



Instituto Universitario de Tecnología del Oeste
%Mariscal Sucre+
Universidad de Holguín
%Oscar Lucero Moya+
Facultad de Ingeniería
Centro de Estudios CAD/CAM

SISTEMA AUTOMATIZADO PARA LA SELECCIÓN DE MATERIAL DE APOORTE EN LA SOLDADURA MANUAL POR ARCO ELÉCTRICO DEL ALUMINIO Y SUS ALEACIONES.

Tesis presentada en opción al Título Académico de Máster en Diseño y
Fabricación Asistidos por Computadora (CAD/CAM), para la Rama Metalmecánica

Rubén Darío Millán Millán.

Caracas. D.C., VENEZUELA

Mayo 2008



Instituto Universitario de Tecnología del Oeste
%Mariscal Sucre+
Universidad de Holguín
%Oscar Lucero Moya+
Facultad de Ingeniería
Centro de Estudios CAD/CAM



SISTEMA AUTOMATIZADO PARA LA SELECCIÓN DE MATERIAL DE APOORTE EN LA SOLDADURA MANUAL POR ARCO ELÉCTRICO DEL ALUMINIO Y SUS ALEACIONES.

Tesis presentada en opción al Título Académico de Máster en Diseño y
Fabricación Asistidos por Computadora (CAD/CAM), para la Rama Metalmecánica

Autor: Ing. Rubén Darío Millán Millán.

Tutor: Dr. C. Osmundo Héctor Rodríguez Pérez

Caracas. D.C., VENEZUELA

Mayo 2008



DEDICATORIA

A mis padres, Petra y Pedro del Carmen,
quienes han sido mi guía y mi norte.
A mi amada esposa Ana Luisa por
apoyarme y ayudarme por tanto tiempo.
A mi hijo Ángel Alejandro, para seguir
siendo su referencia.

AGRADECIMIENTOS

A Dios quien siempre está presente en mi vida.

A los Comandantes Hugo Chávez y Fidel Castro por auspiciar el Convenio
Educativo Cuba-Venezuela.

A todos los profesores:

- | | |
|----------------------------------|-------------------------------------|
| .- Dr C. Raúl Santana Milán | .- Dr C. Ricardo Ávila Rondón |
| .- Dr C. Alexis Cordovés García | .- Dr C. Noel Álvarez del Pino |
| .- Dr C. Marcelo Navarro Ojeda | .- Dr C. Roberto Estrada Cingüalbes |
| .- Dr C. Osmundo Rodríguez Pérez | .- Dr C. Daniel Hernández Ochoa |
| .- Dr C. Rolando Simeón Monet | .- Ms C. Rubisel García Alena |
| .- Ms C. Michel Lastre Aleaga | .- Ms C. Olben Falco Salcines |
| .- Ms C. Luis Thomas García | |

Por elevar la calidad en esta investigación.

A la Universidad de Holguín (Cuba) y al IUTOMS (Venezuela) por todo lo que
representan.

Gracias.

SÍNTESIS

El presente trabajo trata el problema de la automatización del proceso de selección de materiales de aporte en la soldadura manual por arco eléctrico. En la investigación se muestran los avances y limitantes principales asociados al tema en cuestión, lo que permite adentrarse en el mundo del proceso de la soldadura de los metales, así como en la terminología utilizada para designar un material base, sus características metalúrgicas, sus características mecánicas y los diferentes procesos de tratamientos térmicos y de preparación de las piezas a soldar específicamente para el aluminio. La selección del material de aporte en el proceso de soldadura manual por arco eléctrico del aluminio y sus aleaciones, es un proceso que se realiza de una forma metódica y lógica, en la investigación se analizó la metodología utilizada para la selección del material de aporte, además se explica la parte de la teoría del desarrollo de sistemas que se utilizó para representar la información que se maneja en el proceso y como transformar esta información en un diagrama lógico que puede ser automatizado al utilizar herramientas computacionales existentes.

Como resultado concreto se desarrolló un sistema de información basado en el manejo de base de datos, utilizando el sistema gestor (SGBD) Microsoft Access, el cual permite simplificar el diseño de la aplicación de una forma automatizada.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1. ESTADO DEL ARTE DEL TEMA	6
1.1. Introducción	6
1.2 Particularidades del aluminio y sus aleaciones	6
1.3. Procesos Tecnológicos aplicados al aluminio	8
1.3.1 Tratamiento Térmico.	8
1.3.2 Maquinado.....	8
1.3.3 Remachado.....	9
1.3.4 Soldadura.....	9
1.4. Aleaciones de Aluminio. Tipos	9
1.4.1. Designación de las aleaciones de aluminio laminadas.....	10
1.4.2. Características de las aleaciones de aluminio laminadas.	13
1.4.3. Características de las series de las aleaciones de aluminio.....	19
1.4.4. Características de las aleaciones de aluminio fundidas.	20
1.5. Soldadura. Conceptos y procesos.....	22
1.5.1. Conceptos de soldadura.....	22
1.5.2. Procesos de soldadura.....	23
1.6. Problemas de soldabilidad del aluminio y sus aleaciones	25
1.6.1. Problemas particulares en la soldadura del aluminio	26
1.7. Critica a los software existentes	27
1.8. La ingeniería en el desarrollo de los sistemas de información.	27
1.9 El ciclo de vida de un sistema de información de base de datos.	28
1.9.1 Ciclo de vida de un S.I. orientado a BD.....	29
1.9.2 Fases del Ciclo de Vida de un S.I. orientado a BD.....	29
1.9.3 Fundamento del diseño de una aplicación.	30
1.9.4 Diseño de bases de datos.	30

1.9.5 Diseño de la base de datos.....	35
1.10. Conclusiones parciales.....	36
CAPÍTULO 2. METODOLOGÍA PARA LA SELECCIÓN DE LOS MATERIALES DE APOORTE	37
2.1 Características Tecnológicas.	37
2.2. Recomendaciones tecnológicas para la soldadura del aluminio y sus aleaciones mediante el proceso de soldadura manual por arco eléctrico.	38
2.3. Metodología para la selección de materiales de aporte.	40
2.3.1. Tipo de metal base.....	40
2.3.2 Norma de clasificación. Equivalencias	41
2.3.3. Composición química del material base	42
2.4. Selección del material de aporte.	42
2.4.1. Materiales de aporte según normas EUA (AWS)	44
2.5. Conservación de los materiales de aporte.	46
2.6. Análisis de la información dentro del proceso de Selección del Material de Aporte.....	49
2.6.1. Análisis de la información	49
2.6.2. Consecuencia del Análisis de la Información	50
2.7 Descripción del modelo de datos del sistema	51
2.7.1 Transformación del modelo conceptual en un conjunto de esquemas de relaciones.	52
2.8. Lenguaje de Consulta (SQL)	52
2.9. Conclusiones.....	53
CAPÍTULO 3. IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA PARA LA SELECCIÓN DE MATERIALES DE APOORTE.	55
3.1 sistema para la selección de materiales de aporte en aleaciones de aluminio.	55
3.2 Análisis del Sistema.	56
3.2.1 Requerimientos Operacionales.	56
3.2.2 Requerimientos Funcionales.	57
3.3 Selección de materiales de aporte.	57



PDF
Complete

*Your complimentary
use period has ended.
Thank you for using
PDF Complete.*

Click Here to upgrade to
Unlimited Pages and Expanded Features

3.4 Interfaz gráfica del sistema.....	60
3.5 Conclusiones.....	63
CONCLUSIONES GENERALES.	65
RECOMENDACIONES	66
BIBLIOGRAFÍA	67

INTRODUCCION

Actualmente los sistemas de información basados en el manejo de las bases de datos han procurado cambios sustanciales en todos los procesos tecnológicos que el ser humano realiza. Es así, que el concepto de automatización surge con la aplicación de estos sistemas. En pocas palabras los procesos manuales realizados por el hombre son automatizados al utilizar herramientas computacionales, lográndose alcanzar un alto grado de solución a disímiles problemas complejos. La historia de la automatización está caracterizada por períodos de constantes innovaciones tecnológicas esto se debe a que las técnicas de automatización están muy ligadas a los sucesos económicos mundiales. El empleo de los sistemas de diseño y fabricación (CAD/CAM), se destacan entre los impulsores y a su vez son la última tendencia en automatización de los procesos de fabricación.

La fabricación o recuperación de piezas metálicas, donde interviene el proceso tecnológico de la soldadura manual no escapa de esta realidad. El avance en esta materia ha procurado automatizar las diferentes operaciones dentro de éste, que por su complejidad en el manejo de la información se hacen muy rigurosas. El tecnólogo antes de realizar el proceso de la soldadura debe manejar un sin número de criterios y consultar catálogos, manuales y normas para determinar el procedimiento más adecuado al momento de ejecutar la acción de la soldadura, tarea que requiere de elevada experiencia. Uno de los pasos en el proceso de la soldadura es el de la selección del material de aporte, que además de cumplir con la característica antes mencionada, es el paso de mayor importancia dentro del proceso, ya que, en el mismo se procura la toma de decisión que garantiza la calidad y la eficiencia requerida en éste.

La solución a esta problemática se realiza partiendo del estudio del proceso de la soldadura manual por arco eléctrico del aluminio y sus aleaciones, ya que este proceso dentro de la gama de los diferentes tipos de soldadura es uno de los más complejos y difícil de ejecutar por las características del material base a usar. Para seleccionar el material de aporte dentro de este proceso es necesario seguir una

secuencia de pasos de forma metódica y lógica que garantice la selección, a fin de maximizar la calidad en el proceso; es en esta parte que se ha de aplicar la solución, ya que la misma es determinante para garantizar la respuesta que se requiere al momento de ejecutar la acción de soldar.

En este trabajo se muestra una solución mediante el empleo de bases de datos, donde se parte de la recopilación y análisis de la información y de los procedimientos utilizados en la selección del material de aporte. Se realiza un diseño para estructurar la información en un diagrama lógico conceptual como elemento básico, y partiendo de éste, se implementa el sistema automatizado para la selección del material de aporte en la soldadura manual por arco eléctrico del aluminio y sus aleaciones.

Necesidad

En Venezuela los aluminios y sus aleaciones tienen una gran aplicación en diferentes industrias y ramas de la economía. Se importan estos materiales de diferentes países, que producen los mismos y los clasifican por diferentes normas. En el proceso de soldadura manual por arco eléctrico de estos materiales, la selección de los materiales de aporte no depende solamente de los componentes químicos del material base, sino de los problemas que presentan desde el punto de vista de su soldabilidad metalúrgica, es en esta temática donde se maneja gran cantidad de información y criterios que se deben conocer para realizar la soldadura. Por lo cual existe la necesidad real de elaborar un sistema computarizado que garantice una selección de material de aporte correcta.

Pertinencia.

Con este trabajo se persigue que trabajadores no expertos con conocimientos básicos de soldadura de metales de aleaciones de aluminio puedan llegar a soluciones similares a la de los expertos en cuanto a la selección de materiales de aporte y poder concentrar gran cantidad de información en una base de datos que permita manejar los diferentes catálogos y manuales existentes sobre materiales de aporte con sus respectivas equivalencias para diferentes firmas productoras.

Situación problemática.

Una de las características metalúrgicas principales de los metales de aleaciones de aluminio es que al contacto con la atmósfera se oxidan muy rápidamente, característica que conlleva a realizar la soldadura de estos metales con un proceso riguroso para garantizar la unión de los mismos; unido a esto, está la característica de que, para construir elementos mecánicos con estos tipos de metales se requieren conocer otras especificaciones metalúrgicas como la dureza, maleabilidad, punto de fusión y espesor, que complican aun más dicho proceso, ya que se deben manejar muy bien todas estas variables para realizar el proceso de soldadura. Otro punto que influye en el proceso de soldadura de metales de aleaciones de aluminio es que esencialmente se requiere de materiales de aporte de aleaciones especiales, los cuales son fabricados por diferentes empresas y firmas especializadas, al igual que las máquinas para soldar las cuales son diseñadas para atender características específicas en este proceso tecnológico. Manejar todas estas variables al momento de ejecutar el proceso de soldadura de metales de aleaciones de aluminio requiere de gran experiencia lo que implica para una fábrica contratar expertos que manejen este tipo de tecnología, especialmente en la selección de los materiales de aporte, ya que en esta parte del proceso tecnológico es que se pierde el mayor tiempo y se corre el riesgo de que el proceso no llegue a concretarse con los estándares de calidad exigidos por el mercado.

Problema de investigación

¿Cómo garantizar una correcta selección de los materiales de aporte, en la soldadura manual por arco eléctrico del aluminio y sus aleaciones, teniendo en cuenta la composición química del mismo?

Objeto de la investigación

La soldadura de aluminio y sus aleaciones.

Campo de acción

Materiales de aporte en la soldadura manual por arco eléctrico del aluminio y sus aleaciones.

Hipótesis.

Si se obtiene un sistema automatizado que garantice la correcta selección de los materiales de aporte en la soldadura manual por arco eléctrico del aluminio y sus aleaciones, se garantiza la calidad de la unión soldada de una manera eficiente.

Objetivo General.

Creación de un sistema automatizado que permita la selección de materiales de aporte para mejorar la calidad y eficiencia en el proceso tecnológico de la soldadura manual por arco eléctrico del aluminio y sus aleaciones.

Objetivos específicos.

1. Analizar las características metalúrgicas y problemas de soldabilidad del aluminio y sus aleaciones.
2. Diseñar un modelo de datos que permita estructurar y automatizar la selección del material de aporte en la soldadura manual por arco eléctrico del aluminio y sus aleaciones.
3. Diseño de la base de datos que contenga la información necesaria.
4. Implementar un sistema para la selección del material de aporte basado en el modelo de datos diseñado.

Tareas a realizar.

1. Realizar una búsqueda bibliográfica y consulta de expertos sobre la soldabilidad del aluminio y sus aleaciones así como revisar las normas internacionales existentes para la designación tanto de los materiales base así como los de aporte.
2. Revisar la metodología para la selección de los materiales de aporte en la soldadura manual con arco eléctrico del aluminio y sus aleaciones.

3. Diseñar una base de datos para almacenar toda la información necesaria acerca del aluminio y sus aleaciones, así como los materiales de aporte recomendados.
4. Elaborar un sistema automatizado que le de respuesta al problema planteado.

Novedad científica.

Crear un sistema computarizado para la selección automatizada de materiales de aporte en la soldadura manual por arco eléctrico del aluminio y sus aleaciones,

Métodos de investigación

Los métodos de investigación que se utilizan son teóricos y empíricos, dentro de los teóricos se utilizan el método de análisis. Además se emplea el método de la abstracción al analizar artículos de diferentes autores. Se utiliza también la inducción y la deducción al elaborar la teoría basada en toda la información consultada sobre el comportamiento de los aluminios.

Resultados esperados: Sistema computarizado que permita la selección automática del material de aporte en la soldadura manual por arco eléctrico del aluminio y sus aleaciones.

1. ESTADO DEL ARTE DEL TEMA

1.1. Introducción

En el capítulo se realiza un recuento de la información en las diferentes fuentes bibliográficas en el tema sobre las investigaciones referentes a la soldadura por arco eléctrico de los aluminios y sus aleaciones, especialmente en la selección de los materiales de aporte.

1.2 Particularidades del aluminio y sus aleaciones

Historia del Aluminio.

El aluminio se designa con el símbolo **Al**, es el elemento metálico más abundante en la corteza terrestre. Su número atómico es 13 y se encuentra en ese mismo grupo en la tabla periódica de Mendeleev. El químico danés Hans Christian Oersted aisló el aluminio por primera vez en 1825, por medio de un proceso químico que utilizaba una amalgama de potasio y cloruro de aluminio [10,11].

Entre 1827 y 1845, el químico alemán Friedrich Wöhler mejoró el proceso de Oersted utilizando potasio metálico y cloruro de aluminio. Wöhler fue el primero en medir la densidad del aluminio y demostrar su ligereza. En 1854, Henri Sainte-Claire Deville obtuvo el metal en Francia reduciendo cloruro de aluminio con sodio. Con el apoyo financiero de Napoleón III, Deville estableció una planta experimental a gran escala, y en la exposición de París de 1855 exhibió el aluminio puro [10].

El aluminio es uno de los metales más modernos si lo comparamos con la metalurgia nacida hace más de 5000 años, se considera como el METAL DEL SIGLO XXI, por su bajo peso específico, resistencia a la corrosión, su alta conductividad térmica y eléctrica así como su alta resistencia mecánica. Una vez que es aleado con otros metales le permiten tener una gama de aplicaciones muy importante en la industria.

Propiedades del aluminio.

El aluminio es un metal plateado muy ligero. Su masa atómica es 26,9815; tiene un punto de fusión en estado puro de aproximadamente 660 °C, un punto de ebullición de 2467°C y una densidad relativa de 2,7. Es un metal muy

electropositivo (elementos químicos cuyos átomos ceden con facilidad electrones y adquieren, por tanto, carga positiva) y muy reactivo. En un medio oxidante, en particular en el aire, se cubre de una densa película de óxido que lo protege contra la corrosión. El aluminio posee una alta conductividad eléctrica y térmica, es resistente a la acción de los ácidos nítricos y orgánicos. Para aumentar su resistencia mecánica y sus cualidades de fundición es aleado con otros metales. Debido a su elevada proporción resistencia-peso es muy útil para construir aviones, vagones ferroviarios, automóviles, y otras aplicaciones en las que es importante la movilidad y la conservación de energía [21]. Por su elevada conductividad térmica, el aluminio se emplea en utensilios de cocina y en pistones de motores de combustión interna. Solamente presenta un 63% de la conductividad eléctrica del cobre para alambres de un tamaño dado, pero pesa menos de la mitad. El peso tiene mucha importancia en la transmisión de electricidad de alto voltaje a larga distancia, y actualmente se usan conductores de aluminio para transmitir electricidad a 700.000 voltios o más.

Entre las aleaciones del aluminio las que tienen mayor importancia son los duraluminios. El duraluminio tiene de 3.4 a 4% de Cu, 0.5% de Mg, no más de 0.8% de Fe y 0.8% de Si y aluminio. Las propiedades mecánicas de esta aleación se mejoran después de su tratamiento térmico y su deformación en frío. La resistencia a la rotura se eleva de entre 15 y 22 Kgf/mm² a 36-42 Kgf/mm² y la dureza aumenta de 50-60 Kgf/mm² a 90-100 Kgf/mm², el alargamiento permanente de la aleación casi no varía y es alto (18 a 24%). Los alpacas son las aleaciones producto de la fundición del aluminio con el silicio, poseen buenas cualidades de fundición y propiedades mecánicas, puesto que el aluminio tiene gran afinidad química con el oxígeno, se emplea en la metalurgia como oxidante, así como para obtener los metales de difícil reducción tales como calcio, litio.

El aluminio es sumamente abundante en la composición de la corteza terrestre, se halla en una proporción aproximada del 15% y sólo la sílice lo supera. El mineral industrial más significativo es la bauxita con un contenido entre el 55 y el 65 de alúmina (óxido de aluminio Al₂O₃), que se encuentra localizado principalmente en la zona tropical. Este mineral fue descubierto por M. Pierre Berthier que lo llamó así

por el lugar donde la encontró, la aldea de Les Baux de Provenza, en Arlés, Francia meridional [11]. En 1854 Bunsen logró preparar electrolíticamente el aluminio partiendo en sus experiencias del compuesto cloruro aluminico sódico. La extracción del aluminio de la bauxita se efectúa en tres etapas, minería, refinación y reducción. La bauxita se extrae, se lava y se seca antes de ser destinada a la refinería donde se separa del aluminio. El método José Bayer es el que más se usa en la industria del aluminio [11].

1.3. Procesos Tecnológicos aplicados al aluminio

1.3.1 Tratamiento Térmico.

El recocido intermedio para aliviar los esfuerzos producidos por el trabajo en frío, se hace a una temperatura de 340 °C a 400 °C. Las aleaciones tratables térmicamente se trabajan mejor en frío cuando se encuentran en el estado de templadas por inmersión después del tratamiento térmico (400 °C a 427 °C calentamiento y 260 °C enfriamiento). Las aleaciones tratables térmicamente deben sufrir un tratamiento térmico: uno a temperatura elevada y otro a temperatura baja, la cual puede darse espontáneamente a la temperatura ambiente en algunas aleaciones y se conoce como envejecimiento natural, pero en otras aleaciones tiene que efectuarse a una temperatura un tanto elevada, envejecimiento artificial [10, 27, 28, 30, 40, 41].

1.3.2 Maquinado.

El aluminio puro y las aleaciones de aluminio-manganeso son duros para maquinar, a no ser que se empleen herramientas especiales con mayor ángulo de salida que el acostumbrado para el acero. Las herramientas duras de carburo cementado son esenciales para el aluminio-silicio. Las aleaciones que contienen cobre y las forjadas tratadas térmicamente tienen buena maquinabilidad [8, 16,36].

1.3.3 Remachado.

Se usan remaches de composición semejante a las del metal base, los remaches grandes pueden colocarse a veces en caliente a la temperatura de su tratamiento de solución, dependiendo de que se produzca un temple efectivo del contacto con las herramientas y con el metal circundante [36, 45].

1.3.4 Soldadura.

Se utilizan los métodos de fusión o resistencia; la mayor parte de las aleaciones de colada pueden soldarse, pero se necesita experiencia para vencer el peligro de ocasionar las deformaciones y grietas que resultan de la contracción térmica. La soldadura debe preceder el tratamiento térmico [3, 8, 37, 41, 50].

1.4. Aleaciones de Aluminio. Tipos

Las aleaciones de aluminio pueden ser laminadas y fundidas, las primeras se subdividen en las que se endurecen o no por tratamiento térmico.

Sistema de designación del aluminio y sus aleaciones según EUA.

El aluminio y sus aleaciones son clasificados mediante sistemas numéricos y en general se clasifican en dos grupos: laminadas y fundidas.

Para las aleaciones laminadas la designación se hace en base al elemento aleante principal. El sistema de uso más reciente para la designación, se realiza mediante cuatro dígitos. En la Tabla 1.1 se observa el sistema de designación [7, 10, 23, 41].

Tabla 1.1 Designación de los grupos de aleaciones laminadas

Aleaciones	Desig.	Aplicaciones Típicas
Aluminio => 99% Al	1XXX	Hoja, chapas para litografía y chapas
Cobre	2XXX	Industria aeronáutica
Manganeso	3XXX	Latas, radiadores de edificios.
Silicio	4XXX	Intercambiadores de calor e ingeniería.
Magnesio	5XXX	Latas, automóviles, fachadas, transporte
Magnesio y Silicio	6XXX	Automóviles, construcción, transporte.
Zinc.	7XXX	Industria aeronáutica, radiadores.
Otros elementos	8XXX	Hoja(Fe), Industria aeronáutica (Li).
Series no utilizadas	9XXX	

En la designación reciente el primer número indica el tipo de aleación. La serie 1XXX es para el aluminio con pureza igual y mayor que el 99 %, mientras que las series 2XXX hasta 8XXX agrupan a las aleaciones según los principales elementos aleantes.

Para las aleaciones fundidas se emplean principalmente designaciones numéricas formadas por dos o tres dígitos, empleándose en ciertas ocasiones alguna letra como prefijo para indicar determinadas modificaciones con relación a la composición original. Los elementos aleantes usualmente presentes en las aleaciones fundidas son: Si, Cu y Mg, y las cantidades de estos elementos son generalmente mayores que las que se encuentran en las aleaciones laminadas; este factor hace que las aleaciones fundidas sean normalmente más difíciles de soldar que las laminadas se dan en la **Tabla 1.2**.

Tabla 1.2 Composición química y propiedades mecánicas de algunas de las aleaciones de aluminio fundidas según ASTM [1, 7, 19, 47].

Aleación	Composición química (%)			Propiedades mecánicas			Condición
	Si	Cu	Mg	σ_u (kg/mm ²)	σ_y (kg/mm ²)	δ (%)	
13	12	-	-	26	-	1.8	Bruto
43	5	-	-	13.3	6.3	6	Bruto
108	3	4	-	13.3	9.8	1.5	Bruto
195	0.8	4.5	-	22.4	11.2	8.5	Solución
214	-	-	3.8	17.5	8.4	9	Bruto
220	-	-	10	32.3	17.5	14	Solución
319	6	3.5	-	18.9	12.6	2	Bruto
355	5	1.3	0.5	19.6	16.1	1.5	Envejecimiento artificial
356	7	-	0.3	17.5	14	2	Envejecimiento artificial

1.4.1. Designación de las aleaciones de aluminio laminadas.

En la designación reciente para las aleaciones laminadas, el primer número indica el tipo de aleación. La serie IXXX es para el aluminio con pureza igual o mayor que el 99 %, mientras que las series 2XXX hasta 8XXX agrupan a las aleaciones según los principales elementos aleantes. En la serie IXXX el segundo dígito en la designación indica el control de impurezas. Si el segundo dígito es cero, indica que no hay control especial de impurezas, los números desde 1 hasta el 9, que son asignados consecutivamente si es necesario, indican el control específico de una o más impurezas individuales. Los dos últimos dígitos indican el porcentaje mínimo de aluminio expresado hasta la centésima más próxima. Así, con la

designación 1060 se indica un material en la que la pieza tiene 99.60 % de aluminio, en el cual no se ejerce un control especial sobre las impurezas consideradas individualmente.

En las series de aleaciones 2XXX hasta 8XXX el segundo dígito en la designación indica las modificaciones de la aleación original. Si el segundo dígito es cero indica que la aleación es la original, los dígitos desde el 1 hasta el 9, los cuales son asignados consecutivamente, señalan las modificaciones de la aleación original. Los dos últimos dígitos en la designación no tienen significación especial, sino que sirven como referencia para la designación arbitraria de la aleación.

Para las aleaciones fundidas se emplean principalmente designaciones numéricas formadas por dos o tres dígitos, empleándose en ciertas ocasiones alguna letra como prefijo para indicar determinadas modificaciones con relación a la composición original. Los elementos aleantes usualmente presentes en las aleaciones fundidas son silicio, cobre y magnesio, y las cantidades de estos elementos son generalmente mayores que las que se encuentran en las aleaciones laminadas, este factor hace que las aleaciones fundidas sean, normalmente, más difíciles de soldar que las laminadas.

A continuación de la designación de la aleación y separado por un guión se expresa el estado de tratamiento del material, bien sea este aluminio fundido o laminado, o aleaciones de aluminio de acuerdo con el sistema de designación más reciente. Este sistema está basado en la serie de tratamientos fundamentales utilizados para conseguir dichos estados.

Según este sistema, los distintos tratamientos básicos se indican mediante una letra, seguida por uno o más dígitos, salvo en los estados de recocido y en bruto, que no van seguidas por ningún número. Los estados básicos son cuatro, los cuales vienen representados por F, estado en bruto, O estado de recocido, H, endurecido por deformación en frío o estado de acritud y T tratado térmicamente.

La letra W es usada para designar la condición inestable que sigue al tratamiento térmico de solución. En la Tabla 1.3., se muestran las diferentes designaciones de acuerdo al tratamiento mecánico aplicado [7, 8, 10, 23, 25, 41, 44].

Tabla 1.3, Designación de acuerdo al tratamiento mecánico [1, 2, 7, 10, 23].

Designación	Tratamiento mecánico
F: Estado en bruto	Esta designación se aplica a los productos que son suministrados en la condición resultante de las operaciones normales de fabricación sin imposición de prácticas especiales para controlar la magnitud del endurecimiento por deformación o tratamiento térmico. Para los productos laminados no se garantizan las propiedades mecánicas.
O: Recocido, precristalizado	En este estado las aleaciones laminadas presentan la dureza mínima.
H: Estado de acritud	Se aplica a los materiales cuyas características mecánicas mejoran al someterlos solamente a una deformación en frío: con o sin tratamiento suplementario para producir ablandamiento parcial. Después de esta letra siempre aparecen dos o mas dígitos, de los cuales el primero indica en cada caso la serie de operaciones fundamentales a que se ha sometido el material y el siguiente dígito o dígitos el grado final de endurecimiento por deformación.
H1: Estado de acritud Solamente.	El segundo dígito expresa el grado de deformación en frío sufrido por el material, correspondiendo el número 8 al mayor valor comercial de dureza. Por tanto el H14 representa un material semiduro, el H12 un cuarto duro, etc. La calidad extraduro se designa por el número 9. Para indicar dentro de cada calidad el grado de control de esta, o para identificar un conjunto de características mecánicas especiales, se utiliza frecuentemente un tercer número. Por ejemplo, H 141 puede representar un material en alguna aleación con las mismas propiedades mínimas que el H14, pero con valores máximos muy próximos a los normados. O puede representar a un material en alguna aleación con valores mínimos ligeramente diferentes de aquellos correspondientes al H14, pero no lo suficiente importantes como para designarlo en las clasificaciones H13 o H15.
H2: Estado obtenido por acritud y posteriormente recocido parcialmente.	Se utiliza en los casos en que la dureza con que queda el material tras la deformación en frío se reduce posteriormente al valor preciso mediante un recocido parcial. La deformación correspondiente a la dureza final del material se designa de igual manera que en las series H1.
H3: Estado obtenido por acritud y posteriormente estabilizado.	Se aplica solamente a las aleaciones que contienen magnesio, las cuales son sometidas a un calentamiento a baja temperatura para estabilizar sus propiedades, obteniéndose así una ligera disminución en su resistencia y un aumento en su ductilidad. Si el tratamiento no es empleado, el cambio de propiedades ocurre a través de un periodo largo de tiempo a la temperatura ambiente. El grado de deformación con que queda el material, se indica por su dureza y se expresa tal como se ha dicho, por uno o más dígitos.
W: Tratamiento térmico de disolución.	Este es un estado metaestable, aplicable solamente a las aleaciones que envejecen espontáneamente a la temperatura ambiente después de sufrir un tratamiento térmico de solución. Esta designación, como se explica cuando se presenta el fenómeno de envejecimiento natural, solo estará completa cuando vaya seguida del periodo de tiempo necesario para que se realice dicho envejecimiento, por ejemplo 2024 - W (1/2 h) o 7075W (2 meses).
T: Tratado térmicamente.	Se utiliza esta designación en los casos en que los materiales se tratan térmicamente para obtener estados estables, con independencia de que posteriormente se sometan a una deformación en frío o no.
T2: Recocido.	Se aplica solamente a los materiales fundidos.
T3:	Sometido a un tratamiento térmico de solución de formado en frío y sometido a un proceso de envejecimiento natural hasta conseguir una condición estable.
T4:	Sometido a un tratamiento térmico de solución y a un proceso de envejecimiento natural hasta conseguir una condición estable.
T5:	Sometido a un proceso de envejecimiento artificial solamente. Se aplica a los productos que en el proceso de fabricación se enfrían rápidamente desde temperaturas elevadas y se someten posteriormente a un proceso de envejecimiento artificial, como sucede con los obtenidos por extrusión o fundición.
T6:	Sometido a un tratamiento térmico de solución y posteriormente a un proceso de envejecimiento artificial
T7:	Sometido a un tratamiento térmico de solución y posteriormente estabilizado. Se aplica en los casos en que las condiciones de tiempo y temperatura del tratamiento de estabilización son tales, que la aleación se lleva mas allá del punto de dureza máxima, procurando controlar el crecimiento de grano y las tensiones residuales.
T8:	Sometido a un tratamiento térmico de solución y a una deformación en frío y, posteriormente, a un proceso de envejecimiento artificial.
T9:	Sometido a un tratamiento térmico de solución, a continuación a un proceso de envejecimiento artificial y finalmente, a una deformación en frío.
T10:	Sometido a un proceso de envejecimiento artificial y a continuación a una deformación en frío. Este tratamiento es el mismo que el T5, aunque para aumentar la resistencia de la aleación se somete después a una deformación en frío.

1.4.2. Características de las aleaciones de aluminio laminadas.

Las aleaciones de aluminio laminadas son clasificadas en dos grupos: aquellas que no responden a los tratamientos térmicos, denominadas aleaciones no tratadas térmicamente y las aleaciones tratadas térmicamente, las cuales requieren tratamiento térmico para desarrollar las propiedades óptimas. El tratamiento mecánico aumenta la resistencia dureza en ambos tipos de



aleaciones. Las aleaciones no tratadas térmicamente contienen relativamente pequeños porcentajes de elementos aleantes, mientras que las aleaciones tratadas térmicamente usualmente incorporan porcentajes más elevados. Los principales elementos aleantes son cobre, silicio, magnesio y zinc; otros elementos también presentes son manganeso, cromo, níquel y titanio. El hierro es una de las impurezas en todas las aleaciones de aluminio, pero en un número reducido de aleaciones se suministra una cantidad pequeña de hierro.

La elección de una aleación determinada depende de varios factores. El primero que es necesario tomar en consideración es la forma particular del aluminio que habrá de ser utilizado en la elaboración del producto, ya que no todas las aleaciones se encuentran disponibles en todas las formas posibles de laminación. Otra consideración importante es el grado de deformación en frío que recibe el metal en el curso de la elaboración del producto. En general las aleaciones tratadas térmicamente son más difíciles de maquinar que las no tratadas térmicamente. Las propiedades mecánicas requeridas, desde luego, determinarán en gran medida la elección final. Naturalmente, deberá elegirse una aleación que suministre la resistencia deseada en el producto acabado después que todas las operaciones de elaboración se hayan completado [1, 8, 13].

Cuando el metal deba ser expuesto a influencias corrosivas durante su servicio, debe elegirse una aleación que presente una elevada resistencia a la corrosión.

En las **Tablas 1.4, 1.5, 1.6 y 1.7** se relacionan las propiedades mecánicas, tratamientos térmicos y las composiciones químicas de las principales aleaciones de aluminio laminadas de empleo industrial.

Aleaciones no tratadas térmicamente

La resistencia mecánica inicial de las aleaciones comprendidas en este grupo depende del efecto de endurecimiento de los elementos tales como: Mn, Si, Fe, y Mg, aislados o en diferentes combinaciones. Las aleaciones no tratadas térmicamente se designan usualmente por las series: 1000, 3000, 4000, y 5000. Como estas aleaciones pueden ser endurecidas por medios mecánicos, se hace posible obtener una resistencia mecánica adicional con el empleo de varios grados

de deformación en frío, indicado por las diferentes series de H en los tratamientos [10].

Aleaciones tratadas térmicamente

La resistencia mecánica inicial de las aleaciones incluidas en este grupo es aumentada por la adición de elementos aleantes tales como; Cu, Mn, Mg, Zn y Si. Debido a que estos elementos aislados o en diferentes combinaciones, muestran un aumento de la solubilidad en el aluminio con el aumento de la temperatura, es posible someterlos a tratamientos térmicos que le impartirán una resistencia mecánica pronunciada. El primer paso, denominado tratamiento térmico o tratamiento térmico de solución, es un proceso a elevada temperatura que tiene por objeto llevar al elemento soluble a la solución sólida. Esto es seguido por un enfriamiento rápido generalmente en agua, lo cual transitoriamente permite su fácil maquinado. A la temperatura ambiente o más elevada, las aleaciones no son estables después del enfriamiento rápido y comienza la precipitación de los constituyentes a partir de la solución sobresaturada. Después de un periodo de varios días a la temperatura ambiente, denominado de envejecimiento o precipitación a la temperatura ambiente, la aleación adquiere una resistencia mecánica elevada.

Muchas aleaciones alcanzan la condición de estabilidad a la temperatura ambiente, pero algunas aleaciones, particularmente aquellas que contienen Mg y Si o Mg y Zn, continúan envejecimiento por largos periodos de tiempo a la temperatura ambiente.

Mediante el calentamiento por un tiempo controlado a temperatura ligeramente elevada, es posible lograr aun mayores resistencias mecánicas y estabilización de las propiedades. Este proceso se denomina envejecimiento artificial o endurecimiento por precipitación. Con la combinación apropiada del tratamiento térmico de solución, enfriamiento rápido, deformación en frío y envejecimiento artificial, se pueden obtener las resistencias mecánicas más elevadas.

Taba 1.4 Propiedades mecánicas de las aleaciones de aluminio [41]

Aleación y su Tratamiento	Tracción				Dureza Brinell p = 50 Kg t = 10 min	Resistencia cortante T	Límite de resistencia a la fatiga (Kg/mm2)
	Resistencia (Kg/mm2)		Elongación en 50.4 mm (%)				
	σ _u	σ _y	Probetas de 1.58 mm de espesor	Probetas de 12.5 mm de diámetro			
EC - O	8.4	2.8	-	-	-	5.6	-
EC . H 12	9,8	8.4		.	.	6,3	
1100-O	9.1	3.5	35	45	23	6.3	3.5
1100-H 18	16,8	15,4	5	15	44	9.1	6.3
2011- T 3	39	30	-	15	95	22,4	12,6
2014-O	18,9	9,8	-	18	45	12,6	9,1
2014-T6	49	42		13	135	29,5	12,6
2017-O	18,2	7	-	22	45	12,6	9,1
2017- T4	43	28	-	22	105	26,7	12,6
2018-T61	42,8	32,3	-	12	120	27,4	11,9
2024-O	18,9	7,7	20	22	47	12,6	9,1
2024-T36	50,5	40	13	-	130	29,5	12,6
2117-T4	30	16,8	-	27	70	19,7	9,8
2218-T72	33,7	26	-	11	95	21	-
3003-O	11,2	4,2	30	40	28	7,7	4,9
3003-H18	20,3	18,9	4	10	55	11,2	7
3004-O	18,2	7	20	25	45	11,2	9,8
3004-H38	28,8	25,2	5	6	77	14,7	11,2
5005-O	12,6	4,2	30	-	28	7,7	-
5005 - H32	14	11,9	11	-	36	9,8	-
5005- H38	20,3	18,9	5	±	51	11,2	-
5050-O	14,7	5,6	24	-	36	10,5	8,4
5050-H38	22,4	20,3	6	-	63	14	9,8
5052-O	19,6	9,1	25	30	47	12,6	11,2
5052-H36	28	25	8	10	73	16,1	13,3
5056-O	29,4	15,4	-	35	65	18,2	14
5056-H18	44	41,4	-	10	105	23,8	15,4
5086-O	26,6	11,9	22	-	-	16,1	-
5986-H34	33	26	10	-	-	18,9	-
5154-O	25	11,9	27	-	58	15,4	11,9

Tabla 1.5 Condiciones típicas para el tratamiento térmico de las aleaciones de aluminio laminadas (EUA) [41].

Aleación	Tratamiento de Recocido		Tratamiento de Solución		Tratamiento térmico de solución	
	Temperatura (°C)	Designación	Temperatura (°C)	Designación	Temperatura (°C)	Designación
1100	343	0	-	-	-	-
2011	413	0	510	T4	160	T6
2014	413	0	504	T4	171	T6
2017	413	0	504	T4	-	-
2018	413	0	510	T4	171	T6
2024	413	0	493	T4	190	T8
2025	413	0	515	T4	171-	T6
2117	413	0	504	T4	-	-
2218	413	0	510	T4	238	T72
3003	413	0	-	-	--	-
3004	343	0	-	-	-	-
4032	413	0	510	T4	171	T6
4043	343	0	-	-	-	-
5005	343	0	-	-	-	-
5050	343	0	-	-	-	-
5052	343	0	-	-	-	-
5056	343	0	-	-	-	-
5086	343	0	-	-	-	-
5154	343	0	-	-	-	-
5357	343	0	-	-	-	-
6053	413	0	520	T4	176	T6
6061	413	0	520	T4	166	T6
6062	413	0	520	T4	166	T6
6063	413	0	-	-	176	T6
6066	413	0	520	T4	176	T6
6151	413	0	515	T4	171	T6
7001	413	0	465	W	121	T6
7072	343	0	-	-	-	-
7075	413	0	465	W	124	T6
7277	-	-	475	W	-	T6

Tabla 1.6 Propiedades típicas de algunas aleaciones de aluminio laminadas a elevadas temperaturas [41].

Aleación	Propiedad	24 (°C)	149 (°C)	260 (°C)	371 (°C)
1100 - 0	$\sigma_{\text{b}} \text{ }\mu\text{Ml}/\gamma\text{K}(\text{°})$	9,1	5,9	2,4	1
	$\sigma_{\text{p}} \text{ }\mu\text{Ml}/\gamma\text{K}(\text{°})$	3,5	2,8	1,4	0,7
	$\delta \text{ (}\%)$	45	65	85	95
1100 . H18	σ_{b}	16,8	12,2	2,4	1
	σ_{p}	15,4	9,1	1,4	0,7
	δ	15	16	85	95
2014 . T6	σ_{b}	49	33	7,7	3,1
	σ_{p}	42	28	5,9	2,4
	δ	13	15	45	70
2024 . T3	σ_{b}	47,8	30,2	9,8	3,5
	σ_{p}	33,7	26	7	2,4
	δ	19	17	45	100
3003 - 0	σ_{b}	11,2	7,7	4,2	2,1
	σ_{p}	4,2	3,5	2,4	1,4
	δ	40	47	60	60
3003 . H14	σ_{b}	15	12,3	7	2,1
	σ_{p}	13,3	8,7	2,8	1,4
	δ	16	17	25	60
4032 . T6	σ_{b}	38,6	26,7	5,9	2,4
	σ_{p}	32,3	23	4,5	1,4
	δ	9	9	40	80
5052 - 0	σ_{b}	18,9	14	7,7	3,5
	σ_{p}	8,4	7	4,8	1,75
	δ	30	55	100	120
5052- H36	σ_{b}	27,4	22,4	8,4	3,5
	σ_{p}	23,9	18,9	5,6	1,75
	δ	10	16	80	120
6061 . T6	σ_{b}	32	22,4	4,9	2,1
	σ_{p}	28	21	3,5	1,4
	δ	17	18	65	105
7075 . T6	σ_{b}	57,6	17,5	7,7	4,5
	σ_{p}	50,6	14,7	5,9	3,1
	δ	11	30	65	65

Tabla 1.7 Composición química de algunas aleaciones de aluminio laminadas según ASTM [41].

Aleación	Composición química (%)									
	Si	Cu	Mn	Mg	Zr	V	Ni	Cr	Zn	Al
1060	-	-	-	--	-	-	-	-	-	99,6
1100	-	0,12	-	-	-					99
2014	0,8	4,4	0,8	0,5	-	-	-	-	-	Resto
2024	-	4,4	0,6	1,5						Resto
2219	-	6,3	0,3	-	0,8	0,1				Resto
3003	-	0.12	1,2	-	-	-	-	-	-	Resto
3004	-	-	1,2	1	-	-	-	--	-	Resto
4032	12,2	0,9	-	1,1	-	-	0,9	-	-	Resto
5005	-	-	-	0,8	-	-	-	-	-	Resto
5050	-	-	-	1.4						Resto
5052	-	-	-	2,5				0,25		Resto
5083	-	-	0,6	4,45				0,15		
5086	-	-	0,45	4	-	--	-	0,15	-	Resto
5154	-	-	-	3,5	-	-	-	0,25	-	Resto
5254	-	-	-	2,5	-	--	-	-	-	Resto
5454	-	-	0,8	2,7	-	-	-	0,12	-	Resto
5456	-	-	0.8	5,1	-	-	-	0,12	-	Resto
5652	-	-	-	2,5	-	-	-	0,25	-	Resto
6061	0,6	0,27		1	-	-	-	0,2	-	Resto
6063	0,4	-		0,7						Resto
6101	0,5			0,6						Resto
6151	0,9			0,6				0,25		Resto
7005			0,45	1,4				0,13	4,5	Resto
7039			0,7	2,8				0,2	4	Resto
7075		1,6		2,5				0,3	5,6	Resto
7079		0,6	0,2	3,3				0,2	4,3	Resto
7178		2	-	2,7				0,3	6,8	Resto

Aleaciones laminadas.

Las aleaciones tratadas térmicamente en las cuales el Cu o el Zn son los principales elementos aleantes son menos resistentes al ataque de la corrosión que la mayoría de las aleaciones no tratadas térmicamente. Para aumentar la resistencia a la corrosión de estas aleaciones en forma de chapas y planchas, ellas son frecuentemente revestidas con aluminio de alta pureza, con una aleación baja en Mg.- Si o con una aleación que contenga 1 % de Zn. El revestimiento generalmente de 2 ½ a 5 % del espesor total en cada lado, no solamente protege al material a causa de su excelente resistencia a la corrosión, sino que también ejercer un efecto galvánico que además protege al núcleo del material.

1.4.3. Características de las diferentes series de las aleaciones de aluminio laminadas.

Las aleaciones de aluminio laminado se dividen en dos grandes grupos, las que no reciben tratamiento térmico y las que reciben tratamiento térmico.

Aleaciones de aluminio laminado sin tratamiento térmico

Las aleaciones que no reciben tratamiento térmico solamente pueden ser trabajadas en frío para aumentar su resistencia. Hay tres grupos principales de estas aleaciones según la norma AISI-SAE que son los siguientes [8]:

- **Serie 1000 (Aleaciones 1XXX).** Son aleaciones de aluminio técnicamente puro, al 99,9% siendo sus principales impurezas el hierro y el silicio como elemento aleante. Se les aporta un 0.12% de cobre para aumentar su resistencia. Tienen una resistencia aproximada de 90 MPa. Se utilizan principalmente par trabajos de laminados en frío.
- **Serie 3000 (Aleaciones 3XXX).** El elemento aleante principal de este grupo de aleaciones es el manganeso (Mn) que está presente en un 1,2% y tiene como objetivo reforzar al aluminio. Tienen una resistencia aproximada de 16 ksi (110MPa) en condiciones de recocido. Se utilizan en componentes que exijan buena mecanibilidad.

- **Serie 4000 (Aleaciones 4XXX).** El elemento aleante principal de este grupo de aleaciones es el Silicio (Si) el cual puede ser suministrado en cantidades suficientes para causar una marcada disminución del punto de fusión sin producir fragilidad en las aleaciones, tiene como objetivo reforzar al aluminio. Combinado con magnesio (Mg), tiene mayor resistencia mecánica.
- **Serie 5000 (Aleaciones 5XXX).** En este grupo de aleaciones es el magnesio es el principal componente aleante su aporte varía del 2 al 5%. Esta aleación se utiliza para conseguir reforzamiento en solución sólida. Tiene una resistencia aproximada de 28 ksi (193MPa) en condiciones de recocido.

Aleaciones de aluminio laminado con tratamiento térmico

Algunas aleaciones pueden reforzarse mediante tratamiento térmico en un proceso de precipitación. El nivel de tratamiento térmico de una aleación se representa mediante la letra T seguida de un número por ejemplo T5. Hay tres grupos principales de este tipo de aleaciones [8].

- **Serie 2000 (Aleaciones 2XXX).** El principal aleante de este grupo de aleaciones es el cobre (Cu), aunque también contienen magnesio Mg. Estas aleaciones con un tratamiento T6 tiene una resistencia a la tracción aproximada de 64ksi (442 MPa) y se utiliza en la fabricación de estructuras de aviones.
- **Seria 6000 (Aleaciones 6XXX).** Los principales elementos aleantes de este grupo son magnesio y silicio. Con unas condiciones de tratamiento térmico T6 alcanza una resistencia a la tracción de 42 ksi (290MPa) y es utilizada para perfiles y estructuras en general.
- **Serie 7000 (Aleaciones 7XXX).** Los principales aleantes de este grupo de aleaciones son Zinc, Magnesio y Cobre. Con un tratamiento T6 tiene una resistencia a la tracción aproximada de 73ksi (504MPa) y se utiliza para fabricar estructuras de aviones. [8]

1.4.4. Características de las aleaciones de aluminio fundidas.

Las aleaciones de aluminio para fundición han sido desarrolladas porque proporcionan calidades de fundición idóneas, como fluidez y capacidad de alimentación, así como valores optimizados para propiedades como resistencia a

la tensión, ductilidad y resistencia a la corrosión. Difieren bastante de las aleaciones para forja. El silicio en un rango entre el 5 al 12 % es el elemento aleante más importante porque promueve un aumento de la fluidez en los metales fundidos. En menores cantidades se añade magnesio, o cobre con el fin de aumentar la resistencia de las piezas. [8]

Al igual que en el caso de las aleaciones laminadas, algunas de las aleaciones fundidas no requieren tratamiento térmico, mientras que otras deben ser tratadas térmicamente con el fin de obtener las óptimas propiedades. Actualmente la mayor parte de las fundiciones de aluminio se producen por uno de los métodos siguientes: en arena, en coquilla o por inyección. Las aleaciones que contienen cobre y silicio, bien aisladamente o en combinación con cantidades pequeñas de otros elementos, comprenden los grupos más usados en la producción de aluminio fundido.

La soldadura de las aleaciones de aluminio fundidas encuentran su principal aplicación en la reparación de fundiciones que presentan defectos. Otro de los empleos es en la reparación de fundiciones que han sufrido agrietamientos o roturas. También algunas fundiciones de aleaciones de aluminio pueden ser soldadas satisfactoriamente a secciones de aleaciones laminadas, permitiendo de esta forma realizar combinaciones de elementos metálicos gruesos y finos.

Para la soldadura de las aleaciones del aluminio fundidas se requiere de una técnica similar a la empleada para las planchas de aluminio y otros productos laminados. Sin embargo, es necesario considerar cuidadosamente la susceptibilidad de muchas fundiciones a las deformaciones y roturas térmicas a consecuencia de diseños complejos y variación del espesor de las secciones. Además, muchas fundiciones en estructuras sometidas a esfuerzos elevados, dependen del tratamiento térmico para desarrollar su resistencia mecánica; la soldadura, como se ha indicado previamente, tiende a destruir el efecto del tratamiento térmico inicial. En estos casos, a no ser que la fundición o el conjunto puedan ser sometidas a tratamiento térmico nuevamente, la soldadura no se recomienda. Cuando es posible tratar térmicamente la fundición o el conjunto después de la soldadura, la resistencia mecánica puede ser recuperada.

Para soldar estas aleaciones también se emplea la soldadura manual por arco eléctrico con electrodo revestido. [41]

En la **Tabla 1.2**, se dan las propiedades mecánicas y composición química de algunas de las aleaciones de aluminio fundidas.

1.5. Soldadura. Conceptos y procesos

1.5.1. Conceptos de soldadura

Soldabilidad

Capacidad de los materiales para ser soldados sin que se produzcan cambios en sus propiedades físico - químicas y estructurales.

La soldabilidad de un material constituye una propiedad del mismo, muy compleja y en muchas ocasiones queda condicionada a variaciones metalúrgicas o a propiedades de éstos. Esto significa que un material tendrá buena soldabilidad, cuando se pueda lograr una unión soldada con propiedades mecánicas y fisico-químicas adecuadas, por cualquiera de los procesos de soldadura existentes y sin la necesidad de utilizar técnicas auxiliares. [3, 5, 31, 33, 41, 42]

La soldabilidad de un material encierra tres aspectos esenciales bajo los cuales queda dividida su definición, estos son: metalúrgicos, operatorios y constructivos.

La **soldabilidad metalúrgica** es la capacidad que tienen los materiales de la misma o de diferente naturaleza, para ser unidos de forma indesarmable, mediante los procesos de soldadura, sin presentar transformaciones estructurales en la unión soldada o variaciones en las propiedades químicas de ésta, que ocasionen cambios en las propiedades mecánicas o químicas del material.

La **soldabilidad operatoria** responde en sí, a la operación de soldadura, en lo que respecta a las cuestiones tecnológicas de ejecución de las uniones soldadas por cualquier proceso de soldadura, ya sea, por fusión, con calor y presión, o sólo por presión.

En tal sentido la soldabilidad de los aceros al carbono no presenta dicho problema debido a que los óxidos formados poseen una temperatura de fusión mucho menor que la temperatura aportada por los diferentes procesos de soldadura.

La **soldabilidad constructiva** concierne a propiedades físicas del material, tales como las de dilatación y contracción, que provocan tensiones o deformaciones, las cuales pueden originar el agrietamiento de la unión soldada.

Se considera que un material tiene buena soldabilidad cuando no presenta los problemas mencionados anteriormente y cumple con los tres aspectos anteriores y soldabilidad regular o condicionada, cuando no cumple alguno de ellos, pero que por medio de soluciones tecnológicas se puede obtener una unión soldada de calidad. Un material tendrá mala soldabilidad cuando los problemas o aspectos anteriormente citados no se pueden resolver para la obtención de una unión soldada con buenas propiedades mecánicas y químicas [35,41].

1.5.2. Procesos de soldadura

a) Soldadura manual por arco eléctrico

En la soldadura se utiliza el arco eléctrico para cambiar la energía eléctrica, en térmica necesaria para fundir el material base y el material de aporte, y en algunos casos, el fundente. El arco es una descarga eléctrica en un medio gaseoso que se manifiesta con una emisión de electrones que provienen de un cátodo incandescente y bombardean el ánodo a gran velocidad. Esta transferencia de electrones se efectúa en un medio gaseoso altamente ionizado con intensidades de corrientes eléctricas relativamente grandes y tensiones eléctricas pequeñas [42]. El arco eléctrico se compone de tres partes características como se muestra en la **Figura 1.1**.

- El polo negativo o zona del cátodo (A)
- El polo positivo o zona del ánodo (B)
- La columna del arco (C) donde se encuentre el gas altamente ionizado (plasma)

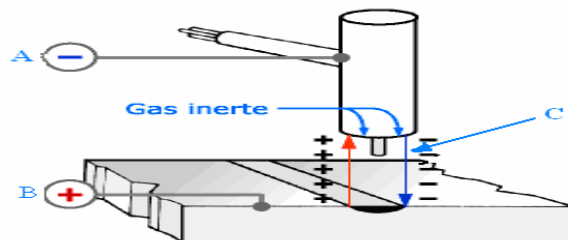


Figura 1.1 Partes del arco eléctrico [42].

b) Soldadura por arco eléctrico con electrodo refractario en atmósfera protectora.

Este procedimiento de soldadura por fusión se designa comúnmente soldadura TIG, por las iniciales de su denominación en el idioma inglés (**Tungsten Inert Gas**). Un esquema se ilustra en la **Figura 1.2**.

En este proceso el calor es producido por el arco eléctrico entre un electrodo refractario (no consumible) y la pieza a soldar. El electrodo utilizado para conducir la corriente es usualmente de tungsteno o una aleación de este, aunque también puede ser de grafito. La zona del metal base calentado, el metal fundido, y el

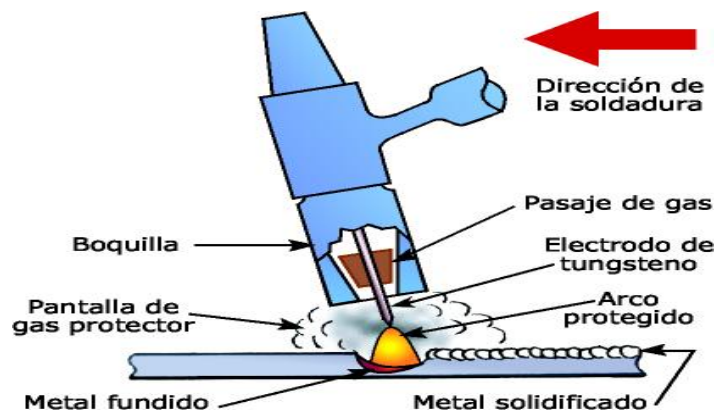


Figura 1.2 Esquema del proceso de soldadura TIG [42].

Electrodo refractario, son protegidos de la atmósfera por un gas inerte alimentado a través del porta electrodo, que es nombrado **PDF Complete** en este proceso.

Con el calor del arco se funden los bordes de soldadura y estos son unidos por el metal de soldadura que se solidifica. El proceso se puede aplicar manual o automáticamente.

El arco eléctrico se produce por el paso de una corriente eléctrica a través de un gas ionizado. En este proceso de soldadura los átomos de gas inerte, que constituyen la atmósfera protectora, están ionizados. Estos átomos pierden electrones y se transforman en iones con carga positiva. Los cationes y electrones fluyen del polo negativo al positivo del arco. La potencia consumida

en el arco, expresada en unidades eléctricas, es el producto de la corriente que pasa a través del arco y la caída de tensión en el mismo. La caída de tensión a través del arco es una cantidad fija en los electrodos y una cantidad variable entre estos electrodos y proporcional a la longitud de la columna del arco [46].

1.6. Problemas de soldabilidad del aluminio y sus aleaciones

La soldabilidad del aluminio y sus aleaciones están regidas por los siguientes fenómenos:

a) Formación de la alúmina u óxido de aluminio (Al_2O_3), el cual tiene una temperatura de fusión de aproximadamente 2030 °C, que es superior a la temperatura de fusión del metal que es de 660 °C y, además, también posee mayor densidad. La formación de la alúmina es la causa de la insoldabilidad operatoria del metal y sus aleaciones; su presencia se opone a la interpenetración de las gotas fundidas que aseguran la continuidad del cordón de soldadura.

La dificultad desaparece utilizando un fundente adecuado que produce, por disolución de la alúmina, una escoria ligera y fácil de eliminar.

b) En el caso de algunas aleaciones, el ciclo térmico de soldadura provoca en el material base y zona fundida, la precipitación de compuestos definidos de la solución sólida, originando la disminución por una parte, de las características mecánicas y por otra, de la resistencia a la corrosión.

A consecuencia de que las aleaciones de aluminio tienen un coeficiente de expansión térmica relativamente alto comparado con la mayoría de los metales soldables, en estos se obtienen menores deformaciones [31,35,41,50].

1.6.1. Problemas particulares en la soldadura del aluminio

1. Agrietamiento

Uno de los factores más importante a considerar en la selección del material de aporte en la soldadura del aluminio es la tendencia al agrietamiento la cual se reduce usando un material de aporte de mas alta aleación que el material base, por ejemplo la aleación 6061 es extremadamente sensible al agrietamiento cuando se suelda con el material de aporte 6061, pero si se suelda con el 4043 el cual

contiene 5 % de silicio se reduce notablemente el mismo. La ductilidad puede ser obtenida también con materiales de aporte de la serie 5000 tales como: 5154, 5356. El empleo de aleaciones de metal de aporte de alta aleación en ocasiones aumenta la resistencia y la ductilidad de la costura y disminuye la sensibilidad al agrietamiento. Un ejemplo puede ser la aplicación del material de aporte 5353 para soldar el material base 5052 [31, 35, 41].

2. Resistencia a la corrosión.

El uso de equipos en ciertos ambientes corrosivos y determinados componentes químicos requiere de aleaciones especiales. Estas aleaciones pueden tener alta pureza o sino pueden tener límites de composición química cerrados. Los materiales de aporte de Al . Mg tienen alta resistencia a la corrosión pero algunos tienden a ser anódicos. Por esta razón ellas pudieran ser usadas con aleaciones del material base que posean potenciales eléctricos similares, la costura y el material base son expuestos a un electrolito continuamente o cíclicamente.

3. Elevada temperatura de servicio.

La elevada temperatura de servicio influye en la selección del material base y de aporte. Las aleaciones de aluminio con contenidos de Mg por sobre el 3 % no son recomendadas para soportar temperaturas de servicio por sobre los 150 °F.

4. Tratamiento anódico

El tratamiento químico y en particular el tratamiento anódico de la unión soldada estará influenciado por la selección del material de aporte de la aleación porque el cambio de apariencia y color de la zona de las costuras hechas con material de aporte que contienen silicio, tal como el 4043, se muestran oscuras . grises, con estos tratamientos y contrastan grandemente con la mayoría del metal base. En general el aluminio puro y los metales de aporte de Al . Mg producen un buen color.

1.7. Crítica a los softwares existentes

Se revisaron una cantidad considerable de softwares para la selección automatizada de materiales de aporte en la soldadura del aluminio y sus

aleaciones [15] los cuales en la mayoría de su concepción sólo se limitan a los que los fabricantes ofertan para sus ventas y son solamente comerciales sin un basamento científico integral y sin tener en cuenta los destinos de servicios sobre todo la temperatura de trabajo la cual es importante para una correcta elección de los mismos. La deficiencia de estos softwares es que la selección la realiza como si fuera un catálogo de forma digital sin tener en cuenta las especificaciones de estos materiales para su soldadura.

1.8. La ingeniería en el desarrollo de los sistemas de información.

No pocas personas califican, como innecesaria a la ingeniería de software, argumentan que hay otras disciplinas de ingeniería que se pueden aplicar a los proyectos de software, sin embargo, la práctica demuestra lo contrario [29].

1. En los proyectos informáticos el diseño y la construcción son un único proceso, es decir, son parte del proyecto y se hace necesario un trabajo de mesa con el objetivo de evitar fallas de consistencia, excesivo trabajo, mantenimiento imposible o trabajoso e inflexibilidad.
2. La comprobación de la calidad es la actividad más costosa de la construcción de software.
3. Las actividades de un proyecto de software pueden realizarse en orden muy distinto sin que a menudo sea necesario acabar una para empezar otra.

1.9 El ciclo de vida de un sistema de información orientado a base de datos.

El ciclo de vida de un sistema de información es un enfoque por fases del análisis y diseño de sistemas, donde se sostiene que los sistemas son desarrollados de mejor manera mediante el uso de un ciclo específico de actividades del analista y del usuario que se denomina metodología de desarrollo de sistemas.

Existen actualmente varios paradigmas en el ciclo de vida de un proyecto de desarrollo de sistemas de información orientado a base de datos, que se están utilizado ampliamente en los medios empresariales, entre los cuales se encuentran: [4,6,24,26,29,32,34,39,49]

1. Ciclo de vida Clásico o Modelo en Cascada.
2. Ciclo de Vida SemiEstructurado.
3. Ciclo de Vida Estructurado.

4. Modelo de Prototipos para el Ciclo de vida
5. Modelo del Costo de un Proyecto.
6. Modelo de Versiones Sucesivas
7. Metodología de Ingeniería de la Información
8. Metodologías orientadas a objetos.

Sin embargo en el presente trabajo trabajaremos sobre la base del Ciclo de vida Clásico o Modelo en Cascada.

Las principales etapas que involucra el desarrollo de Sistema de información orientado a base de datos se muestran en la siguiente **Figura 1.3**.

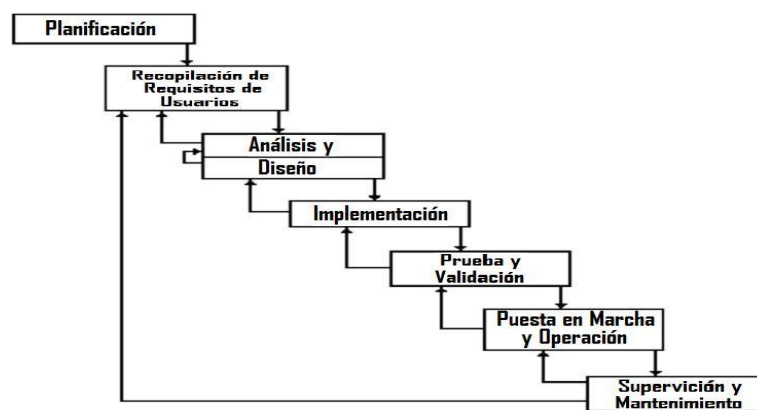


Figura 1.3 Etapas del ciclo de vida de un sistema de información orientado a base de datos [51].

1.9.1 Ciclo de vida de un S.I. orientado a BD

Es imprescindible realizar un adecuado diseño de la base de datos tal que:

1. Satisfaga las necesidades de procesamiento de la organización (tiempos de respuesta y de procesamiento, espacio de almacenamiento)
2. Permita y facilite la evolución del sistema (como consecuencia de cambios en los requisitos).

El sistema de base de datos suele ser parte de un sistema de información mucho mayor, con el que se controla los recursos de información, es decir: los datos en sí mismos, el SGBD, el hardware y los medios de almacenamiento, el personal que usa los datos (DBA, usuarios finales, etc.), el software de aplicación que accede a los datos y los actualiza, y los programadores que crean estas aplicaciones [6,10].

1.9.2 Fases del Ciclo de Vida de un S.I. orientado a BD

1. La Planificación comprende el análisis de factibilidad, definición del sistema y objetivos, plan de trabajo. Analizar las posibles áreas de aplicación, estudiar la relación costo/beneficio, establecer prioridades entre las aplicaciones, etc. Por definición del sistema se entiende establecer el alcance del sistema de BD, sus usuarios, etc.
2. Recopilación de requisitos de usuario Se recogen los requisitos de los usuarios con el fin de identificar sus problemas y sus necesidades en lo referente a datos, funcionalidades, rendimiento, etc.
3. Diseño (análisis y diseño) Diseño del sistema de base de datos y de los sistemas de aplicación (programas) que usan los datos y los procesan.
4. Implementación, carga o conversión de datos y aplicaciones Implementación del sistema de información, carga de datos reales en la base de datos (nuevos u otros ya existentes convertidos al formato adecuado).
5. Pruebas, validación y ajuste, Prueba de las aplicaciones (o transacciones, operaciones sobre los datos a través de los programas). Un sistema queda validado (es aceptable) cuando satisface los requisitos de los usuarios (especificaciones del comportamiento del sistema y los criterios de rendimiento).
6. Operación puesta en marcha del sistema. La fase operativa comienza cuando todas las funciones (procesos) del sistema están disponibles y validadas.
7. Supervisión y mantenimiento cuando surgen nuevas necesidades de datos o se requieren nuevas aplicaciones, pasan por todas las fases anteriores hasta, una vez validadas, ser incorporadas al sistema [24].

1.9.3 Fundamento del diseño de una aplicación.

Las primeras metodologías sobre el diseño de aplicaciones para computadoras fueron ideadas en los años 60 por reconocidos especialistas en la industria, tales como James Martín, Edward Yourdon y Larry Constantine [38]. En la historia de la computación, el desarrollo de una aplicación o la revisión de una defectuosa era tan caro, que con frecuencia, los expertos advertían que antes de introducir una sola línea de código empleaban un 60% o más, del tiempo total

del proyecto en la obtención de un buen diseño.

La tecnología actual nos proporciona la potencia suficiente para construir aplicaciones complejas, ya que la capacidad de cómputo actual es mucho mayor que hace veinte años atrás. A pesar de las potentes herramientas disponibles, la creación de una base de datos sin la debida planificación; es decir, sin determinar lo que debe hacer la aplicación y como debe funcionar, es una invitación al fracaso y a tener que emplear mucho tiempo para rehacer el trabajo [49].

1.9.4 Diseño de la base de datos.

Definición: La base de datos es un conjunto de datos interrelacionados entre sí, almacenados con carácter más o menos permanente en la computadora. O sea, que una BD puede considerarse una colección de datos variables en el tiempo, que permite acceso directo a un conjunto de programas que manipulan esos datos [4, 20, 34]. La base de datos es un conjunto exhaustivo no redundante de datos estructurados organizados independientemente de su utilización y su implementación en máquina accesibles en tiempo real y compatibles con usuarios concurrentes con necesidad de información diferente y no predecible en el tiempo. Las bases de datos son manipuladas por los sistemas gestores (SGBD) [49]. Estos softwares permiten la utilización y/o la actualización de los datos almacenados en las bases de datos por uno o varios usuarios desde diferentes puntos de vista. Es importante diferenciar los términos BD y SGBD. El objetivo fundamental de un SGBD consiste en suministrar al usuario las herramientas que le permitan manipular, en términos abstractos, los datos, sin que sea necesario conocer el modo de almacenamiento de los datos, ni el método de acceso empleado.

Principales ventajas de los SGBD.

Los objetivos principales que cumplen los sistemas de gestión de base de datos se encuentran:

- 1. Independencia de los datos y los programas de aplicación.** La Independencia de los datos es la inmunidad de las aplicaciones a los cambios

en la estructura de almacenamiento y en la estrategia de acceso y constituye el objetivo fundamental de los SBD.

2. **Minimización de la redundancia.** Los SBD minimizan la redundancia de la información, problema frecuente en el trabajo con ficheros tradicionales.
3. **Integración y sincronización de las bases de datos:** La integración consiste en garantizar una respuesta a los requerimientos de diferentes aspectos de los mismos datos por diferentes usuarios, de forma que, aunque el sistema almacene la información con cierta estructura y cierto tipo de representación, debe garantizar entregar al programa de aplicación datos que solicita y en la forma en que lo solicita.
4. **Integridad de los datos:** Consiste en garantizar la no contradicción entre los datos almacenados de modo que, en cualquier momento del tiempo, los datos almacenados sean correctos, es decir, que no se detecte inconsistencia entre los datos. Está relacionada con la minimización de redundancia, y es más fácil garantizar la integridad si se elimina la redundancia.
5. **Seguridad y recuperación:** Seguridad (también llamada protección): garantizar el acceso autorizado a los datos, de forma de interrumpir cualquier intento de acceso no autorizado, ya sea por error del usuario o por mala intención.
6. **Facilidad de manipulación de la información.** El SGBD debe contar con la capacidad de una búsqueda rápida por diferentes criterios, permitir que los usuarios planteen sus demandas de una forma simple, aislándolo de las complejidades del tratamiento de los ficheros y del direccionado de los datos.
7. **Control centralizado:** Permite controlar de manera sistemática y única los datos que se almacenan en la BD, así como el acceso a ella.

Existen otros objetivos que deben cumplir los SBD que en muchos casos dependen de las condiciones o requerimientos específicos de utilización del sistema.

Base de Datos Relacional: Tipo de base de datos o sistema de administración de base de datos, que almacena información en tablas (filas y columnas de datos)

y realiza búsquedas utilizando los datos de columnas especificadas de una tabla para encontrar datos adicionales en otra tabla [9].

La necesidad de una base de datos es determinada por las características de las entradas. Se requiere una base de datos si:

1. Los datos requieren almacenarse.
2. Existen muchas interrelaciones entre los mismos.

Comúnmente para obtener la solución computacional a un problema que demande el uso de base de datos, podemos utilizar dos vías:

1. Utilizar un Sistema de Gestión de Base de Datos (SGBD), empleando una metodología para el diseño de la base de datos.
2. Utilizar un Lenguaje de Programación Orientado a objetos (POO) y crear una base de objetos.

La mayoría de las soluciones se encaminan a la aproximación de la primera variante, debido a que el desarrollo de los SGBD actuales garantizan una mayor rapidez en la implementación de aplicaciones, además de la calidad probada de estos sistemas [48]. El diseño de una base de datos implica flexibilidad, ejecución rápida, eficiencia y adaptabilidad a los retos actuales y requerimientos futuros.

Modelo relacional.

La estructura fundamental del modelo relacional es la relación, es decir, una tabla bidimensional constituida por filas (tuplas) y columnas (atributos). Las relaciones representan las entidades que se consideran interesantes en la base de datos. Cada instancia de la entidad encontrará sitio en una tupla de la relación, mientras que los atributos de la relación representan las propiedades de la entidad. Por ejemplo, si en la base de datos se tienen que representar materiales de aporte, podrá definirse una relación llamada "MatAporte", cuyos atributos describen las características del material de aporte. Cada tupla de la relación "MatAporte" representará un Material concreto. Por ejemplo, la relación: MatAporte (IdMatAporte, Denominación, composición química, propiedades mecánicas).

El modelo relacional se ocupa de tres aspectos principales de la información: La estructura de datos, la manipulación de datos y la integridad de los datos [4].

El modelo relacional permite construir bases de datos que pueden ser implementadas en todas las plataformas computacionales de la actualidad, incluyendo Servidores, y Computadoras personales. La gran mayoría de los lenguajes de programación pueden interactuar con bases de datos soportadas sobre el modelo relacional.

Dr. Edgar Frank Codd científico de la IBM, fue el creador de la teoría del modelo relacional, en 1970 [4].

El proceso mediante el cual se alcanza el diseño óptimo de una base de datos se conoce como Normalización. Para alcanzar una correcta normalización, una base de datos debe cumplir los requerimientos de las tres primeras formas normales.

Las Formas normales son reglas de diseño de base de datos, que especifican los niveles de concordancia con el modelo relacional. Existen seis niveles de concordancia, comenzando en la primera forma normal (1NF), pasando por la quinta forma normal (5NF), y concluyendo con el más alto nivel de concordancia, conocida como forma normal de Dominio/ llave (DKNF). Las formas normales son anidadas. Si una tabla está en 3NF, automáticamente estará tanto en 2NF como en 1NF [39].

Primera forma normal. Para que una entidad (tabla), esté en primera forma normal todas las columnas (campos) deben contener valores atómicos. En otras palabras, cada columna debe guardar un valor simple, y no una lista de valores.

Además de cumplir el primer requerimiento, se exige que los grupos de columnas no se puedan repetir. Normalmente cambiar una tabla a primera forma normal, implica la creación de una tercera, conocida como tabla de unión (Junction table), para representar la relación mucho a mucho (many-to-many relationship) de las entidades en cuestión. La llave principal de la tabla creada es compuesta y está formada por la combinación de las llaves de las entidades relacionadas.

La solución final para el caso en cuestión sería crear tres tablas.

Aleación	Composición química			Propiedades mecánicas			Condición
	Si (%)	Cu (%)	Mg (%)	σ_u (kg/mm ²)	σ_y (kg/mm ²)	δ (%)	
13	12	-	-	26	-	1.8	Bruto
43	5	-	-	13.3	6.3	6	Bruto
108	3	4	-	13.3	9.8	1.5	Bruto
195	0.8	4.5	-	22.4	11.2	8.5	Solución

Tabla 1.7 Características químico-mecánicas de aleaciones de aluminio

En la **Tabla 1.7**, se puede apreciar que los atributos para cada aleación son únicos y por tanto cumple con la condición de la primera forma normal 1NF, pero se puede descomponer en varias tablas para hacerla cumplir con las otras formas.

Segunda forma normal. La segunda forma normal requiere que la tabla esté en primera forma normal y además de que cada columna no llave, sea dependiente de la llave principal y cada tabla debe corresponder a una entidad.

Tercera forma normal.

Una tabla está en tercera forma normal si y solo si está en segunda forma normal y además todas las columnas no llaves son mutuamente independientes. El ejemplo más común de una columna dependiente es un campo calculado. Los campos calculados deben ser guardados en consultas en lugar de tablas. En la mayoría de los casos, además de necesario, también es suficiente la 3NF en las tablas.

1.9.5 Diseño de la base de datos.

Para la confección de la base de datos se analiza su modelación atendiendo su diseño conceptual, diseño lógico y físico.

En el **diseño conceptual** se representan las relaciones entre las distintas entidades que intervienen en la modelación del fenómeno en estudio. A su vez de cada entidad se describen sus atributos y los identificadores o llaves principales de

cada entidad, también se identifica el tipo de relación. A partir del DER se obtiene el **modelo lógico** global de los datos según el enfoque relacional. Para ello se representa cada entidad regular en una tabla relacional con sus correspondientes atributos, las llaves de las entidades, y las tablas que surgen de las relaciones mucho a mucho. Este modelo es desarrollado en el Capítulo 2. El esquema siguiente muestra la arquitectura general de un sistema gestor de Base de Datos (SGBD).

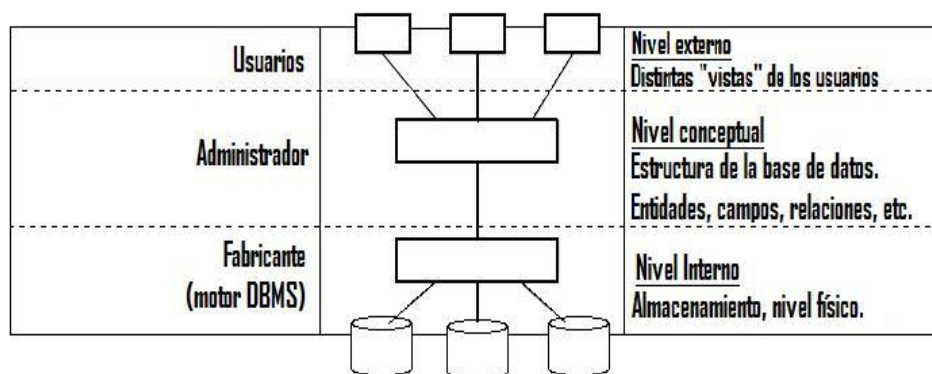


Figura 1.4 Arquitectura de los SGBD [20].

En resumen la metodología para el diseño de la base de datos, consta de los siguientes pasos:

1. Determinación de entidades y atributos
2. Normalización de entidades
3. Determinación de relaciones (DER)
4. Obtención del modelo lógico global de los datos
5. Determinación del SGBD
6. Diseño físico de la BD

Cuando se va a realizar el diseño de la base de datos para un sistema determinado, se toman en cuenta los datos que son necesarios y las dependencias funcionales existentes entre ellos. Rigurosamente, esto se obtiene luego de realizada la etapa de análisis del sistema y partiendo de lo obtenido en ésta [3].

1.10. Conclusiones parciales

1. El resultado tangible del análisis del basamento teórico escrito en el presente capítulo influyó en gran medida para conocer profundamente el proceso tecnológico de la soldadura en general.
2. Se definió la forma en que se debe seleccionar los materiales de aporte en la soldadura del aluminio y sus aleaciones, partiendo del análisis de los datos suministrados por diferentes fabricantes, diferentes denominaciones y equivalencias, tomando en cuenta las características metalúrgicas, propiedades mecánicas y su tratamiento mecánico.
3. Se aplicó la metodología del desarrollo de sistemas de información para desarrollar la aplicación propuesta como tema de la maestría.

Se explicó la metodología para el desarrollo de las bases de datos del modelo relacional, para manipular los datos que se necesitan al momento de seleccionar el material de aporte en el proceso tecnológico manual por arco eléctrico de la soldadura del aluminio y sus aleaciones.



2. METODOLOGIA PARA LA SELECCIÓN DE LOS MATERIALES DE APORTE

2.1 Características Tecnológicas.

El aluminio es un metal ligero con un peso específico de $2,7 \text{ g/cm}^3$ y una temperatura de fusión de 660°C . El aluminio puro tiene una conductibilidad térmica y eléctrica excelentes. En este aspecto ocupa el tercer lugar después de la plata y el cobre. Debido al hecho de tener el aluminio y sus aleaciones tan buena conductibilidad térmica y un calor latente de fusión tan elevado, su soldadura requiere un suministro considerable de calor.

El aluminio puro tiene una baja resistencia a la tracción $88\text{-}117 \text{ N/mm}^2$ ($9\text{-}12 \text{ kg/mm}^2$) en estado bruto, mientras que en estado de deformación en frío esta resistencia es algo mayor $147\text{-}245 \text{ N/mm}^2$ ($15\text{-}25 \text{ kg/mm}^2$), pero tiene también la ventaja de ser un material altamente dúctil. Sin embargo, la adición de elementos aleantes, y en ciertos casos, unido esto con la deformación en frío, dan lugar a aumentos de su resistencia mecánica, consiguiéndose en algunas aleaciones, después del tratamiento adecuado, resistencias a la tracción alrededor de 686 N/mm^2 70 kg/mm^2 .

El aluminio puede elaborarse con facilidad mediante la laminación y el estampado, tanto a alta como a baja temperatura, se suelda bien, se maquina satisfactoriamente, pero su fundición en ciertos casos presenta limitaciones.

El aluminio es un metal con un elevado potencial electronegativo, sin embargo, independientemente de este hecho posee una elevada resistencia a la acción del agua, a la mayoría de las soluciones neutras y a muchas soluciones ácidas débiles, así como también al efecto atmosférico debido a su pasividad.

Cuando se requiere la más alta resistencia a la corrosión se deben emplear los aluminios de mayor pureza, sin embargo sus aleaciones tienen mayores propiedades mecánicas pero con menos resistencia a la corrosión. Esto es particularmente aplicado a las aleaciones de aluminio con Cu, en un menor grado a las aleaciones con silicio y menos aún a las aleaciones con Zn, Mg y Mn.

El aluminio se oxida rápidamente formando una película de óxido refractario (Al_2O_3), el cual tiene una temperatura de fusión de $2\ 060^\circ\text{C}$ y un peso específico de 3,9, siendo los valores de ambos parámetros más altos que los del aluminio

puro. Esta película protege al metal de una posterior oxidación, pero durante su soldadura ésta puede persistir en el metal fundido como inclusiones dispersas.

Para obtener una soldadura de calidad es fundamental eliminar el máximo de Al_2O_3 que sea posible del baño de soldadura.

Los cloruros y otros halógenos son capaces de destruir la película protectora sobre el aluminio, por tal motivo no son estables en presencia de ClH.

Los fabricantes, distribuidores y normas internacionales describen el uso de los materiales de aporte para la soldadura del aluminio y sus aleaciones, en función de la composición química y el destino de servicio. La búsqueda del material de aporte adecuado para soldar las piezas, puede consumir un tiempo determinado si se consultan los materiales de aporte elaborados por diferentes fabricantes y se corre el riesgo de no seleccionarlo correctamente [41].

Diseñar una base de datos para la selección automatizada de los materiales de aporte es la primera tarea que se desarrolla.

2.2. Recomendaciones tecnológicas para la soldadura del aluminio y sus aleaciones mediante el proceso de soldadura manual por arco eléctrico.

1. Preparación del trabajo

En la preparación del trabajo se deben tener en cuenta tres aspectos:

a. Preparación de los bordes.

Los bordes se preparan de acuerdo a las Normas Venezolanas.

b. Limpieza superficial.

La limpieza se realiza con el objetivo eliminar posibles elementos nocivos en la soldadura.

c. Colocación relativa de las piezas.

Se debe garantizar la planicidad de las piezas.

2. Soldadura.

a. Selección del material de aporte. Se debe seleccionar un electrodo que garantice una composición química en el material depositado similar a la del material base.

b. Precalentamiento.

c. Ejecución de cordones

Se debe tener en cuenta:

- Tipo de corriente a emplear.
- El diámetro del electrodo.
- La velocidad de soldadura.
- Régimen de soldadura. (intensidad, tensión)

3. Acabado.

- Tratamiento después de la soldadura.
- Tratamiento térmico.
- Control de la calidad. [3,41]

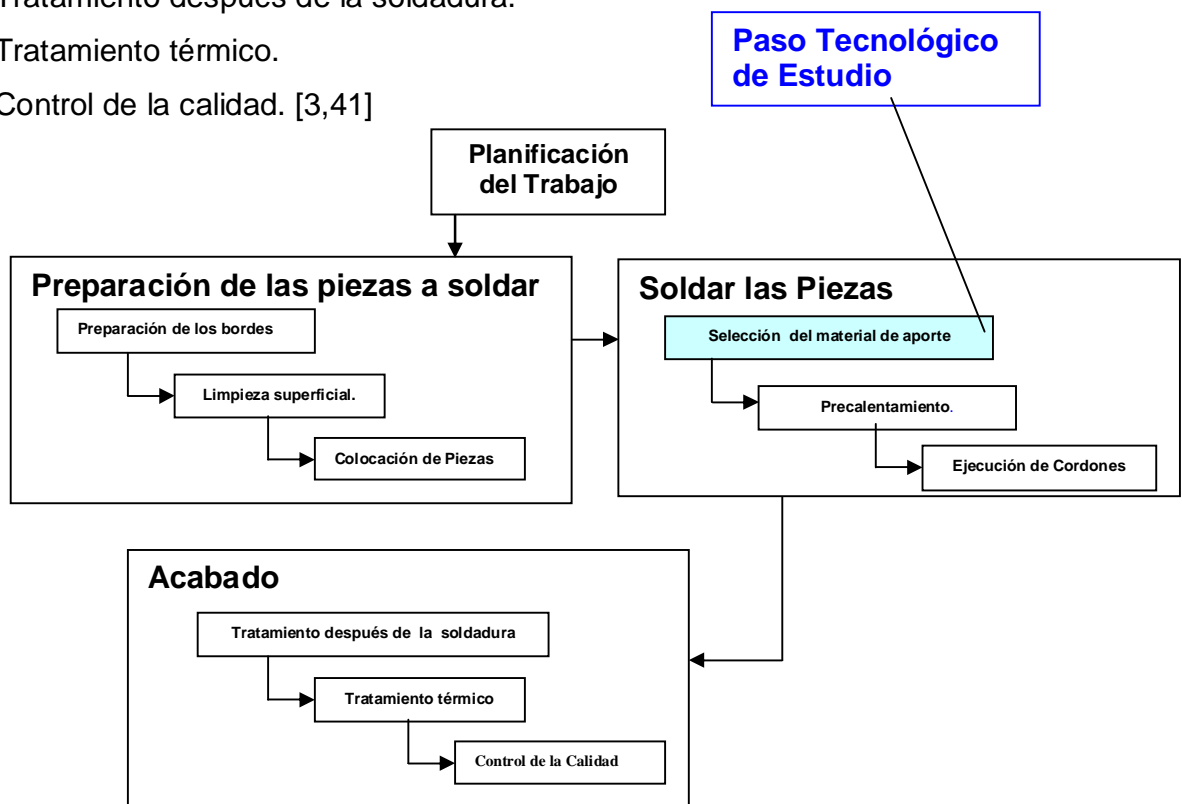


Figura 2.1 Esquema de la tecnología para la soldadura del aluminio.

2.3. Metodología para la selección de materiales de aporte.

Teniendo en consideración los aspectos tratados en el primer capítulo y las recomendaciones tecnológicos, para seleccionar los materiales de aporte se hace necesario valorar los siguientes elementos:

1. Tipo de material base (determinar la serie a que pertenece)
2. Norma de clasificación y Equivalencias (designación)
3. Composición química, características y tratamientos mecánicos del material base.
4. Procedimiento para seleccionar el material de aporte.
5. Resultado de la selección del material de aporte.

El esquema de la metodología se muestra en la siguiente **Figura 2.2**.

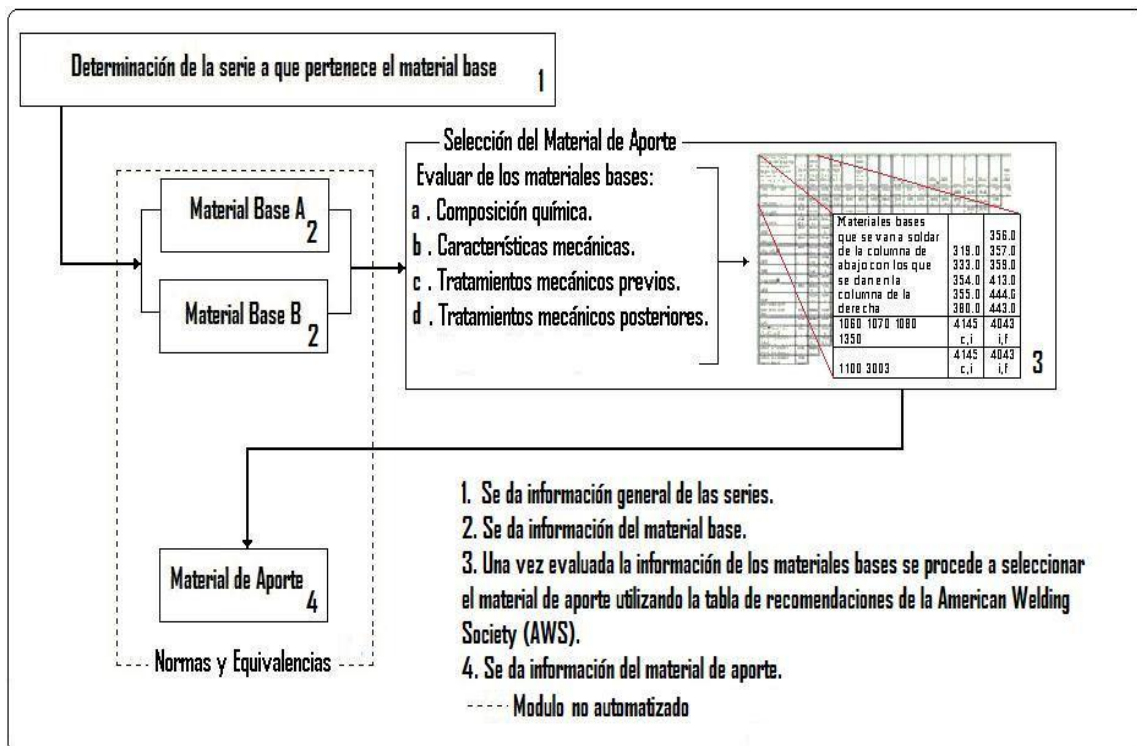


Figura 2.2 Esquema de la Metodología

2.3.1. Tipo de metal base

Existen alrededor una gran variedad de aluminios y sus aleaciones. Su resistencia a la corrosión, propiedades mecánicas y costo varían en un rango muy amplio y por esta razón es importante especificar los más necesarios a utilizar.

2.3.2 Norma de clasificación. Equivalencias

Existen una gran variedad de normas y países que fabrican los aluminios y sus aleaciones. Las diferentes normas existentes son: Denominación europea (C.E.N.), DIN, AFNOR. etc. Estas se muestran a continuación.

U.E. (Unión Europea)

La denominación Europea (C.E.N.) tiene una denominación numérica basada en las normas A.A. (Aluminium Association) pero anteponiendo las letras EN.AW a cuatro dígitos. Ejemplo: 1050 A (A.A) = EN.AW - 1050 A y una denominación alfanumérica con los símbolos químicos de los metales de aportación según normas I.S.O. Ejemplo: 1050 A = EN.AW 99,5.

R.F. DE ALEMANIA: NORMAS D.I.N. (DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG)

En la R.F. de Alemania la denominación de las aleaciones de forja (D.I.N. 1712 - 1725) se basa en una nomenclatura alfanumérica, es decir, que tiene una parte que describe los metales de la aleación y su contenido, otra parte numérica compuesta por cinco dígitos, iniciando siempre por el nº 3 seguido de cuatro cifras. Ejemplo: 1050 = Al 99,5 3.0255

Francia: Normas AFNOR - NF - STANDARD (NORME FRANÇAISE)

Se basan en los símbolos de la composición química cuyos dígitos son:

Aluminio	Al	A	(tomando la 1ª letra de su símbolo químico)
Silicio	Si	S	(tomando la 1ª letra de su símbolo químico)
Cobre	Cu	U	(tomando la 2ª letra de su símbolo químico)
Manganeso	Mn	M	(tomando la 1ª letra de su símbolo químico)
Cromo	Cr	C	(tomando la 1ª letra de su símbolo químico)
Titanio	Ti	T	(tomando la 1ª letra de su símbolo químico)
Plomo	Pb	Pb	
Magnesio	Mg	G	(tomando la 2ª letra de su símbolo químico)
Zinc	Zn	Z	(tomando la 1ª letra de su símbolo químico)

Poniendo detrás de la letra el contenido (%) nominal del metal que tiene la aleación, siempre que éste sea superior a la unidad. Ejemplo: AU4G = Al 4% Cu Mg [5, 10].

2.3.3. Composición química del material base

En casi todas las aplicaciones estructurales en las que se utiliza el aluminio serán las propiedades de resistencia al agrietamiento, ductilidad, etc. las que se deben tener en cuenta. En la **Tabla 2.1**, se muestra la composición química de algunas.

2.4. Selección del material de aporte.

El principio de selección del material de aporte debe ser tal que garantice una composición química aproximadamente igual a la del material base, sin embargo existen otros casos particulares que se apartan de este principio general. Se disponen de muchas aleaciones de aluminio como materiales de aporte. A continuación se dan los datos de la norma AWS. En la Figura 2.2 se aprecia el Árbol de las aleaciones de aluminio usadas como material de aporte.

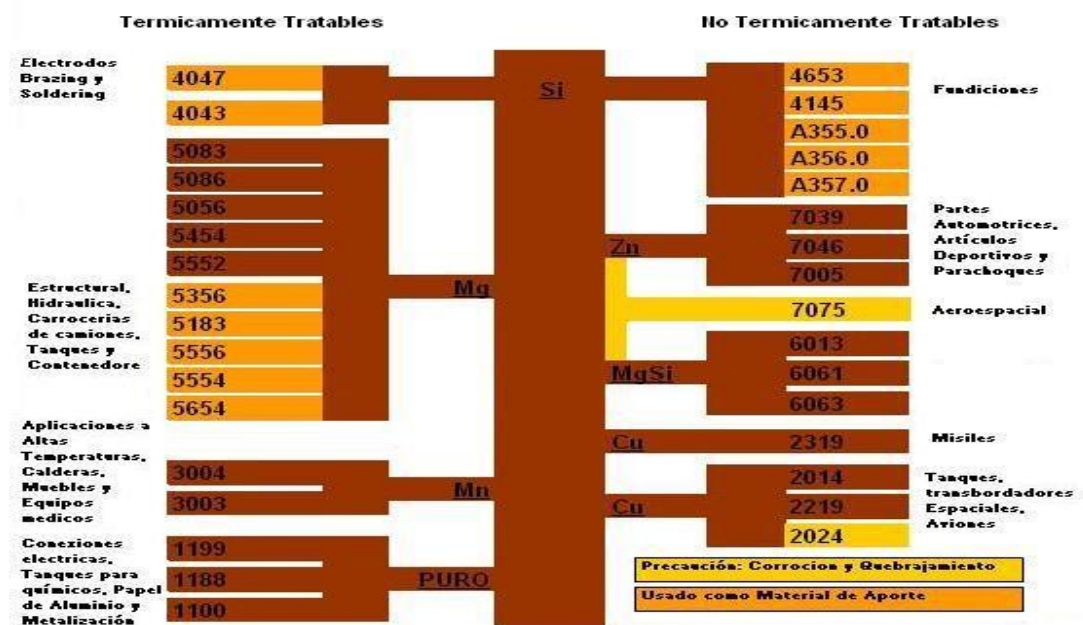


Figura 2.3 Árbol de las aleaciones de Aluminio usadas Como material de Aporte

Tabla 2.1 Propiedades químicas de algunas aleaciones de aluminio [19]

Normas EN AW	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti	Pb	Cr		Otros	Al
1050 A	0,25	0,4	0,05	0,05	0,05	0,07	0,05				0,03	99,5
1060	0,25	0,35	0,05	0,03	0,03	0,05	0,03				0,03	99,6
1080 A	0,15	0,15	0,03	0,02	0,02	0,06	0,03		Ga 0,03	V 0,05	0,02	99,8
1100	0,95 Si+Fe		0,05-0,20	0,05		0,1					0,05	99
1200	1,0 Si+Fe		0,05	0,05		0,1	0,05				0,15	99
1350 A	0,25	0,4	0,02	0,05		0,05				0,03Cr + Mn + Ti + V	0,03	99,5
* 2007	0,8	0,8	3,30-4,60	0,50-1,00	0,40-1,80	0,8	0,2	0,80-1,50		Bi 0,20	0,3	Resto
2011	0,4	0,7	5,00-6,00	0,05	0,05	0,3	Ni0,05	0,20-0,40		Bi 0,20-0,60	0,15	"
2014	0,50-1,20	0,7	3,90-5,00	0,40-1,20	0,20-0,80	0,25	0,15		0,1		0,15	"
2018	0,50-0,90	0,5	3,90-5,00	0,40-1,20	0,40-0,80	0,25	0,15		Bi 0,2-0,6	0,20 Zr + Ti	0,15	"
2017 A	0,20-0,80	0,7	3,50-4,50	0,40-1,00	0,40-1,00	0,25			0,1	0,25 Zr + Ti	0,15	"
2024	0,5	0,5	3,80-4,90	0,30-0,90	1,20-1,80	0,25	0,15		0,1	0,25 Zr + Ti	0,15	"
2618 A	0,15-0,25	0,90-1,40	1,80-2,70	0,25	0,40-0,80	0,15	0,2	Ni (0,8-1,4)	0,1	0,25 Zr + Ti	0,15	"
* 2030	0,8	0,7	3,30-4,50	0,20-1,00	0,50-1,30	0,5	0,2	0,80-1,50	0,1	Bi 0,20	0,15	"
3003	0,6	0,7	0,05-0,20	1,00-1,50		0,1	+Zr 0,20		0,1		0,15	"
3004	0,3	0,7	0,25	1,00-1,50	0,80-1,30	0,25					0,15	"
3103	0,5	0,7	0,1	0,90-1,50	0,3	0,2	0,10Zr + Ti				0,15	"
3104	0,6	0,8	0,05-0,25	0,8-1,4	0,80-1,30	0,25	0,1			0,05	15	"
3005	0,6	0,7	0,3	1,0-1,5	0,2-0,6	0,25	0,1		0,1	0,05 V	0,15	"
3105	0,6	0,7	0,3	0,30-0,80	0,20-0,80	0,4	0,1		0,2		0,15	"
5005	0,3	0,45	0,05	0,15	0,70-1,10	0,2			0,1		0,15	"
5050	0,4	0,7	0,2	0,1	1,10-1,80	0,25	0,15		0,1		0,15	"
5052	0,25	0,4	0,1	0,1	2,20-2,80	0,1	0,2		0,15-0,35		0,15	"
5019	0,4	0,5	0,1	0,10-0,60	4,50-5,60	0,2			0,2	0,10-0,6Mn + Cr	0,15	"
5083	0,4	0,4	0,1	0,40-1,00	4,00-4,90	0,25	+Zr 0,20		0,05-0,25		0,15	"
5086	0,4	0,5	0,1	0,20-0,70	3,50-4,50	0,25	0,10 - 0,20Zr		0,05-0,26		0,15	"
5154 A	0,5	0,5	0,1	0,5	3,10-3,90	0,2	+Zr 0,20			0,10-0,50Mn + Cr	0,15	"
5251	0,4	0,5	0,15	0,10-0,50	1,70-2,40	0,15	0,15		0,15		0,15	"
5454	0,25	0,4	0,1	0,50-1,00	2,40-3,60	0,25	0,2		0,05-0,20		0,15	"
5754	0,4	0,4	0,1	0,5	2,60-3,60	0,15	0,15		0,3	0,1-0,6Mn+Cr	0,15	"
* 6012	0,60-1,40	0,5	0,1	0,40-1,00	0,60-1,20	0,3	0,3	0,40-2,0	0,3	Bi 0,7	0,15	"
6026	0,60-1,40	0,7	0,20-0,50	0,20-1,00	0,60-1,20	0,3	0,2	0,4	0,3	Bi 0,5-1,5		Resto
6060	0,30-0,60	0,10-0,30	0,1	0,1	0,35-0,60	0,15	0,1		0,05		0,15	"
6061	0,40-0,80	0,7	0,15-0,40	0,15	0,80-1,20	0,25	0,15		0,04-0,35		0,15	"
6063	0,20-0,60	0,35	0,1	0,1	0,45-0,90	0,1	0,1		0,1		0,15	"
6082	0,70-1,30	0,5	0,1	0,40-1,00	0,60-1,20	0,2	0,1		0,25		0,1	"
6101	0,30-0,70	0,5	0,1	0,03	0,35-0,80	0,1	-				0,15	"
6106	0,30-0,60	0,35	0,25	0,05-0,20	0,40-0,8	0,2	0,1		0,2		0,15	"
6181	0,80-1,20	0,45	0,1	0,15	0,60-1,00	0,2			0,04-0,14	Bi 0,4-0,7	0,15	"
* 6262	0,40-0,80	0,7	0,15-0,40	0,15	0,80-1,20	0,25		0,40-0,70	0,04-0,14	Bi 0,40-0,7	0,15	"
6351 A	0,70-1,30	0,5	0,1	0,40-0,80	0,40-0,80	0,2	0,2				0,15	"
7003	0,3	0,35	0,2	0,3	0,50-1,00	5,00-6,50	0,2	Zr 0,05-0,25	0,2		0,15	"
7020	0,35	0,4	0,2	0,05-0,50	1,00-1,40	4,00-5,00	-Zr0, 0,09-0,25		0,10-0,30	Ga 0,08-0,2	0,15	"
7022		0,5	0,50-1,00	0,10-0,40	2,60-3,70	4,30-5,20	+Zr 0,20		0,10-0,30		0,15	"
7049 A		0,5	1,20-1,90	0,5	2,10-3,10	7,20-8,40		+Zr 0,25	0,05-0,25		0,15	"

2.4.1. Materiales de aporte según normas EUA (AWS)

Los materiales de aporte usados más frecuentemente para la soldadura del aluminio son aleados con una amplia variedad de elementos; los más comúnmente utilizados son: Mg, Mg + Mn y Si. Como se muestra en la Tabla 2.2, por ejemplo, el contenido de silicio de la aleación 4043 es aproximadamente 5%. El contenido de Mg puede alcanzar del 4,3 al 5,2 % como sucede en las aleaciones 5183 y 5556, con 0,5 a 1% de Mn. Dentro de las más empleadas también se encuentran las aleaciones 1100, 4043, 5183, 5356, y 5556. Igualmente se encuentran disponibles las 1260 y la 5554. Cuando se requiere alta resistencia mecánica en la unión soldada puede hacerse uso de los materiales de aporte altamente aleados con Mg, tales aleaciones son la 5183 desarrollada fundamentalmente para el material 5083 y la 5556 desarrollada para el 5456. Ambos materiales son aleaciones soldables de alta resistencia mecánica. El material de aporte 5356 produce uniones de elevada resistencia mecánica y de buena ductilidad, por lo cual se emplea frecuentemente.

En la Tabla 2.2, se brinda la composición química de los materiales de aporte en la soldadura del aluminio y sus aleaciones.

Tabla 2.2 Composición química de los materiales de aporte [41].

[illegible]

El material de aporte 5554 se emplea preferentemente para aplicaciones con servicio a altas temperaturas. Las aleaciones con altos contenidos de Mg no son generalmente recomendados para estas aplicaciones.

El material de aporte 4043, que contiene 5% de Si, se ha empleado con gran popularidad, sin embargo, al desarrollarse las aleaciones con altos contenidos de Mg su empleo ya no es de uso general. Las aleaciones 4043 pueden utilizar cuando se sueldan las aleaciones de las series 3000 y 6000; así como, algunas otras aleaciones con composiciones bajas en Mg, pero no es recomendable su empleo para la soldadura de las aleaciones con contenidos más elevados de Mg, tales como: las aleaciones 5083, 5086 y 5456. El material de aporte 4043 es utilizado frecuentemente en la soldadura de las aleaciones fundidas de aluminio, tales como: 43, 355 y 356. La aleación 4043 tiene la ventaja de poseer una temperatura de fusión y solidificación menor que la de los materiales base en los cuales se emplea. Por esta razón permanece plástica después de que el material base se ha enfriado, y las tensiones de contracción que pudieran causar roturas son liberadas por la plasticidad del material de aporte.

El material de aporte 1100 (99,0 % Al) suministra una ductilidad excelente y una resistencia a la corrosión elevada, pero no provee suficiente resistencia mecánica para la mayoría de las aplicaciones. Los materiales de aporte comúnmente empleados en la soldadura de diversas aleaciones de aluminio por su resistencia a la fisuración en caliente, y que son extensamente recomendados para la soldadura de aleaciones de aluminio tratables y no tratables térmicamente, son el 4043 (Al-5Si) y el 5356 (Al-5Mg) [50]. Una creencia errónea es que se puede soldar exitosamente, todas las aleaciones de aluminio con ambos tipos de aporte, pues la mayoría de las recomendaciones para la soldadura de las aleaciones de aluminio las indican como apropiadas. Sin embargo, hay diferencias significativas en las características de las uniones soldadas con ambos aportes, debido a que el 4043 contiene 5 % de Si y el 5356 contiene 5 % de Mg.

En la Tabla 2.3, las propiedades mecánicas y el campo de aplicación de éstas. En la Tabla 2.4 se dan las recomendaciones de los metales de aporte para la soldadura de algunas uniones soldadas de aluminio de igual o de diferente composición química según AWS.

2.5. Conservación de los materiales de aporte.

Tanto los electrodos como los alambres deben mantenerse con sus superficies limpias y secas, si se desean obtener uniones soldadas de calidad. Todo el material de aporte debe encontrarse empaquetado para prevenir de esta forma su contaminación durante el almacenamiento. Cualquier materia extraña presente en el material de aporte, durante su almacenamiento o empleo, tales como; aceite, humedad u óxido hidratado, son usualmente responsables de la porosidad y baja calidad de las uniones soldadas, debido a la liberación del hidrógeno que origina durante la soldadura.

Se debe insistir, que para obtener soldaduras de aluminio de buenas características es indispensable seleccionar apropiadamente el material de aporte de alta calidad y en óptimas condiciones. El material de aporte, así como el material base deben estar limpios y secos en el momento de soldar. Los electrodos para soldar deben almacenarse en un lugar seco. Antes de usarlos ellos deben secarse a una temperatura de 260-370 °C aproximadamente durante media hora, para liberarlos de humedad. El almacenaje en hornos o cabinas a 90-120°C ayuda a obtener uniones soldadas libres de poros y, por lo tanto, de mejor calidad. Todo el material de aporte debe ser almacenado en un lugar seco y mantenerse cubierto. Los carretes de alambre dejados temporalmente sin uso en la máquina de soldar, deben ser protegidos y guardados cuidadosamente en sus cajas. Para la selección de los materiales de aporte en la soldadura del aluminio y sus aleaciones es necesario conocer aunque sea de manera aproximada el tipo de aleación.

Tabla 2.3 propiedades mecánicas y algunas aplicación de los materiales de aporte [41].

Norma Fabricante	Tipo (marca) Electrodo	Equivalenci a	Propiedades mecánicas				Aplicaciones
			Resistencia Tracción kp/mm2 N/mm2	Límite Elasticidad kp/mm2 N/mm2	Elongación (%)	Dureza Brinell (HB)	
AWS ¹	1100						
	1260						
	2319						
	4043						
	4047						
	4145						
	5039						
	5183						
	5356						
	5554						
	5556						
	5654 ²						
	RC4A ³						
	R-CN42A ³						
	R-SC51A ³						
	R-SG70A ³						
UTP	UTP-48	DIN: S-AISI12	20-24 (200-235)	08/10/2008 (80-100)		~ 60	Electrodo con revestimiento especial que utiliza CDPI y no es higroscópico. Se aplica en uniones y revestimientos de piezas forjadas y fundidas de los tipos Al-Si, Al-Mg-Si, Al-Mg-Si-Cu y en espesores ≥ 2 mm.
	UTP-47	-	(80-100)		25		Se utiliza para soldar y recubrir aluminio puro y trabaja con CA y CDPI.
	UTP-49	DIN: S-Al Mn	(150-200)		25	~ 60	Se utiliza para soldar aleaciones de aluminio de los tipos Al-Mn y Al-Mg hasta con 3 % de Mg. Se emplea con CA y CDPI y es resistente al agua de mar.
SOUDO METAL	SOUDALOY Al 100	AWS: E1100	-70	-30	25		Se emplea para soldar aluminio puro en planchas y fundiciones, en recipientes, etc. Utiliza CA y CDPI. Se deben secar a 110 °C durante 2h.
	SOUDALU Mn 2	AWS: E3003	-150	-80	10		Se emplea para soldar aleaciones de aluminio del tipo Al-Mn, Al-Mg y Al-Mn-Mg. Utiliza CA y CDPN. Se deben secar a 110 °C durante 2h.
	SOUDALU Si 5	AWS: E4043	-120	-30	15		Se emplea para soldar aluminio puro y aleaciones del tipo Al-Si, y Al-Si-Mg. Utiliza CA y CDPN. Se deben secar a 110 °C durante 2h.
	SOUDALU Si 12		-180	-30	5		Se emplea para soldar aleaciones Al-Si incluyendo aquellos que contengan Mg y/o sin cobre. Utiliza CA y CDPN. Se deben secar a 110 °C durante 2h.
ESAB	OK Selectrode 96.10	AWS: E1100	(60-80)	(25-30)			Se utiliza para soldar el aluminio comercialmente puro.
	Ok Selectrode 96.20		-100	-30			Se utiliza para soldar aleaciones laminadas que no son tratadas térmicamente. Se emplean en aleaciones que contienen Mn. Se utiliza en todas las posiciones con CDPN.
AGA	AGA X 54	AWS: EAl- 4043	16				Se emplea para piezas fundidas y laminadas de aluminio para espesores mayores de 3 mm en la industria química, alimenticia, aviación, etc. Se utiliza en todas las posiciones con CDPN.

Notas:

- Los valores dados son los máximos, excepto el caso del contenido de aluminio del 1100 y 1260.
- El metal de aporte 5654 sustituye el 5154, 5254 y 5652.
- Para la reparación de fundiciones.
- Si el contenido de hierro sobrepasa el valor de 0.45 %, el contenido de manganeso debe ser igual a la mitad de contenido de hierro.

Tabla 2.4. Recomendaciones de los materiales de aporte para la soldadura de aluminio según AWS [7, 30, 41].

[illegible]

2.6. Análisis de la información dentro del proceso de Selección del Material de Aporte.

Seleccionar un material de aporte utilizando la tabla 2.4 parece un proceso muy sencillo, ya que la intersección de una fila con una columna nos da el resultado, ejemplo, si se quiere soldar el material Base denominado 3004 con el material base denominado 5454 da como resultado el material de aporte denominado 5654, pero este criterio no es suficiente para que un tecnólogo tome la decisión de efectuar el soldeo de los materiales; como se explicó en la sección 2.3 es necesario tener en cuenta todos los criterios del proceso tecnológico de la soldadura. Es así, que un proceso que parece muy sencillo se convierta en un proceso muy complejo que no permite realizar las tareas de forma rápida, eficiente y con calidad. Estos son los casos donde interviene el análisis de sistemas para automatizar el proceso en busca de solucionar dicha problemática.

2.6.1. Análisis de la información

En la primera columna de la tabla 2.4, se pueden apreciar 49 aleaciones diferentes de aluminio, en este caso se tomará como el Material Base, en la primera fila también se aprecian los mismos materiales bases, esta información básica contenida en la tabla presenta redundancia; si se hace una extrapolación de los elementos a soldar (Materiales Bases), podemos obtener 2401 combinaciones, el resultado de cada una de estas combinaciones también es información redundante y repetitiva, otra característica que podemos observar en la tabla es que algunos materiales bases, ocupan posiciones iguales siendo aleaciones distintas, es posible que por características de su composición química ocupen esta posición, con excepciones, sin embargo en esta tabla no se aprecia esta característica, así como tampoco se aprecia a que serie pertenece el material base, sus características mecánicas y tratamiento térmico, aspectos que deben ser considerado para el proceso de soldeo.

Del análisis del contexto de la información se desprende que tenemos que guardar la información referente a los materiales bases, a los materiales de aporte y a las series de las aleaciones del aluminio; de manera tal que eliminemos la

redundancia al mínimo, garanticemos su integridad y permitamos que los datos sean manipulados de una forma sencilla por el tecnólogo.

2.6.2. Consecuencia del Análisis de la Información

En respuesta a la problemática de manejo de datos presentada en el aparte anterior, se debe integrar la información referente al material base en una sola tabla que contenga las referencias de la serie a que pertenece, su denominación, sus características metalúrgicas o químicas, mecánicas y de tratamiento térmico; al igual se hace con el material de aporte, la información de las series se integra en una sola tabla. Estas tablas deben relacionarse de manera tal que al manipular los datos contenidos puedan dar respuesta a un tecnólogo al momento de utilizarlas, sin embargo una vez atomizada la información el proceso de selección se resume al manejo de la tabla 2.4, pero el tecnólogo puede manejar de una forma más acertada la información.

Ahora tomando el criterio de manejar la información contenida en la tabla 2.4, como si fuera una matriz y se toma en cuenta sólo la posición del material base en la tabla, la extrapolación se reduce a 324 combinaciones factibles, lo que reduce la redundancia de la información, esto se logra con crear una tabla de posición y para relacionar las tablas debemos articular un mecanismo que con la ayuda de herramientas computacionales se puedan relacionar.

Manejar los datos contenidos en las tablas se reduce a manipular posiciones en las tablas, de esta forma podemos integrar las posiciones de los materiales bases, materiales de aporte y series y articular una tabla donde sólo manejemos posiciones sin datos de manera que esta referencia le indique al tecnólogo una guía que le permita ver la información integrada a un código compuesto por la posición de la serie, posición de los materiales base a soldar y la posición del material de aporte asociado que sería la respuesta a la problemática.

Desde este punto de vista se puede diseñar un diagrama lógico que garantice el diseño de una base de datos donde se almacene y se pueda manipular la data requerida en el proceso de selección del material de aporte en la soldadura manual por arco eléctrico del aluminio y sus aleaciones con herramientas computacionales. Para ello se cuenta con los sistemas gestores de bases de

datos (SGBD), que están basados en el lenguaje de consulta Structured Query Language (SQL), en el aparte número 2.8 se dará un extracto de este lenguaje.

2.7 Descripción del modelo de datos del sistema

El siguiente modelo conceptual, corresponde al análisis de los elementos que se seleccionaron para conformar la base de datos del sistema. Para ello se tomaron en cuenta aquellos elementos y atributos principales que intervienen en el proceso de automatización de la selección de los materiales de aporte, en el caso particular del aluminio.

En la siguiente figura se representa el diagrama conceptual asociado al problema de la selección de los materiales de aporte para la soldadura por arco eléctrico del aluminio.

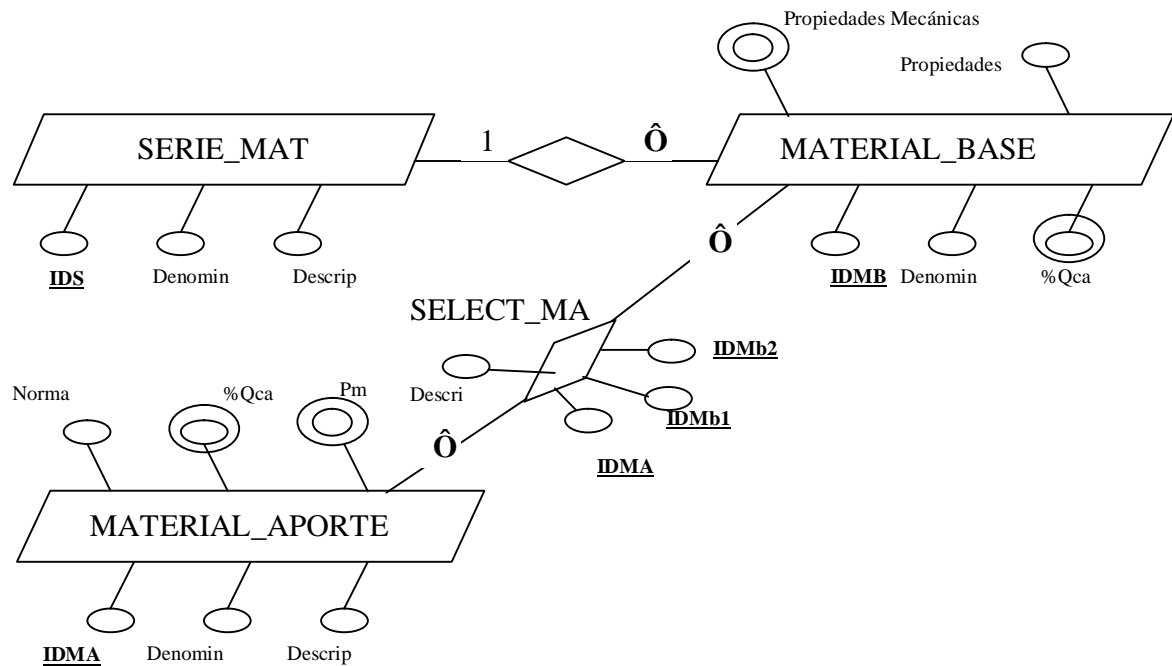


Figura 2.4 Diagrama conceptual asociado al problema de estudio.

2.7.1 Transformación del modelo conceptual en un conjunto de esquemas de relaciones.

Aplicando las reglas de transformación y normalización al modelo conceptual, en nuestro esquema relacional, se forman 5 tablas con sus atributos

correspondientes, donde se garantiza la 3NF y las mismas se relacionan a continuación:

Series (IdSerie, Serie, Descripción),

MatBase (IdMatBase, IdSerie, IdPosición, Denominación, [ComposiciónQca], [PropiedadesMecánicas] [TratamientoMecánico]),

Posición (IdPosición),

SelecciónMatAporte (IdPosiciónA, IdPosiciónB, IdMatAporte),

MatAporte (IdMatAporte, IdPosición, Denominación, [ComposiciónQca], [PropiedadesMecánicas] [TratamientoMecánico]),

2.8. Lenguaje de Consulta (SQL)

En la gestión de datos, es necesario utilizar un lenguaje que sea fácil, sencillo en manejo y rápido. El SQL nos ofrece ampliamente dichas opciones mediante consultas generales bajo determinados parámetros que nosotros le especificamos. Es en realidad un selector de datos, que conecta con la base de datos que le indicamos y se mueve uno a uno por todos los registros de la base filtrando y analizando los datos para encontrar lo que nosotros le especificamos [4].

Sentencias SQL empleadas.

Cuando se habla de tipos de SQL, en realidad se habla de soporte de instrucciones. El SQL es un lenguaje estructurado en instrucciones, que cumplen determinadas funciones dentro del propio lenguaje. El motivo de que estén o no soportadas algunas de esas instrucciones, depende del tipo de gestor de SQL, que tengamos o que vayamos a usar.

Las siguientes sentencias SQL, son referidas a la búsqueda de la información asociada a los materiales bases seleccionados.

```
SELECT MatBase.[Si max], MatBase.[Si min], MatBase.Fe, MatBase.[Si + Fe], MatBase.[Cu max],
MatBase.[Cu min], MatBase.[Mn max], MatBase.[Mn min], MatBase.[Zn max], MatBase.[Zn min],
MatBase.[Ti max], MatBase.[Ti min], MatBase.[Cr max], MatBase.[Cr min], MatBase.[Mg max],
MatBase.[Mg min], MatBase.[Ni max], MatBase.[Ni min], MatBase.Otros, MatBase.Al,
MatBase.IdMatBaseA
```

```
FROM MatBase
```

```
WHERE (((MatBase.IdMatBaseA)=[Forms]![frmSeleccionMaterialDeAporte]![ComboMatA]));
```

En esta consulta se aprecia como el filtrado estará en correspondencia con el valor que contenga el control **ComboMatA**, asociado a los materiales de aporte seleccionados. Para este caso se hace coincidir los identificadores. El ejemplo siguiente muestra el empleo de otras sentencias empleadas.

```
SELECT DISTINCTROW MatAporte.DenominacionMatAporte, SeleccionMatAporte.IdMatAporte,
MatAporte.[Si max], MatAporte.[Si min], MatAporte.Fe, MatAporte.[Si + Fe], MatAporte.[Cb max],
MatAporte.[Cb min], MatAporte.[Mn max], MatAporte.[Mn min], MatAporte.[Zn max], MatAporte.[Zn
min], MatAporte.[Ti max], MatAporte.[Ti min], MatAporte.[Cr max], MatAporte.[Cr min],
MatAporte.[Mg max], MatAporte.[Mg min], MatAporte.[Ni max], MatAporte.[Ni min], MatAporte.Al
FROM      MatAporte      INNER JOIN      SeleccionMatAporte      ON
MatAporte.IdMatAporte=SeleccionMatAporte.IdMatAporte
GROUP BY MatAporte.DenominacionMatAporte, SeleccionMatAporte.IdMatAporte, MatAporte.[Si
max], MatAporte.[Si min], MatAporte.Fe, MatAporte.[Si + Fe], MatAporte.[Cb max], MatAporte.[Cb
min], MatAporte.[Mn max], MatAporte.[Mn min], MatAporte.[Zn max], MatAporte.[Zn min],
MatAporte.[Ti max], MatAporte.[Ti min], MatAporte.[Cr max], MatAporte.[Cr min], MatAporte.[Mg
max], MatAporte.[Mg min], MatAporte.[Ni max], MatAporte.[Ni min], MatAporte.Al
HAVING
(((SeleccionMatAporte.IdMatAporte)=Forms!frmSeleccionMaterialDeAporte!ListaMatAporte));
```

Las palabras reservadas del lenguaje SQL aparecen sombreadas. Como el caso de SELECT DISTINCTROW que permite eliminar la repetición de los elementos filtrados.

2.9. Conclusiones.

1. Se pudo comprobar que La búsqueda del material de aporte adecuado para soldar las piezas en la soldadura de aluminio, puede consumir un tiempo determinado si se consultan estos en las diferentes tablas que presentan los fabricantes y que verdaderamente representa un riesgo al momento de seleccionarlo correctamente, ya que se deben analizar muchas características técnicas.
2. Se comprobó que es necesario utilizar un proceso metódico y lógico para seleccionar los materiales de aporte en la soldadura del aluminio y sus aleaciones.
3. Se pudo modelar la información que se maneja en el proceso tecnológico en mención, utilizando la herramienta del diagrama Entidad-Relación (DER).



PDF
Complete

*Your complimentary
use period has ended.
Thank you for using
PDF Complete.*

[Click Here to upgrade to
Unlimited Pages and Expanded Features](#)

4. Se diseñó a partir del DER el esquema de las entidades que conformarán la base de datos.

3. SISTEMA PARA LA SELECCIÓN DE MATERIALES DE APORTE.

3.1 Implementación del sistema para la selección de materiales de aporte en aleaciones de aluminio.

Partiendo de la metodología planteada en el capítulo anterior se creó un sistema para la selección automatizada de materiales de aporte en la soldadura del aluminio y sus aleaciones. Los factores considerados en la Figura 2.1 donde se esquematiza la metodología propuesta, permite la selección de varios materiales de aporte según la norma AWS (American Welding Society), en función de los materiales bases seleccionados para soldar.

Del esquema relacional analizado en el capítulo 2, se determinan todas las tablas así como cada uno de los campos asociados y aquellos campos llaves que garantizan la integridad referencial de los datos. La Figura 3.1 muestra algunas de las tablas creadas en el sistema gestor Access a partir de las relaciones establecidas.

MatAporte : Tabla

IdMatAporte	Denominacion	Si max	Si min	Fe	Si + Fe	Cb max	Cb min	Mn max	Mn min	Zn max
1	4145	10,7	9,3	0,8	0	4,7	3,3	0,15	0	0,2
2	4043	6	4,5	0,8	0	0,3	0	0,05	0	0,1
3	5356	0	0	0	0,5	0,1	0	0,2	0,05	0,1

SERIES : Tabla

IDSERIE	SERIE	DESCRIPTION
1	1000	- Aluminio con 99% de pureza.
2	2000	- Aleación de aluminio al cobre
3	3000	- Aleación de aluminio con manganeso.
4	4000	- Aleación de aluminio con silicio.
5	5000	- Aleación de aluminio con manganeso (Mn) o con magnesio (Mg)
6	6000	- Aleación de aluminio con silicio (Si) y magnesio (Mg).

SeleccionMatAporte : Tabla

IdposicionA	IdposicionB	IdMatAporte
0	0	5
0	1	4
0	2	1

Figura 3.1 Tablas del sistema de selección de material de aporte para el aluminio en el (SGDB) Microsoft Access.

El esquema que se presenta a continuación representa el diagrama Entidad . Relación, generado por el sistema gestor, el cual a su vez garantiza la integridad referencial y minimiza las redundancias en los datos.

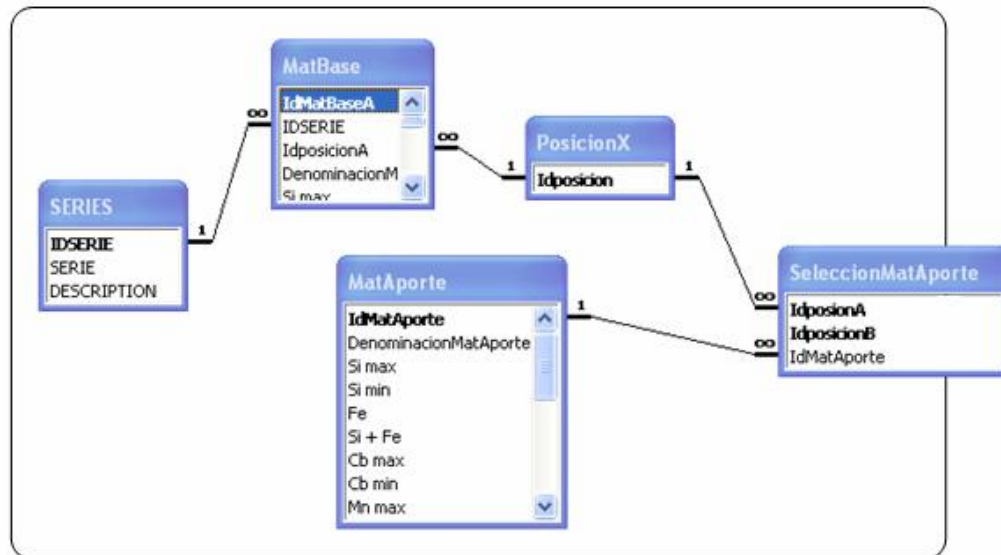


Figura3.2 Diagrama Entidad . Relación del sistema en Access.

3.2 Análisis del Sistema.

El análisis del sistema permite realizar una especificación conceptual de las necesidades del sistema, tanto de la perspectiva funcional como operacional.

3.2.1 Requerimientos Operacionales.

Los requerimientos operacionales permiten describir, una lista detallada de las condiciones que el sistema debe cumplir, pero que no están relacionadas directamente con su funcionalidad.

1. La integración del modelo debe estar sujeta a las características ofrecidas por el gestor de base de datos a utilizar.
2. La presentación de la interfaz debe estar adaptada al concepto usado por el usuario final, permitiendo estar dentro del contexto del ambiente del operario.

3. Las imágenes que permiten identificar los materiales son suministradas por los fabricantes.

3.2.2 Requerimientos Funcionales.

Dentro de los requerimientos funcionales se incluyen las acciones que podrán ser ejecutadas por el usuario, las ocultas que debe realizar el sistema, y las condiciones extremas a determinar por este. Los requerimientos funcionales permiten expresar una especificación más detallada de las responsabilidades del sistema que se propone. Ellos permiten determinar, de una manera clara, lo que debe hacer el mismo. [46]

- El sistema debe estar desarrollado bajo un entorno que le permite interactuar al usuario con el sistema en el mismo lugar donde ocurre el proceso tecnológico.
- El sistema por sus características debe permitir a los usuarios navegar por los módulos del mismo.
- El diseño de la Base de Datos debe garantizar el mantenimiento, de acuerdo a los avances tecnológicos, o sea debe permitir la inclusión de nuevos datos para tener actualizados los mismos.

3.3 Selección de materiales de aporte.

Para la selección de los materiales de aporte se parte primeramente de la elección de la serie y se escogen los materiales base que se desean soldar. En la Figura 3.1 se muestra un cuadro de diálogo donde se indica como podemos escoger el material base a partir de la serie a la cual pertenece, el mismo procedimiento aplica tanto para el material base A, como para el material base B.



Figura 3.1 Diálogo de selección para los materiales base a soldar según su serie.

Una vez que se ha escogido de acuerdo a sus denominaciones los materiales bases a soldar el sistema automáticamente despliega el valor que denomina el material base como se indica en la **Figura 3.2**.

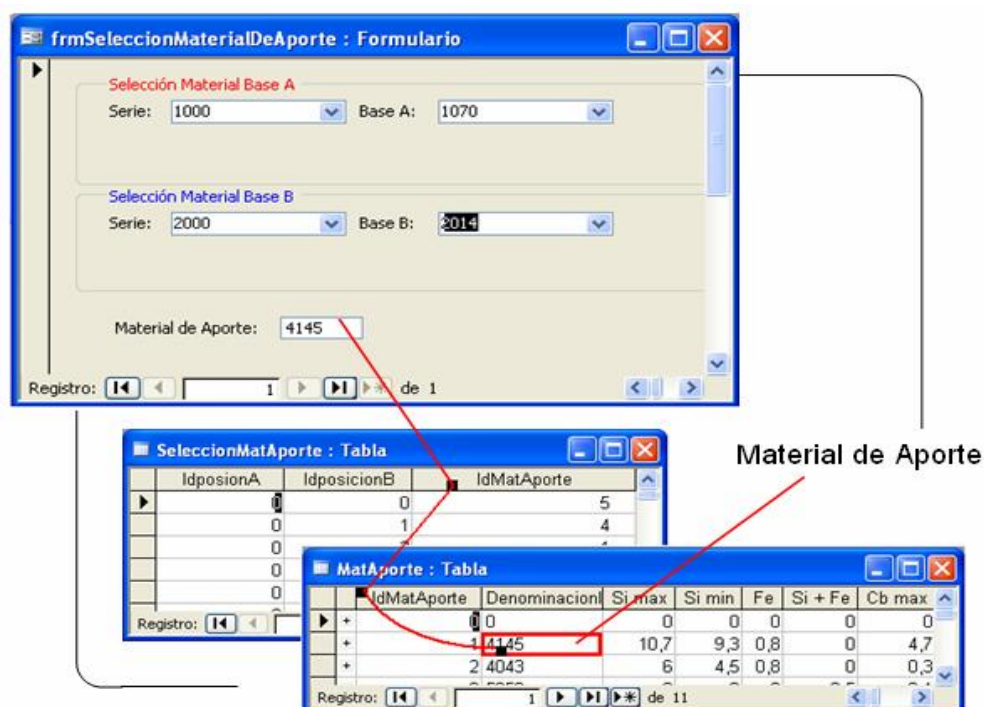
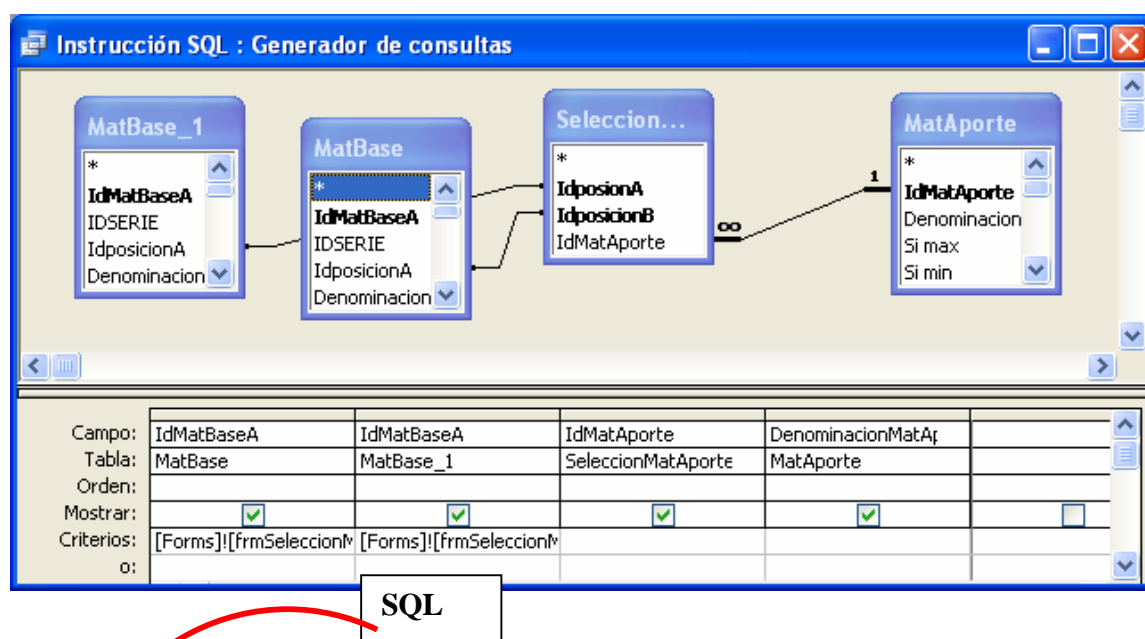


Figura 3.2 Selección de los materiales de aporte.

La selección de los materiales de aporte, es realizada mediante la consulta que genera el generador de consultas del SGBD Access, tomando las relaciones entre las tablas correspondientes. El uso de tales herramientas ahorra considerablemente el tiempo de implementación y simplifica la solución del problema, sin tener que elevar el costo de programación. La siguiente figura muestra la consulta obtenida por el generador.



```
SELECT MatBase.IdMatBaseA, MatBase_1.IdMatBaseA, SeleccionMatAporte.IdMatAporte,
MatAporte.DenominacionMatAporte
FROM MatAporte INNER JOIN (MatBase INNER JOIN (MatBase AS MatBase_1 INNER JOIN
SeleccionMatAporte ON MatBase_1.IdposicionA = SeleccionMatAporte.IdposicionA) ON
MatBase.IdposicionA = SeleccionMatAporte.IdposicionB) ON MatAporte.IdMatAporte =
SeleccionMatAporte.IdMatAporte
WHERE (((MatBase.IdMatBaseA)=[Forms]![frmSeleccionMaterialDeAporte]![ComboMatA]) AND
((MatBase_1.IdMatBaseA)=[Forms]![frmSeleccionMaterialDeAporte]![ComboMatB]));
```

Figura 3.3 Selección de los materiales de aporte mediante el generador de consultas de Microsoft Access.

Mediante el enfoque relacional el SGBD, logra garantizar la integridad referencial, evitando la redundancia de los datos, mediante el proceso de normalización. La Tabla 2.1 de selección mostrada en el capítulo 2, equivalía a 2401 combinaciones

posibles, sin embargo mediante el diseño propuesto se redujo la entrada de datos a 324 tuplas. A su vez el diseño es realizado con un mínimo de 5 tablas. La Figura 3.4 muestra el contenido del sistema.

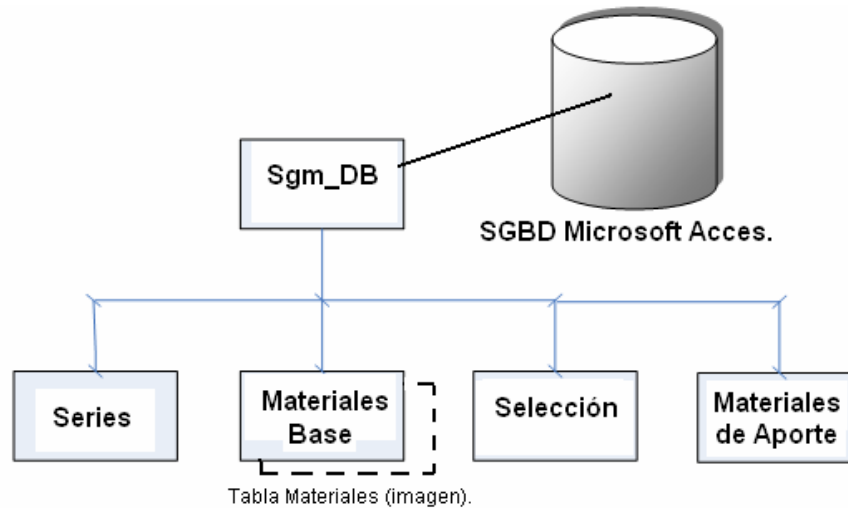


Figura 3.4 Tablas utilizadas en el SGBD.

3.4 Interfaz gráfica del sistema.

La interfaz del sistema se describe de forma amigable al usuario, y emplea la tecnología del SGBD Microsoft Access. El formulario principal muestra gran cantidad de información almacenada en la base de datos, y realiza la selección automática de los materiales de aporte junto a toda la información asociada a los materiales y sus series. El sistema debe ser capaz de emitir reportes mediante informes generados automáticamente. La Figura 3.5 muestra el entorno del diálogo principal.

Como se puede apreciar se despliega información general asociada a las series, a los materiales base, la composición química, la propiedad mecánica y el tipo de tratamiento térmico.

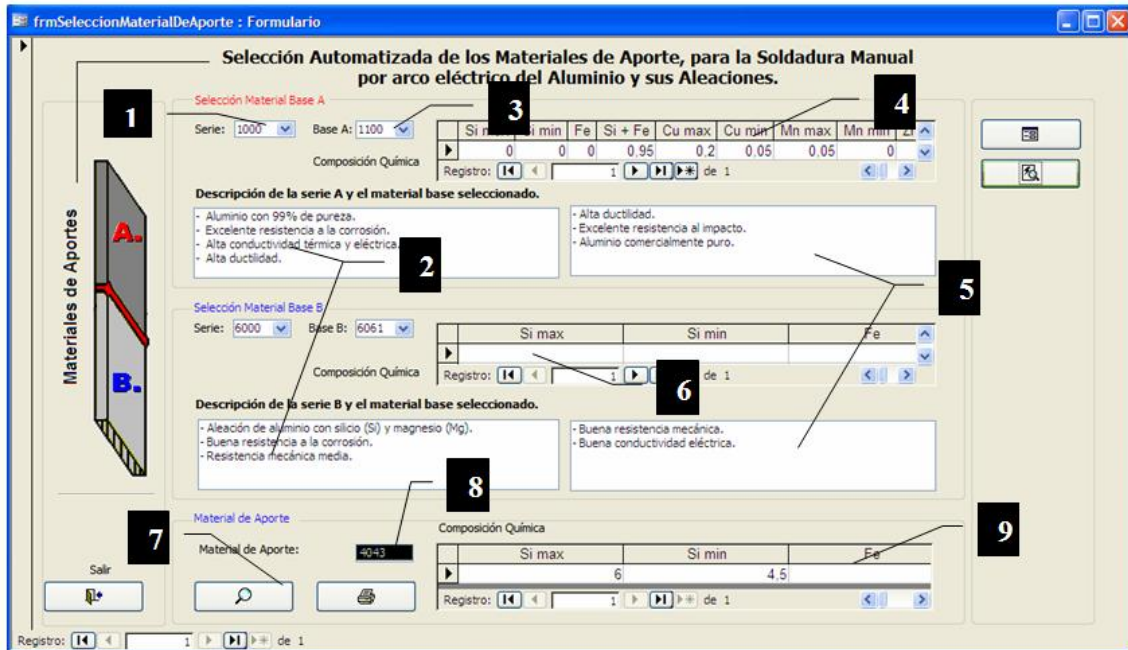


Figura 3.5 Interfaz gráfica del módulo de selección del material de aporte para la soldadura manual por arco del aluminio y sus aleaciones.

1. En este combo de consulta al pulsar el indicador, se despliega el listado que contiene la denominación de todas las series existentes y al señalar con el apuntador y hacer click con el botón izquierdo del mouse se ingresa el valor de la serie y se muestra un listado.
2. En el listado desplegado se refleja la información general de la serie desplegada.
3. En el combo de consulta al pulsar el indicador, se despliega el listado contenido de todos los materiales bases pertenecientes a la serie seleccionada, y al señalar con el apuntador y hacer click con el botón izquierdo del mouse se ingresa el valor de la denominación del material base A y aparece un listado con información del material base A, además se despliega una consulta.
4. En la consulta se refleja toda la información referente a las características metalúrgicas, mecánicas y tratamiento térmico asociado al material base A.
5. Se refleja un listado con información general asociada al material base A.

6. Los pasos 1, 2, 3, 4 y 5 se repiten para seleccionar el material base B, y también se despliega la consulta con toda la información referente a las características metalúrgicas, mecánicas y tratamiento térmico asociado al material base B.
7. Botones de comando asociados a las operaciones de impresión reportes, llenado de formularios y otras operaciones.
8. En este combo, una vez escogido los materiales bases se presenta de forma automática la denominación del material de aporte más adecuado para soldar los materiales bases y también se despliega una consulta con la información referente a las características metalúrgicas, mecánicas y tratamiento térmico asociado al material de aporte.

El diálogo principal contiene botones de comandos que permiten a los usuarios visualizar información mediante reportes e imprimir los listados de los materiales existentes en la base de datos

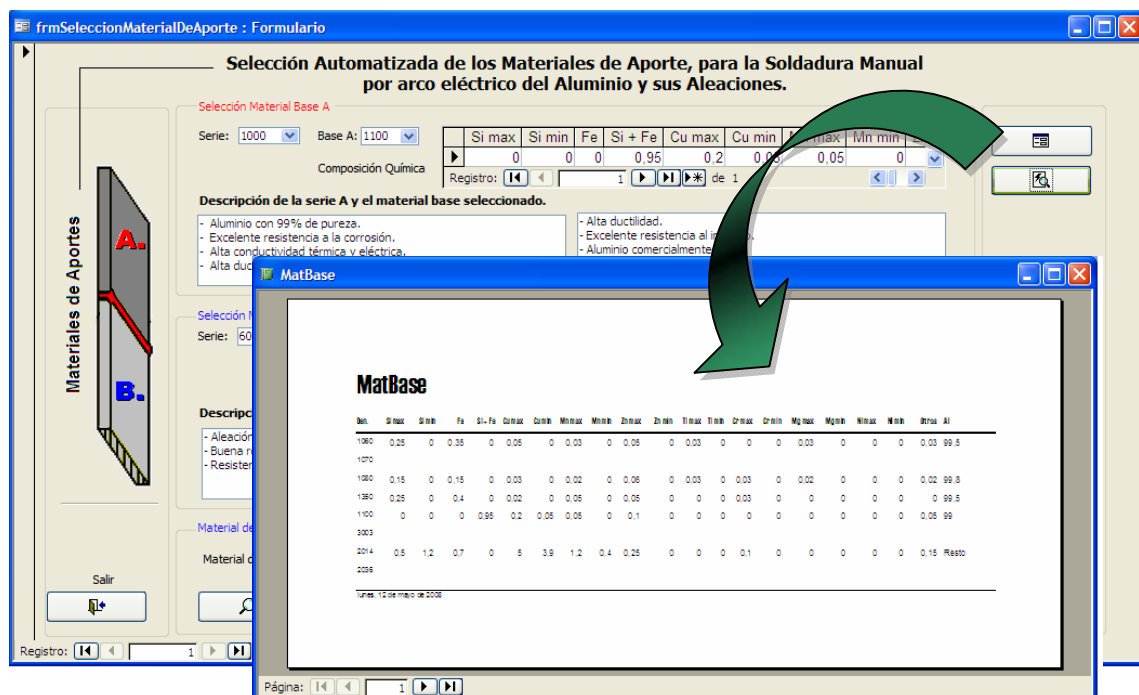


Figura 3.6 Generación de informes con los listados de materiales base a soldar.

De igual manera se generan automáticamente informes finales asociados al proceso de selección de los materiales de aportes en dependencia de la información de entrada al sistema.

En estos reportes se incluyen las características de los materiales seleccionados así como su composición química y propiedades físico mecánicas tanto de los materiales base a soldar como la de los materiales de aporte seleccionados.

frmSeleccionMaterialDeAporte : Formulario

Selección Automatizada de los Materiales de Aporte, para la Soldadura Manual por arco eléctrico del Aluminio y sus Aleaciones.

Selección Material Base A

Serie: 1000 Base A: 1100

Si max	Si min	Fe	Si + Fe	Cu max	Cu min	Mn max	Mn min
0	0	0	0.95	0.2	0.05	0.05	0

Composición Química

Registro: 1 de 1

Descripción de la serie A y el material base seleccionado.

- Aluminio con 99% de pureza.
- Excelente resistencia a la corrosión.
- Alta conductividad térmica y eléctrica.
- Alta ductilidad.
- Excelente resistencia al impacto.
- Aluminio comercialmente puro.

MatBase

IdMatBaseA: 1060

IDSERIE: 1

IdposicionA: 0

DenominacionMatBase: 1060

Al: 99,5

Descripción: Alta resistencia a la corrosión. Aplicaciones en tuberías de la industria química y alimenticia.

Composición Química

Si max	Si min	Fe	Si + Fe	Cu max	Cu min	Mn max	Mn min	Zn max	Zn min	Cr max	Cr min	Mg max	Mg min	Ni max	Ni min	Otros	Ti max	Ti min
0,25	0	0,35	0	0,05	0	0,03	0	0,05	0	0	0	0,03	0	0	0	0,03	0,03	0

Registro: 1 de 49

3.5 Conclusiones

1. Se desarrollo un sistema de información que automatiza el proceso de selección de los materiales de aporte en el proceso tecnológico de la soldadura del aluminio y sus aleaciones.
2. Se pudo comprobar que los costos asociados al desarrollo, implementación, uso y mantenimiento del sistema no será excesivo para el usuario final, esto producto de la herramienta utilizada como gestor de base de datos (SGBD) Microsoft Acces.
3. El sistema gestor de base de datos (SGBD) Microsoft Acces garantiza el desarrollo de una interfaz amigable para que el usuario del sistema interactúe de una forma fácil y sencilla.
4. Los resultados obtenidos son altamente confiables.

CONCLUSIONES GENERALES.

De acuerdo al análisis realizado en la presente investigación podemos concluir lo siguiente:

1. Se obtiene un criterio acertado de las características metalúrgicas y los problemas de soldabilidad del aluminio y sus aleaciones.
2. Se determino la información necesaria que se maneja en el proceso manual de selección del material de aporte en la soldadura manual por arco del aluminio y sus aleaciones.
3. Se obtuvo el diseño del modelo de datos que permite estructurar la información para la selección adecuada y precisa de los materiales de aporte.
4. Se diseño la base de datos que garantiza el almacenamiento de la información, con el sistema gestor de base de datos (SGBD) Microsoft Access, el cual permite manipular dicha información de una forma sencilla y amigable al usuario, además de ser de muy bajo costo.
5. Se implementó el sistema, basado en el modelo de datos diseñado, el cual permite dar solución a la problemática planteada, como lo es la selección automática del material de aporte en la soldadura manual por arco eléctrico del aluminio y sus aleaciones.

RECOMENDACIONES

1. Extender la capacidad del sistema para ser utilizados con otros materiales, donde no sólo se tenga en cuenta solamente la selección del material de aporte, sino el proceso tecnológico en general.
2. Creación de un módulo para el cálculo de los costos asociados al proceso.
3. Creación de un módulo para controlar las normas, equivalencias y denominaciones del aluminio y sus aleaciones, extensible a otros materiales.
4. Desarrollar la aplicación en los sistemas gestores de base de datos libres partiendo del diseño de datos propuesto.
5. Implementar el sistema en un entorno WEB.

BIBLIOGRAFÍA

1. ASM Specialty Handbook, Aluminum and Aluminum Alloys, ASM International, USA, 1993.
2. AWS D1.2/D1.2M:2003, Structural Welding Code-Aluminum, Fourth edition, Florida, 2003.
3. Burgos, José: Tecnología de la Soldadura, 287p. Editorial Pueblo y Educación. Habana 1987.
4. C. J. Date, Introducción a los Sistemas de bases de Datos, Prentice Hall, Séptima Edición, pag. 63, 2001.
5. Carry, Howard B. and Helzer, Scott C, Modern Welding Technology, Sixth Edition. Prentice Hall, 2005.
6. Castaño. Adoración de Miguel, Piattini Velthuis, Mario G., Fundamentos y Modelos de Bases de Datos, Madrid, España, Editorial Alfaomega, 1998.
7. Dirección Web <http://content.lincolnelectric.com/pdfs/products/literature/c8100.pdf>, Consultado 2008.
8. Dirección Web <http://es.wikipedia.org/wiki/Aluminio#Aleaciones>, Consultado 2008.
9. Dirección Web http://es.wikipedia.org/wiki/Modelo_relacional, Consultado 2008.
10. Dirección Web <http://www.alu-stock.es/catalogo/index.html>, Consultados. 2008.
11. Dirección Web <http://www.arqhys.com/arquitectura/aluminio-historia.html>. Consultado 2007.
12. Dirección Web <http://www.conarco.com.ar/>, Consultado 2008.
13. Dirección Web http://www.drweld.com/Metalex_AS_Alutree.html,

Consultado 2008.

14. Dirección Web <http://www.esab.com.ar/>, Consultado 2008.
15. Dirección Web <http://www.hobartbrothers.com/products/>, Consultado 2007.
16. Dirección Web <http://www.indura.net/>, Consultado 2008.
17. Dirección Web <http://www.infra.com.mx/catalogo/pdf2008/soldadura08.pdf>, Consultado 2008.
18. Dirección Web <http://www.itw-welding-spain.com/>, Consultado 2008.
19. Dirección Web <http://www.luminum.com/es/data/dcomposition.html>, Consultado 2008.
20. Dirección Web <http://www.monografias.com/trabajos30/base-datos/>, Consultado 2007.
21. Dirección Web <http://www.oerlikon.es/>, Consultado 2008.
22. Dirección Web <http://www.pucp.edu.pe/congreso/cibim8/pdf/15/15-27.pdf>, Consultado 2008.
23. Dirección Web <http://www.spematsol.com/es-products-aluminum.html>, Consultado 2008.
24. Dirección Web <http://www.unlu.edu.ar/~bd/transparencias%20clase%203.PDF>, Consultado 2008.
25. Dirección Web <http://www2.ing.puc.cl/icmcursos/metalurgia/apuntes/cap5/52/>, Consultado 2008.
26. Dirección Web <http://www3.uji.es/~mmarques/f47/apun/node67.html>, Consultados 2007.
27. Doyle, Laurence E., Keyser, Carl A., Leach, James L., Schrader, George F., Singer, Morse B., *Materiales y Procesos de Manufactura para Ingenieros*, Editorial Prentice Hall, Tercera Edición, Illinois, EUA, 1988.
28. Galvery, William L., Marlon, Frank M., *Guía de Soldadura para el Técnico Profesional*, Editorial LIMUSA, California, EUA, 2006.
29. García Pérez A. M., *Diseño estructurado y análisis de sistemas*, UCLV, Cuba, 1997.
30. Henry Horwitz, *Soldadura: Aplicaciones y Practica*, Boston EUA., Editorial Alfaomega, 1997.

31. Hufnagel, W. Manual del Aluminio, Segunda edición, Editorial Reverte, S.A. Barcelona, 1992.
32. Jacobson, I.; Booch, G. y Rumbaugh, J.; El Proceso Unificado de Desarrollo de Software. Addison-Wesley. 2000.
33. Larry Jeffus, Welding Principles and Applications, Fifth edition. Thomson, USA, 2004.
34. McManus, Jeffrey P., Base de Datos con Visual Basic 6, Editorial Prentice Hall, Madrid, España, 1999.
35. Metal Handbook, Volumen 6, Welding and Brazing, ASM International, Ohio, EUA, 1988.
36. Mott, Robert L., Diseño de Elementos de Maquinas, Editorial Prentice Hall, Dayton, EUA, 1995.
37. Okumura Toshie, Ingeniería de Soldadura y Aplicaciones, LTC, 1982.
38. Pressman Roger S., Ingeniería del Software, un enfoque práctico, McGraw Hill, 1994.
39. Prieto, Alberto; Lloris Antonio; Torres, Juan Carlos., Introducción a la Informática, Editorial MC Graw Hill, Madrid, España, 1997.
40. Rivas Arias, José M., Soldadura Eléctrica y Sistemas T.I.G. y M.A.G., Editorial Paraninfo, Madrid, España, 2003.
41. Rodríguez Pérez, Héctor: Metalurgia de la Soldadura, Editorial Pueblo y Educación. Habana. Cuba. 1983.
42. Rodríguez, Pedro, Claudio ., Manual de Soldadura ., Ciudad de Buenos Aires, Argentina, pag. 42, 44, 49., Editorial Alsina., 2001.
43. Smith, William F., Fundamentos De La Ciencia y La Ingeniería, segunda Edición Editorial MC Graw Hill, Ciudad de México, México, 1993.
44. Specification for Bare Aluminium and Aluminium Alloy welding Electrodes and Rods, ANSI/AWS A5.10.
45. Sule, Dileep R., Instalaciones de Manufactura, Editorial Thomson, Louisiana, EUA, 2001.
46. The Aluminum Association, Welding Aluminium Theory and Practice, Third Edition, USA, November 1997.



PDF
Complete

*Your complimentary
use period has ended.
Thank you for using
PDF Complete.*

[Click Here to upgrade to
Unlimited Pages and Expanded Features](#)

47. The Welding Handbook Committee: Welding Handbook. 5ed. t4. 583p. American Welding Society Publishers, EUA, 1966.
48. Tiznado Santana, Marco Antonio., El Camino Fácil A Access Versión 2.0, Editorial MC Graw Hill, Santa fe de Bogota, Colombia, 1995.
49. Velásquez, Font Alexander. Trabajo presentado para optar por el grado científico de Master en diseño y fabricación asistido por computadora para la rama Metal-Mecánica Sobre el tema: Sistema Automatizado para la selección de Materiales de aporte en la soldadura de Aceros al Carbono. Universidad de Holguín. 2002.
50. Welding Handbook, Materials and Applications . Part 1, Eighth Edition, American Welding Society, USA 1996.
51. Yourdon Edward, Análisis Estructurado Moderno, Ciudad de México., México, Editorial Prentice Hall, 1993.