la sociedad.

4. El acero, utilizado en el área de la escultura es un producto que por su composición química y física permite la obtención de obras artísticas tridimensionales que no pueden lograrse con otros materiales y que constituyen una forma única y apropiada para expresar ideas artísticas.

5. El acero no es un material idóneo para retratar imágenes y expresiones concretas del universo, de las sociedades y de los seres humanos. Sin embargo, el acero resulta un material muy útil para crear nuevos estilos en las diversas corrientes estéticas relacionadas con la obra tridimensional.

6. Para trabajar el acero se requiere de equipo, herramienta y materiales específicos, tales como: herramientas de corte (guillotina, cizalladora); de maquinado (torno, esmeriladora, sierra, fresadora); taladros, etc. También se usan instrumentos de medición y calibración (regla, calibrador vernier); equipo para soldar (soldadura de arco y autógena); además, se necesitan instalaciones apropiadas para facilitar el procesamiento de ese material.

7. De la elaboración de las obras que complementan este trabajo de tesis he llegado a deducir que el acero dulce es maleable y ofrece un amplio campo de posibilidades para la imaginación y concreción de objetos artísticos.

8. Algunos de los cambios que ha experimentado la escultura en este siglo son la sustitución del volumen y la masa por vacíos y huecos, e igualmente, se han desplazado los cánones de belleza clásica como los únicos valores estéticos válidos en el campo del arte.

La escultura elaborada con acero dulce se va construyendo poco a poco. El acero se manipula hacia adentro y hacia afuera, generando formas cóncavas o convexas, a diferencia de la escultura tradicional, que requiere de un bloque de piedra que se esculpe, o bien, se usa la

técnica del modelado. Es por ello que el material de acero dulce, por sus cualidades físicas de resistencia y bajo precio, fue el indicado para generar la idea de construcción, proveniente de la corriente constructivista o corriente de las estructuras. De esta se deriva el Neoconstructivismo, que consiste en la creación de formas geométricas, de la que surgieron las estructuras primarias o "minimal art", que expresan formas puras como triángulos y cuadrados. Igualmente, del Constructivismo deriva el arte cinético, que tiene al movimiento como principio.

Artistas como los hermanos Pevsner, Antoine y Naum Gabo y Germán Cueto, utilizaron el acero dulce para expresarse. Gabo realizó la primera escultura cinética (1920), materializando el tiempo y el espacio como movimiento real y espacio ocupado. La técnica del arte cinético proporciona una nueva forma para percibir y transformar el entorno.

El material de acero dulce al carbono (lámina negra y placa), e igualmente el acero de aleación inoxidable con que se elaboraron las esculturas, pretenden unificar forma y contenido. Las ubico como obras abstractas en las que predomina el círculo como elemento principal.

9. De manera conceptual, puede afirmarse que el desarrollo del acero utilizado en las obras artísticas tiene vida autónoma que se expresa con las características del lugar recogidas por este metal en el proceso de creación artística. Pero a la vez, la obra artística recoge algunas características de ese espacio vital.

Lo anterior me lleva a deducir que, al igual que las demás formas artísticas, se establece una relación dialéctica entre el ámbito de existencia material y lo pensado de la obra artística, entre las cuales la mediación del artista teje una red de relaciones que dan personalidad propia a las obras y a los lugares donde se producen dichas obras. Esta dialéctica es la misma que nos permite acercarnos al conocimiento y al nacimiento, desarrollo, función, y finalidad del arte. Es decir, gracias a la dialéctica podemos conocer los momentos en la historia de un arte

determinado, realizado en algún lugar del mundo.

10. Considero que las esculturas terminadas han adquirido, además de su contenido conceptual, cualidades y características que antes de ser elaboradas no se consideraban, como es el caso del color.

Las esculturas de acero al carbono con recubrimiento metálico de cromo, pavonado y de acero de aleación, de acabado espejo (inoxidable), reflejan los colores de los objetos y del medio ambiente que les rodea. Estos colores se hacen más evidentes en las fotografías. La cámara fotográfica define aún más los colores reflejados.

En el trabajo de acero dulce al carbono con protección de cromo, otra característica que se aprecia es que actúa como un lente: aparentemente aumenta el volumen y el tamaño de los objetos que refleja. En la parte opuesta disminuye sus dimensiones.

11. En cuanto al contenido y la forma, se trata de una discusión bizantina. Desde mi punto de vista, no existe forma sin contenido ni contenido sin forma. Consecuentemente, contenido y forma son eslabones de una misma cadena; es imprescindible la existencia de uno para que pueda existir el otro, y a la inversa.

12. Después de haber elaborado este trabajo y las obras que la complementan, he concluido que el arte en general y las obras artísticas en acero en particular, son expresiones de un contexto histórico, reflejan una manera de concebir el universo, la sociedad y el individuo; entraña contradicciones que se resuelven en la búsqueda de nuevas formas estéticas y, en última instancia, el arte es una verdad relativa en la que el esfuerzo colectivo y la sensibilidad del autor trabajan para producir obras.

## APÉNDICE.

FOTOGRAFÍAS DE LAS OBRAS TERMINADAS.

FOTO 1. "HIPERVISION": OBRA ELABORADA EN ACERO AL CARBONO DULCE.

Se elaboró con lámina al carbono calibre 10. Se aplicó pintura laca acrílica de color amarillo y sellador en las partes no pintadas para protegerla de la corrosión y la oxidación. Sus medidas son de 90 X 106 X 60 cm.



FOTO 2 Aspectos de la obra "HIPERVISIÓN".



FOTO 3. Aspectos de la obra "HIPERVISIÓN".



FOTO 4. "ALBORES DEL SIGLO XXI": OBRA ELABORADA EN ACERO DE ALEACIÓN INOXIDABLE.

Respecto a las cualidades del acero utilizado en éste trabajo corresponden al tipo austenístico 18-8. Se usaron láminas calibre 18, 20 y 24. Una con acabado opaco y las otras dos en acabado espejo. Sus medidas son de 50 X 90 X 90 cm.



FOTO 5 Aspectos de la obra "ALBORES DEL SIGLO XXI".



FOTO 6. Aspectos de la obra "ALBORES DEL SIGLO XXI".



FOTO 7. "LA ESPIRA": OBRA HECHA CON PLACA DE ACERO AL CARBONO DULCE.

En ella se aplicó la técnica del cromado. Este recubrimiento evita su oxidación y la protege del medio ambiente. Sus medidas son de 104 X 105 X 103 m.



FOTO 8. Aspectos de la obra "LA ESPIRA".



FOTO 9. Aspectos de la obra "LA ESPIRA".



FOTO 10. "ENLACE": OBRA ELABORADA EN PLACA DE ACERO AL CARBONO

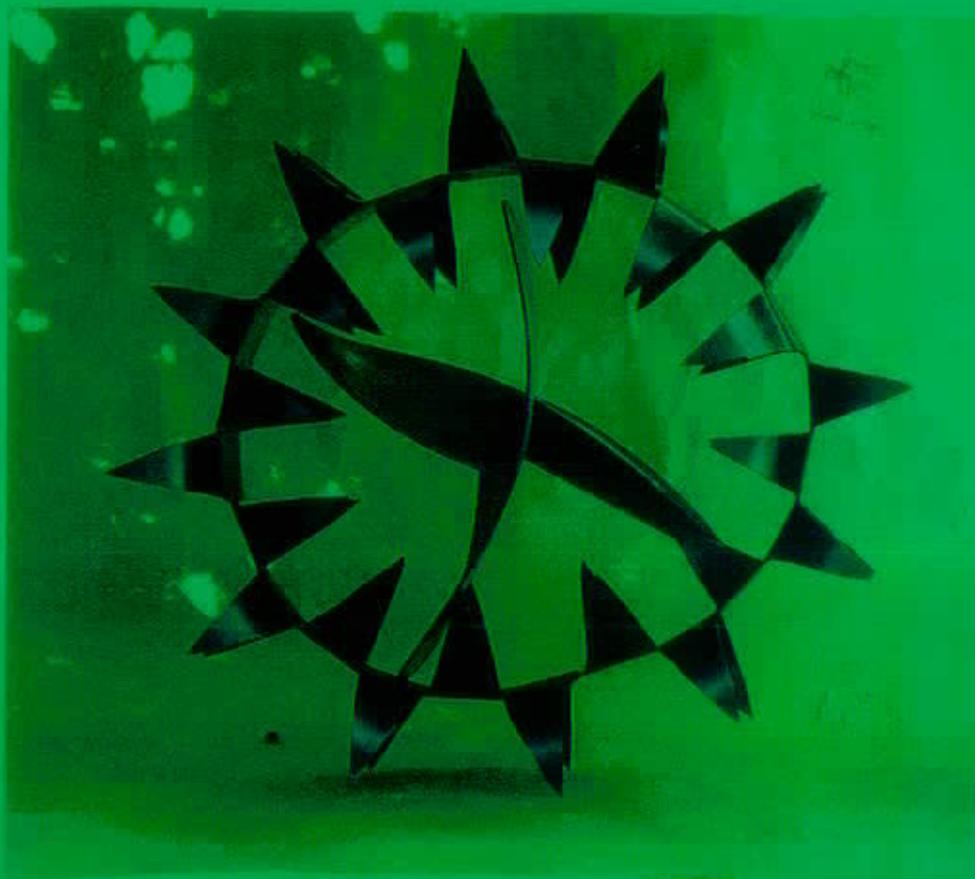
Se usó la técnica del pavonado para proteger el metal de la corrosión. Sus medidas son de 67 X 75 X 27 cm.



FOTO 11. Aspectos de la obra ENLACE".



FOTO 12. Aspectos de la obra "ENLACE".



## BIBLIOGRAFIA Y DOCUMENTOS CONSULTADOS.

APRAIZ, Barreiro, José.

**Fabricación de Hierro. Acero y Fundiciones.**

Ed. Urmo, tomo I. España, 1978.

ARNHEIM, Rudolf.

**Arte y Percepción Visual. Psicología del Ojo Creador.**

Ed. Alianza forma, 1985.

ARTEAGA, Domínguez Agustín.

**La Escuela Mexicana de Escultura. Maestros Fundadores**

Ed. Instituto Nacional de Bellas Artes, México, 1990.

ASHTON, T.S.

**La Revolución Industrial.**

Ed. Fondo de Cultura Económica, México, 1965.

BERTOLA, Elena de.

**El Arte Cinético.**

Ed. Nueva Visión, Buenos Aires.

BOZAL, Valeriano.

**Summa Artis. Historia General del Arte.**

vol. XXXVI, Ed. Esparsa, España, 1992.

CIRLOT, Juan Eduardo.

**La Escultura del Siglo XX.**

Ed. Blume, Barcelona, 1981.

CIRLOT, Juan Eduardo.

**Arte del Siglo XX.**

Tomo I, Ed. Labor, España, 1970.

CIRLOT, Lourdes.

**Historia Universal del Arte. Ultimas Tendencias.**

Ed. Plantea, Barcelona, 1993.

COLOMBER, R.

**Aceros Inoxidables. Aceros Refractarios.**

Ed. Urmo, España, 1968.

CORAZON, A.

**Constructivismo.**

Ed. Felmar, España, 1973.

DOFLES, Gillo.

**El Devenir de las Artes.**

Ed. Fondo de Cultura Económica, 1970.

FANCUTT, F.

**Protección por Pintura en Esculturas Metálicas.**

Ed. Blume, 1971.

FEIRER, L. John.

**Metalistería.**

Ed. Mc. Graw-Hill, México, 1990.

GARCIA, Pelayo Ramón.

**Pequeño Larousse en Color.**

Ed. Larousse, España, 1990.

GOMEZ, HERRERA Sergio.

**Diseño de una Planta de Pavonado para acabado de piezas industriales.**

Tesis, UNAM, México, D.F. 1963.

GARMO, E. Paul de.

**Materiales y Procesos de Fabricación.**

Ed. Reverté, España, 1975.

JOACHIM, Albrech Hans.

**Escultura en el siglo XX.**

Ed. Blume, España, 1981.

LASHERAS, y Esteban José María.

**Tecnología del Acero.**

Ed. Autor-Editor, Zaragoza, España, 1967.

MAILLARD, Robert.

**Dictionary of Modern Sculpture.**

Ed. Methuen, new York, 1960.

NOVO, Salvador.

**El Hombre, el acero y el Tiempo.**

Ed. HYLSA, México, 1968.

O'GORMAN, Edmundo.

**Cuarenta Siglos de la Plástica.**

Ed. Herrero, México, 1981.

OLEA, Oscar.

**Estructura del Arte Contemporáneo.**

Ed. UNAM, México, 1979.

PIRSON, Jean Francois.

**La Estructura y el Objeto.**

Ed. P.P.U., Barcelona, 1988.

SANCHEZ, Vázquez Adolfo.

**Las Ideas Estéticas de Marx.**

Ed. Era, México, 1981.

THERET, Michel.

**Diccionario Enciclopédico de la Metalurgia.**

Ed. Técnicos Asociados, España, 1969.

TORRES, Carbo Miguel de la.

**Geometría Descriptiva.**

Ed. UNAM, México, 1980.

VAZQUEZ, López Jerónimo.

**Diccionario Enciclopédico de la Siderurgia.**

Ed. Urmo, España, 1974.

WESTHEIM, Paul.

**Arte Antiguo de México.**

Ed. Alianza Forma, México, D.F. 1970.

WESTHEIM, Paul.

**Ideas Fundamentales del Arte Antiguo de México.**

Ed. Era, tr. Marina Frenk, México, 1991.

WONG, Wucius.

**Fundamentos del Diseño Bi y Tridimensional.**

Ed. Gustavo Gili, Barcelona, 1982.

## DOCUMENTOS CONSULTADOS.

ACEROS Fortuna, S.A.

"Aceros Inoxidables."

**Centro de Servicios. Distribuidores de Aceros Finos. Sucursal Centro, México, D.F. 1992.**

Centro de Investigaciones y Servicios Museológicos.

**El Espacio Escultórico.** Ed. UNAM, México, D.F. 1980.

COREV de México, S.A. de C.V.

**Recubrimientos texturizados, pinturas, esmaltes e impermeabilizantes.**

Insurgentes Sur n°. 813-601, C.P. 03810, México, D.F.

CORTES, Felipe.

"HYLSA Enfrenta al Futuro."

**Tecno-Industria.** Ed. CONACyT, núm. 10, junio-julio, 1993, p.52, México.

DUPONT, S.A. de C.V.

"Preparación de Superficies Metálicas".

**Manual de productos. Recubrimientos de alta Ingeniería.**

Homero 206, primer piso.

Col. Chapultepec Morales, México, D.F.

EDER, Rita.

"Arquitectura Emocional I."

**Revista de la Escuela Nacional de Artes Plásticas.**

vol. 3, núms. 13/14, 1991/1992, México.

RODRIGUEZ, Ana maría.

"Homenaje Universitario a Mathías Goeritz."

**Revista de la Escuela nacional de Artes Plásticas.**

vol. 3, núms. 13/14, 1991/1992, México.

SALAS, Guillermo- Noguez, María Eugenia.

"La Siderurgia Mexicana Tiene su Historia".

**Tecno-Industria.** Ed. CONACyT, junio-julio, núm. 10, 1993. p. 67, México.

SERVI metales, S.A.

**"Acero Inoxidable".**

Especialistas en Aceros Inoxidables y Metales.

Fray Servando Teresa de Mier 443-B, Col. Mercedes Balbuena 15810, México, D.F. 1992.

VELAZQUEZ, N. María Teresa.

"Riqueza Mexicana de Saltillo."

**Ciencia y Desarrollo.** Ed. CONACyT, vol. XV, núm. 89, 1989, México.