



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA



Evaluación y determinación de los parámetros óptimos para realizar soldaduras en los aceros AISI 1010 y AISI 1045 través del método M.I.G.

Juan Carlos Guerrero Ruiz
Héctor Roberto Castillo Pérez

Naguanagua, 15 de Noviembre de 2010



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA



Evaluación y determinación de los parámetros óptimos para realizar soldaduras en los aceros AISI 1010 y AISI 1045 través del método M.I.G.

Trabajo especial de grado presentado ante la Ilustre Universidad de Carabobo para optar al título de Ingeniero Mecánico

Tutor académico:
Franklin Camejo. *Ing.*

Autores:
Juan Carlos Guerrero Ruiz
Héctor Roberto Castillo Pérez

Naguanagua, 15 de Noviembre de 2010



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA



Evaluación y determinación de los parámetros óptimos para realizar soldaduras en los aceros AISI 1010 y AISI 1045 través del método M.I.G

*Trabajo especial de grado presentado ante la Ilustre Universidad de Carabobo para
optar al título de Ingeniero Mecánico*

Juan Carlos Guerrero Ruiz
Héctor Roberto Castillo Pérez

Naguanagua, 15 de Noviembre de 2010



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA



CERTIFICADO DE APROBACIÓN

Quienes suscriben, Miembros del Jurado designado por el Consejo de Escuela de Ingeniería Mecánica para examinar el Trabajo Especial de Grado titulado **“Evaluación y determinación de los parámetros óptimos para realizar soldaduras en los aceros AISI 1010 y AISI 1045 través del método M.I.G.”**, presentada por los bachilleres: **Juan Carlos Guerrero Ruiz, Héctor Roberto Castillo Pérez**, portadores de la Cédula de Identidad N°: **15.722.636, 17.472.297**, respectivamente; hacemos constar que hemos revisado y aprobado el mencionado trabajo.

Prof. Franklin Camejo, *Ing.*
Presidente del jurado

Prof. Luis Sidorovas, *Ing. MSc.*
Miembro del jurado

Prof. Argel Porrello, *Ing. MSc.*
Miembro del jurado

En Naguanagua a los 15 días del mes de Noviembre de 2010

Agradecimientos

Primeramente quiero expresar mi más sincero agradecimiento a Dios, por siempre estar a mi lado en todo momento, por guiarme en este duro camino de aprendizaje y por darme la oportunidad de vivir esta maravillosa y valiosa experiencia. Amén! De igual manera, quiero expresar mi agradecimiento a mi tutor, el Profesor Franklin Camejo, por sus consejos, guiatura y sugerencias oportunas durante el desarrollo de este trabajo de investigación. A la UNIVERSIDAD DE CARABOBO en especial a la FACULTAD DE INGENIERIA quien sirvió como segundo hogar a lo largo de mi permanencia como estudiante de esta facultad. A la institución INCES METALMINERO MARACAY en especial al T.S.U. en Metalurgia David José Finol Ramírez muchas gracias!, por su valiosa colaboración para lograr nuestro objetivo. A mis padres por su infinita colaboración y dedicación, muchas gracias!

Juan C Guerrero R

Agradecimientos

Quiero agradecer primeramente a Dios por haberme regalado el don de la vida, a mis padres Silverio Castillo y Yamilet Pérez por haberme infundido los valores necesarios para ser una buena persona y por apoyarme en cada momento y decisión de mi vida; a mí hermano Miguel y mi hermana María por siempre estar a mi lado.

A la UNIVERSIDAD DE CARABOBO, especialmente a la FACULTAD DE INGENIERÍA y su ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA por ser esta la institución en la que he recibido gran parte de mis conocimientos académicos, al profesor Franklin Camejo por haber fungido como nuestro tutor en la realización de este trabajo de grado y por sus oportunos y sabios consejos en los momentos de apremio.

A mis compañeros y compañeras de clase, por la colaboración prestada en diversos momentos y etapas de mi vida académica.

A la institución INCES METALMINERO MARACAY, especialmente al T.S.U. en metalurgia David José Finol, profesor de esta institución, por su valiosa colaboración en el desarrollo de los ensayos programados.

HÉCTOR R. CASTILLO P.

Dedicatoria

A Dios por darme el derecho de vivir y permitirme lograr las metas planteadas, siendo Él mi guía por el camino del bien e iluminando todos mis pasos A las personas más importantes para mí en este mundo, mis padres queridos, Juan y Lucy, son el apoyo incondicional, a ellos les debo mi vida y todo lo que hasta ahora he logrado, estoy infinitamente agradecido con ustedes Padres. A mi novia querida, María Gabriela, por ser un apoyo incondicional y estar siempre a mi lado en toda mi carrera. A mi compañero de tesis Héctor Castillo, por haber sido un gran amigo, a pesar de todos los obstáculos e inconvenientes nunca desmayo para lograr esta ansiada meta. A mi familia, que aunque se encuentran muy lejos, se que sus oraciones siempre estaban presentes para darme las fuerzas necesarias y nunca desmayar para lograr esta meta. A la familia Rodrigues Lugo por su cariño, apoyo infinito y depositar su confianza en mí. A todos mis compañeros de estudio por brindar el apoyo necesario cuando más lo necesite, muchas gracias a todos.

Juan C Guerrero R

Dedicatoria

Quiero dedicar este trabajo de grado a Dios, por ser quien me permito a través del gran regalo que es la vida, poder llevarlo a cabo.

A mi madre Yamilet Pérez y mi padre Silverio Castillo por ser las personas que me dieron la vida y han sabido hacer de mí, gracias a sus consejos y apoyo incondicional, una persona de bien.

A mi hermano Miguel y mi Hermana María por fungir como un apoyo a través de sus palabras de aliento en los momentos difíciles de mi vida.

A todos mis familiares, amigos y personas que de una u otra manera me han apoyado en algún momento de mi vida.

Por último quiero dedicar este trabajo a la memoria de mi abuela Senovia Pérez por haberme regalado grandes alegrías y consejos a lo largo de su vida.

HÉCTOR R. CASTILLO P.

Resumen

El proceso de soldadura es una operación mediante la cual se realizan uniones permanentes de piezas metálicas, este trabajo de investigación plantea evaluar y determinar los parámetros óptimos de soldadura mediante el método de Soldadura de Gas de Metal Inerte (MIG) en los aceros al carbono AISI 1010 y 1045 tomando como parámetros de variación el voltaje y el amperaje, para establecer predicciones de comportamiento cuando éstos son utilizados en la industria.

Lograr los objetivos planteados requirió la realización de procedimientos experimentales como: ubicación de máquinas y equipos empleados, obtención del material de aporte y el material base, biselado del material base, determinación de los parámetros de soldadura, realización del cordón de soldadura, corte del material soldado y material base para la fabricación de las probetas, realización de las probetas, realización de los ensayos de tracción, dureza y metalografía, obtención de resultados y análisis de los mismos. El estudio permitió concluir que luego de realizar la soldadura en láminas de acero AISI 1010, de 6 mm de espesor, a 130 y 160 Amp.; los parámetros óptimos corresponden a los obtenidos a 160 Amp. y 24,2 V. en donde el acero arroja una mayor resistencia a la tracción, además de una

excelente fusión de los materiales presentes, evidenciada en su microestructura. El valor máximo fue de 476 MPa. En los ensayos realizados a las laminas de acero AISI 1045 soldadas de 10 mm de espesor, a 160 y 192 Amp, se pudo evidenciar una ruptura a lo largo del cordón de soldadura para ambas intensidades de corriente y una baja resistencia a la tracción que fue máxima para la condición de 192 Amp y 28,8 V. y cuyo valor fue de 623 MPa, resultando inferior al valor máximo arrojado por este material durante la caracterización del mismo. Para corroborar si los resultados obtenidos reflejaban con certeza el comportamiento del material luego de ser soldado bajo el método M.I.G., se decidió realizar nuevos ensayos para el acero AISI 1045 bajo las mismas condiciones, obteniéndose un valor máximo de resistencia a la tracción de 662 MPa, el cual se presentó para la condición de 192 Amp. Se pudo determinar que los resultados arrojados fueron similares en ambos casos, ya que la ruptura de las juntas se produjo en el cordón de soldadura, lo que se puede atribuir a la soldabilidad del material, la cual afecta el resultado de la unión de las juntas al ser empleado el método M.I.G.

Introducción

Los procesos de fabricación son de gran importancia dentro del desarrollo tecnológico industrial debido a que a partir de muchos de ellos es que se generan la gran mayoría de los componentes de los equipos y artefactos que emplean en el día a día.

Uno de estos procesos es el de soldadura el cual se ha convertido a nivel industrial en una herramienta indispensable a la hora de realizar uniones permanentes de piezas metálicas reduciendo el peso y el costo de las partes terminadas; el presente trabajo de investigación se plantea evaluar y determinar los parámetros óptimos de soldadura mediante el método MIG en los aceros al carbono AISI 1010 y 1045 tomando como parámetros de variación el voltaje y el amperaje, para de ésta manera establecer sus posibles aplicaciones a nivel industrial.

Bibliografía

- [1] LA ENCICLOPEDIA LIBRE WIKIPEDIA. Consultada el 03 de Julio de 2008. <http://eswikipedia.org/wiki/acero>.
- [2] CORREA, Julio. 2007. Metalografía-Aceros, Fundiciones, Inoxidables. Extraído el 09 de Julio de 2008. <http://www.wordpress.com>.
- [3] HIBEBELER,R.C. 2006. Mecánica de los Materiales. Sexta Edición. México. P: 88-91
- [4] NORMA ASTM E18. Métodos de ensayos normalizados para el ensayo de dureza Rockwell y el ensayo de dureza Rockwell superficial de los materiales metálicos.
- [5] GIACHINO, Joseph & WEEKS, William. 2007. Técnica y Práctica de la Soldadura. Barcelona. P: 137-143, 200-220
- [6] I.E.S “CRISTOBAL DE MONROY”. Dpto. de Tecnología. La Soldadura. 2008.
- [7] SUNARC: Tecnología en Soldadura. España. Extraído el 18 de Julio de 2008. <http://www.sunarc.com>.
- [8] BASTÍAS, Arturo.2008. Soldadura MIG. Trabajo especial de grado. Universidad Tecnológica Metropolitana. Facultad de Ingeniería. Chile.
- [9] IIRSACERO, S.A DE CV. Compañía de Aceros Especiales. Consultada el 09 de Julio de 2008. <http://iirsacero.com.mx>.

- [10] COMODORO. 2006. Seguridad. Consultada el 18 de Julio de 2008. <http://www.prevention-world.com>.
- [11] LINCOLN ELECTRIC. Centro Tecnológico de Soldadura. Guía de Soldadura MIG/MAG.
- [12] Directrices sobre la inclusión de disposiciones en las normas y textos afines del CODEX. Consultada el 22 de Julio de 2008. <http://www.fao.com.org>.
- [13] NORMA ASTM E 8M-04. Métodos Estándar para las Pruebas de Tensión de Materiales Metálicos.
- [14] NORMA AWS B4.0-ENGL 1998. Métodos Estándar para las Pruebas Mecánicas de Soldadura.
- [15] Metals Handbook. 1948. American Society for Metals, Metals Park. Ohio.
- [16] NORMA ASTM E18 - 08b. Métodos de Prueba Estándar para la dureza Rockwell de Materiales Metálicos
- [17] Manual de trabajos de grado de especialización y maestrías y tesis doctorales. 2003. Universidad Pedagógica Experimental Libertador. Caracas.
- [18] SILVA & PADRÓN. 2003. Evaluación de las propiedades mecánicas y metalográficas en juntas soldadas con arco de plasma y soldadura con arco de tungsteno. Trabajo especial de grado no publicado, Universidad de Carabobo, Facultad de Ingeniería, Escuela de Mecánica, Venezuela.
- [19] BRUNO & VIÑOLES. 2004. Evaluar las propiedades mecánicas de un acero ASTM – 36 sometido a diferentes condiciones de hidrogeno inducido en uniones soldadas. Trabajo especial de grado no publicado, Universidad de Carabobo, Facultad de Ingeniería, Escuela de Mecánica, Venezuela.
- [20] RODRÍGUEZ & ESPAÑA. 2006. Influencia del flujo de gas protector en las propiedades mecánicas y metalúrgicas en juntas soldadas de acero A-36 usando proceso

rociador y cortocircuito. Trabajo especial de grado no publicado, Universidad de Carabobo, Facultad de Ingeniería, Escuela de Mecánica, Venezuela.

CAPÍTULO I

Planteamiento del Problema

1.1 Situación problemática

Dentro de la Universidad de Carabobo institución dedicada al desarrollo y difusión de conocimientos innovadores, competitivos y completamente pertinentes para la formación ética e integral de profesionales; se cuenta con diferentes facultades especializadas en cumplir el desarrollo deseado, basadas en distintas ramas del ámbito profesional. Una de ellas es la Facultad de Ingeniería, que está conformada a su vez por cinco escuelas, Eléctrica, Civil, Química, Industrial y Mecánica. Dentro de la Escuela de Ingeniería Mecánica se destaca el perfil del egresado como un profesional integral con características de personalidad y profesionalidad que le permiten desenvolverse en las funciones de: mantenimiento, proyectos de Ingeniería Mecánica, en el desarrollo y aplicación de nuevas tecnologías para la producción de bienes y servicios.

Por su parte en el taller metalmecánico, adscrito a la dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica, se cuenta con un equipo de soldadura a través del cual es posible realizar soldaduras tipo T.I.G. (Gas Inerte con electrodo de Tungsteno) y la Soldadura de Arco Metálico con Gas (G.M.A.W.) en sus dos tipos: Soldadura Metálica con Gas

Inerte (M.I.G., Metal Inert Gas welding) y la Soldadura Metálica con Gas Activo (M.A.G., Metal Active Gas welding).

La soldadura MIG/MAG se lleva a cabo mediante un carrete de alambre metálico (electrodo) suministrado de forma continua, a una pistola de soldar mediante un alimentador. La energía eléctrica es transferida desde una fuente de corriente al electrodo por medio de una boquilla de contacto. Cuando el electrodo que pasa por aquélla, se pone en contacto con la pieza de trabajo, se enciende un arco eléctrico entre ellos. El arco eléctrico produce calor, que, por una parte, funde el electrodo y, por otra, calienta y funde la superficie de la pieza de trabajo. Para proteger el baño de fusión y el metal fundido del aire circundante se usa un gas de protección [5].

De lo antes descrito y considerando las ventajas que tiene el conocer como se realiza este tipo de soldaduras así como las diversas aplicaciones de la misma a nivel industrial las cuales involucran disminución de costos y elevada calidad, el proyecto a desarrollar se enfoca en dar a conocer las mejores características o propiedades en los aceros AISI 1010 y 1045 obtenidas a partir de ensayos mecánicos realizados, luego de ser sometidos a un proceso de soldadura por el método M.I.G tomando en consideración los parámetros dependientes del equipo (Voltaje y Amperaje); esto con la finalidad de brindar una guía que permita facilitar la selección de dichos materiales, en función de sus propiedades, al momento de ser empleados para una determinada aplicación.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

Evaluar y determinar los parámetros óptimos de soldadura mediante el método M.I.G. en los aceros al carbono AISI 1010 y AISI 1045 tomando como parámetros de variación el voltaje y amperaje del equipo.

1.2.2 Objetivos Específicos

- *Determinar las propiedades mecánicas de los materiales en estado de entrega.*
- *Obtener los parámetros óptimos en los diferentes tipos de juntas a realizar durante el proceso de soldadura.*
- *Determinar las propiedades mecánicas en juntas soldadas mediante el método MIG, en los materiales luego de realizado el proceso de soldadura.*
- *Determinar los posibles defectos mediante ensayos de macroscopía óptica, presentados en el cordón de soldadura durante el proceso para las condiciones óptimas establecidas.*
- *Optimizar los parámetros de soldadura para los diferentes tipos de juntas a realizar en el estudio.*

1.3 Justificación

Según el perfil del Ingeniero Mecánico egresado de la Universidad de Carabobo éste debe desenvolverse en cualquier área de trabajo de mantenimiento, proyectos de Ingeniería Mecánica y desarrollar aplicaciones para así generar nuevas tecnologías, bienes y servicios. Es por esto que la base primordial de este trabajo es seguir

contribuyendo con dicho desarrollo mediante la investigación de procesos de fabricación por métodos de soldaduras.

Por otra parte se busca el constituir un criterio de evaluación de los parámetros de soldadura óptimos de aceros al carbono cuando son empleados como uniones soldables por el método MIG y así poder establecer predicciones de comportamiento cuando dichos materiales son utilizados en la industria para distintos procesos.

Dichos parámetros óptimos de soldadura originalmente vienen dados por la poca presencia de porosidades, buena fusión de los materiales soldados, poca saliente de raíz y la no presencia de socavaciones laterales. Es por ello que se estudia la influencia de la variación del Voltaje y Amperaje para uniones soldadas mediante el método MIG con la finalidad de obtener las óptimas condiciones y parámetros del proceso en los aceros AISI 1010 y AISI 1045.

1.4 Alcance

- Se trabajará con alambre sólido para soldadura en aceros.
- El diámetro del alambre estará en el rango de (0,76 – 3,18) mm, según especificaciones de la máquina.
- El gas de protección a utilizar será una mezcla Argomix [75% Argón (Ar) y 25% Dióxido de carbono (CO₂)].
- El tipo de proceso de soldadura que se estudiará es el método M.I.G
- Los tipos de ensayos a realizar al material a soldar serán tracción, dureza, observación de microestructura por medio de microscopía óptica.
- El proceso de soldadura será el de arco por corto circuito.
- Se realizará el proceso de estudio en aceros de alto y bajo porcentaje de carbono.
- Los tipos de junta a realizar en el proceso de soldadura serán: Tipo Biselado.

- Se determinaran las propiedades mecánicas en los materiales después del proceso de soldadura en tres (3) zonas de la probeta: Zona Fundida (Cordón), Zona afectada por el calor y Metal base.

1.5 Limitaciones

- El espesor de las láminas de acero es de 6 mm para el Acero AISI 1010 y de 10 mm par el Acero AISI 1045

1.6 Antecedentes

Algunos de los trabajos realizados que contribuyen con estos avances de desarrollo para el método consisten en la *Evaluación de las propiedades mecánicas y metalográficas en juntas soldadas con arco de plasma y soldadura con arco de tungsteno* (Silva & Padrón, 2003), en la obtención de las propiedades mecánicas y metalográficas de los aceros inoxidable y al carbono después de haber sido sometidas a soldadura por arco de plasma (PAW) y soldadura por arco con electrodo de tungsteno. Aquí se obtienen resultados interesantes donde se muestra entre otras cosas: en el ensayo de doblado se demostró que el acero inoxidable presenta mayor soldabilidad que el acero al carbono 1020 en los dos procesos de soldaduras analizados sin material de aporte. La gran mayoría de los ensayos mecánicos fallaron en la zona fundida debido a que las juntas fueron soldadas por una sola cara y la penetración no fue completamente eficiente. Para el proceso PAW la penetración es mucho mayor que el proceso GTAW debido a que la concentración de calor es más puntual en el proceso PAW y que la masa de metal fundido es más pequeña. En el acero inoxidable 304 se puede apreciar la austenita y en muy poca cantidad la fase Ferrítica debido a su bajo porcentaje de carbono, no precipitaron carburos de cromo. En el acero 1020 se puede

apreciar la ferrita como una zona blanca y la fase perlita dendrita oscura debido a su porcentaje de carbono en comparación con el acero inoxidable 304.

Gracias a la obtención de los anteriores resultados se han venido desarrollando otros trabajos de investigación enfocados en la evaluación de propiedades mecánicas, luego de algunos procesos de uniones mediante soldaduras, comparando y variando diferentes parámetros óptimos en dichos procesos. En uno de estos estudios se procedió a *Evaluar las propiedades mecánicas de un acero ASTM – 36 sometido a diferentes condiciones de hidrogeno inducido en uniones soldadas (Bruno & Viñoles, 2004)* en el cual se realizó un estudio de las propiedades mecánicas y microestructurales en las uniones soldadas realizadas con tres tipos de electrodos revestidos (bajo hidrogeno, celulósico y rútilico), cada uno de ellos sometido a cuatro condiciones ambientales diferentes (1h de humedad, 4h de humedad, ambiente y 100°C), en un acero al carbono ASTM – 36, para poder obtener una base de comparación del comportamiento del cordón de soldadura de los diferentes electrodos a determinada condición. En el análisis de las propiedades mecánicas y de la microestructura de las muestras soldadas se utilizaron los ensayos de tracción, doblez, estudio macroscópico y el estudio de microscopia óptica. Luego de realizar los mencionados ensayos se pudo llegar a la conclusión que las uniones soldadas realizadas con los tres tipos de electrodos en la condición de 100°C resulta ser las mas satisfactoria desde el punto de vista de las propiedades mecánicas, esto es debido a la disminución de la humedad presente en dichos electrodos.

Uno de los trabajos de investigación que más contribuye con el desarrollo de los fundamentos y herramientas teóricas para la realización de ésta investigación es el siguiente: *Influencia del flujo de gas protector en las propiedades mecánicas y metalúrgicas en juntas soldadas de acero A-36 usando proceso rociador y cortocircuito (Rodríguez & España, 2006)* donde se realizó un estudio acerca de la influencia del flujo de gas protector Argón en la microestructura y propiedades

mecánicas en juntas soldadas de un acero estructural denominado, según la norma ASTM como A-36, usando los procesos de transferencia de metal cortocircuito y rociado de la técnica de soldadura MIG (GMAW). Para la realización de este estudio se emplearon láminas de acero de 4 mm de espesor sobre las cuales se depositaron cordones de soldadura utilizando la variación del flujo de gas protector Argón en un máximo, medio y mínimo nivel en ambos procesos. Para cada condición de flujo y proceso de transferencia del metal se efectuaron diversos tipos de ensayos entre los cuales tenemos tracción, microdureza Vickers y el estudio macroscópico y microscópico del cordón de la soldadura. Después de haber realizado los diferentes ensayos y analizar cada uno de los resultados, se observó que el flujo de gas de Argón tiene una gran influencia en el cordón de las soldaduras, ya que éste cuando se presenta en mayor proporción genera transferencia de metal mas estable y uniforme, una buena forma del cordón de soldadura y las salpicaduras son reducidas al mínimo. La soldadura mas uniforme en cuanto a penetración, ancho de cordón, acabado superficial y una mejor formación de granos fue la realizada con el método de corto circuito a una corriente de 120 Amp. y un flujo de gas protector de $80\left(\frac{pie^3}{h}\right)$. En el

ensayo de microdureza Vickers con una carga de 200 gr. Para las distintas condiciones de trabajo se observó que el comportamiento de la dureza mostrado es casi simétrico, se observa mayor dureza en la zona fundida. Se deduce que este resultado es debido a que durante el proceso de soldadura ocurren cambios metalúrgicos ocasionados por las altas temperaturas alcanzadas en éste y por el enfriamiento rápido, este trae como consecuencia que exista una mayor dureza en la zona fundida y ésta dureza disminuye cuando pasa a la zona afectada por el calor hasta tener menor valor en el material base.

CAPÍTULO II

Marco Teórico

2.1 FUNDAMENTOS TEORICOS.

2.1.1 El Acero

El acero es la aleación de hierro y carbono, donde el carbono no supera el 2,1% en peso de la composición de la aleación, alcanzando normalmente porcentajes entre el 0,2% y el 0,3%. Porcentajes mayores que el 2% de carbono dan lugar a las fundiciones, aleaciones que al ser quebradizas y no poderse forjar, a diferencia de los aceros, se moldean.

La existencia de gran variedad de aceros, en virtud de sus materiales aleantes, llevó a *Siemens* a definir el acero como «un compuesto de hierro y otra sustancia que incrementa su resistencia»

Los aceros son las aleaciones más utilizadas en la construcción de maquinaria, herramientas, edificios y obras públicas, habiendo contribuido al alto nivel de desarrollo tecnológico de las sociedades industrializadas. Sin embargo, en ciertos sectores, como la construcción aeronáutica, el acero apenas se usa debido a que es un material muy pesado. El acero es casi tres veces más pesado que el aluminio. [1]

a. Historia

Aunque no se tienen datos precisos de la fecha en la que se descubrió la técnica de fundir mineral de hierro para producir un metal susceptible de ser utilizado, los primeros utensilios de éste metal descubiertos por los arqueólogos en Egipto datan del año 3000 a. C. También se sabe que antes de esa época se empleaban adornos de hierro.

Algunos de los primeros aceros provienen del Este de África, fechados cerca de 1400 a. C.

La China antigua bajo la dinastía Han, entre el 202 a. C. y el 220 d. C., creó acero al derretir hierro forjado junto con hierro fundido, obteniendo así el mejor producto de carbón intermedio, el acero, en torno al siglo I a. C.

Junto con sus métodos originales de forjar acero, los chinos también adoptaron los métodos de producción para la creación de acero wootz, una idea importada de India a China hacia el siglo V.

El acero wootz fue producido en India y en Sri Lanka desde aproximadamente el año 300 a. C. Este temprano método utilizaba un horno de viento, soplado por los monzones.

También conocido como acero Damasco, el acero wootz es famoso por su durabilidad y capacidad de mantener un filo. Originalmente fue creado de un número diferente de materiales, incluyendo trazas de otros elementos en concentraciones menores a 1000 partes por millón ó 0,1% de la composición de la roca.

El hierro para uso industrial fue descubierto hacia el año 1500 a. C., en Medzamor, cerca de Erevan, capital de Armenia y del monte Ararat. La tecnología del hierro se mantuvo mucho tiempo en secreto, difundiéndose extensamente hacia el año 1200 a. C.

Los artesanos del hierro aprendieron a fabricar acero calentando hierro forjado y carbón vegetal en recipientes de arcilla durante varios días, con lo que el hierro absorbía suficiente carbono para convertirse en acero auténtico.

Las características conferidas por la templabilidad no consta que fueran conocidas hasta la Edad Media, y hasta el año 1740 no se produjo lo que hoy día denominamos acero.

Los métodos antiguos para la fabricación del acero consistían en obtener hierro dulce en el horno, con carbón vegetal y tiro de aire. Una posterior expulsión de las escorias por martilleo y carburación del hierro dulce para cementarlo. Luego se perfeccionó la cementación fundiendo el acero cementado en crisoles de arcilla y en Sheffield (Inglaterra) se obtuvieron, a partir de 1740, aceros de crisol.

Fue Benjamin Huntsman el que desarrolló un procedimiento para fundir hierro forjado con carbono, obteniendo de esta forma el primer acero conocido. [1]

b. Clasificación de los Aceros al carbono

Los aceros y aleaciones en general se pueden designar de acuerdo a las instrucciones dadas por AISI, “Instituto Americano del Hierro y el Acero (American Iron and Steel Institute)” ASTM “Sociedad Americana para Ensayos y Materiales (American Society for Testing and Materials)” y SAE “Sociedad de Ingenieros Automotrices (Society of Automotive Engineers)”. La designación AISI/SAE consta de cuatro cifras. Las dos primeras indican el contenido en aleantes y las dos segundas en carbono. Las dos primeras para aceros al carbono son 1 y 0 mientras que en aceros aleados puede ser por ejemplo 13, 41 o 43. Las cifras tercera y cuarta indican el contenido en carbono multiplicado por cien. Por ejemplo, el acero código AISI/SAE 1010 es un acero al carbono (sin elementos

aleantes adicionales) y un 0,1 % de Carbono (C). La clasificación de los aceros al carbono según la cantidad de carbono presente en estos es la siguiente:

Aceros bajos en carbono: Constituye la mayor parte de todo el acero fabricado. Contienen menos del 0,25 % en peso de Carbono (C), no responde al tratamiento térmico para dar martensita ni se pueden endurecer por acritud. La microestructura consiste en ferrita y perlita. Por tanto, son relativamente blandos y poco resistentes pero con extraordinaria ductilidad y tenacidad. Son de fácil mecanizado, soldables y económicos. Se utilizan para fabricar vigas, carrocerías de automóviles, y láminas para tuberías edificios y puentes. Otro grupo de aceros de bajo contenido en carbono son los de *alta resistencia y baja aleación*. Contienen concentraciones variables de Cu, V, Ni y Mo totalizando ≈ 10 % en peso. Poseen mucha más resistencia mecánica, que puede aumentar por tratamiento térmico y mantienen las propiedades de fácil mecanizado. Se emplean en componentes donde la resistencia mecánica es crítica: puentes, torres, columnas de soportes de edificios altos, bastidores de camiones y vagones de tren. [2]

Aceros medios en carbono: Contienen entre el 0,25 y 0,60 % en peso de Carbono (C). Estos aceros pueden ser tratados térmicamente mediante austenización, temple y revenido para mejorar las propiedades mecánicas. La microestructura generalmente es martensita revenida. Las adiciones de Cr, Ni y Mo facilitan el tratamiento térmico que en su ausencia es difícil y útil solo para secciones de pieza relativamente delgadas. Son más resistentes que los aceros bajos en carbono pero menos dúctiles y maleables. Se suelen utilizar para fabricar cinceles, martillos, cigüeñales, pernos, entre otros. [2]

Aceros altos en carbono: Generalmente contienen entre el 0,60 y 1,4 % en peso de Carbono. Son más duros y resistentes (y menos dúctiles) que los otros aceros al carbono. Casi siempre se utilizan con tratamientos de templado y revenido que lo hacen muy resistentes al desgaste y capaces de adquirir la forma de herramienta de corte. Generalmente contienen Cr, V, W y Mo, los cuales dan carburos muy duros como Cr_23C_6 , V_4C_3 y WC. Se utilizan como herramientas de corte, matrices para hechar materiales,

herramientas de herrería y carpintería. Por ejemplo, cuchillos, navajas, hojas de sierra, brocas para cemento, corta tubos, troqueles, herramientas de torno, muelles e hilos e alta resistencia. [2]

c. Aceros al carbono AISI 1010- AISI 1045

c.1 AISI 1010

Composición Química:

La composición química del Acero AISI 1010 se detalla en la tabla 2.1.

Tabla 2.1: Composición Química del Acero AISI 1010

Elemento	% Presente
C	0,08-0,13
Mn	0,3-0,6
Si	0,1
P max.	0,04
S max	0,05

Fuente: Compañía de Aceros Especiales [9]

Acero de bajo contenido de carbono, de baja ductilidad y composición uniforme, comúnmente usado en su condición de recocido en partes donde la resistencia no es crítica. Puede ser sometido a diversos tratamientos térmicos a fin de aumentar sus propiedades mecánicas, como la dureza, entre dichos tratamiento se pueden mencionar normalizado (941°C a 968°C), carburizado y templando (899°C a 954°C). Este material varía su maquinabilidad dependiendo del proceso a través del cual fue obtenido, así esta

propiedad es de un 55% cuando es trabajado en frío (laminado) y cuando es rolado en caliente dicha propiedad se sitúa en un 40%. [9]

En la tabla 2.2 se pueden observar las propiedades de este material en diferentes condiciones.

Aplicaciones

En partes que requieran un formado en frío (recalcar, doblar, estampar, etc.). En flechas, pernos, tensores, conexiones, elementos estructurales para el área de la construcción, componentes de automóviles como: cobertura de transmisiones, guardafangos, paneles, entre otros.

Tabla 2.2: Propiedades mecánicas del acero AISI 1010

	TRACCIÓN (Kg/cm ²)	ESFUERZO DE FLUENCIA (Kg/cm ²)	% ELOGACION EN 50.8 m.m.	%REDUCCION DE AREA	DUREZA BRINELL
Sin tratamiento 1"Ø	4710	3160	36	58	137
Recocido 1"Ø	4220	2810	38	62	121
Estirado en frío 1"Ø	5970	4920	28	55	167
Cementado (915°C) Tratado (775°C) Revenido (180°C)					
1"Ø	6120	3860	25	57	179
2"Ø	5760	3530	30	70	163
4"Ø	5200	2830	32	72	149

Fuente: Compañía de Aceros Especiales [9]

c.2 AISI 1045

Composición Química

La composición química del Acero AISI 1045 se detalla en la tabla 2.3.

Tabla 2.3: Composición Química del Acero AISI 1045

Elemento	% Presente
C	0,43 – 0,50
Mn	0,60 – 0,90
Si	0,15 -0,30
P max.	0,04
S max	0,05

Fuente: Compañía de Aceros Especiales [9]

Acero al carbono que sustituye al AISI 1018 en las aplicaciones donde se requiera mayor resistencia. El acero 1045 puede ser templado para obtener excelentes propiedades mecánicas. Puede surtirse en acabado en frío y en medidas grandes en maquinado o acabado en caliente, por su dureza y tenacidad es adecuado para la fabricación de componentes de maquinaria.

En la tabla 2.4 se pueden observar las propiedades de este material en diferentes condiciones.

Aplicaciones

Comúnmente usado en piezas que necesitan una resistencia media-alta, como pernos de alta resistencia, engranes, piñones, tornillos, flechas de bomba, flechas de transmisión, cigüeñales de maquinaria y en partes de maquinaria o herramientas agrícolas; además de ello Es un acero muy apropiado para piezas de pequeño tamaño que deban templarse a inducción, obteniéndose una dureza superficial de 54-56 HRC (78-79 HRA).

Tabla 2.4: Propiedades mecánicas del acero AISI 1045

	TRACCIÓN (Kg/cm ²)	ESFUERZO DE FLUENCIA (Kg/cm ²)	% ELOGACION EN 50.8 m.m.	REDUCCION DE AREA	DUREZA BRINELL
Estirado en frío 1"Ø	7700	5500	19	32	220
Recocido (790°C) 1"Ø	5600	3375	30	54	160
Normalizado (900°C)					
1"Ø	6100	3815	28	52	190
2"Ø	6000	3750	28	52	170
4"Ø	5900	3500	27	50	170
Templado (840°C) y Revenido (180°C)					
1"Ø	7670	5330	24	63	
2"Ø	7300	5210	26	66	
4"Ø	7225	4536	27	67	

Fuente: Compañía de Aceros Especiales [9]

d. Ensayos mecánicos aplicados al acero

Cuando un técnico proyecta una estructura metálica, diseña una herramienta o una máquina, define las calidades y prestaciones que tienen que tener los materiales constituyentes. Como hay muchos tipos de aceros diferentes y, además, se pueden variar sus prestaciones con tratamientos térmicos, se establecen una serie de ensayos mecánicos para verificar principalmente la dureza superficial, la resistencia a los diferentes esfuerzos

que pueda estar sometido, el grado de acabado del mecanizado o la presencia de grietas internas en el material.[3]

Hay dos tipos de ensayos, unos que pueden ser destructivos y otros no destructivos.

Los ensayos no destructivos son los siguientes:

- Ensayo microscópico y rugosidad superficial.
- Ensayos por ultrasonidos.
- Ensayos por líquidos penetrantes.

Los ensayos destructivos son los siguientes:

- Ensayo de tracción con probeta normalizada.
- Ensayo de resiliencia.
- Ensayo de compresión con probeta normalizada.
- Ensayo de cizallamiento.
- Ensayo de flexión.
- Ensayo de torsión.
- Ensayo de plegado.
- Ensayo de fatiga.
- Ensayo de dureza (Brinell, Rockwell, Vickers). Mediante durómetros.

Todos los aceros tienen estandarizados los valores de referencia de cada tipo de ensayo al que se le somete.

Tipos de ensayos mecánicos a realizar luego del proceso de soldadura en el acero:

El ensayo de tracción de un material consiste en someter a una probeta normalizada realizada con dicho material a un esfuerzo axial de tracción creciente hasta que se produce la rotura de la probeta. En un ensayo de tracción pueden determinarse diversas características de los materiales elásticos:

- Módulo de elasticidad o Módulo de Young: Relación entre la fatiga unitaria y la correspondiente deformación unitaria en un material sometido a un esfuerzo que está por debajo del límite de elasticidad del material.
- Coeficiente de Poisson, que cuantifica la razón entre el alargamiento longitudinal y el acortamiento de las longitudes transversales a la dirección de la fuerza.
- Límite de proporcionalidad: valor de la tensión por debajo del cual el alargamiento es proporcional a la carga aplicada.
- Límite de fluencia o límite elástico aparente: valor de la tensión que soporta la probeta en el momento de producirse el fenómeno de la cedencia o fluencia. Este fenómeno tiene lugar en la zona de transición entre las deformaciones elásticas y plásticas y se caracteriza por un rápido incremento de la deformación sin aumento apreciable de la carga aplicada.
- Límite elástico (límite elástico convencional o práctico): valor de la tensión a la que se produce un alargamiento prefijado de antemano (0,2%, 0,1%, etc.) en función del extensómetro empleado.
- Carga de rotura o resistencia a la tracción ingenieril: carga máxima resistida por la probeta dividida por la sección inicial de la probeta.

- Alargamiento de rotura: incremento de longitud que ha sufrido la probeta. Se mide entre dos puntos cuya posición está normalizada y se expresa en tanto por ciento.
- Estricción: es la reducción de la sección que se produce en la zona de la rotura.

Normalmente, el límite de proporcionalidad no suele determinarse ya que carece de interés para los cálculos. Tampoco se calcula el Módulo de Young, ya que éste es característico del material; así, todos los aceros tienen el mismo módulo de elasticidad aunque sus resistencias puedan ser muy diferentes.

La dureza es una propiedad mecánica de los materiales consistente en la dificultad que existe para rayar o crear marcas en la superficie mediante micropenetración de una punta.

En metalurgia la dureza se mide utilizando un durómetro para el ensayo de penetración. Dependiendo del tipo de punta empleada y del rango de cargas aplicadas, existen diferentes escalas, adecuadas para distintos rangos de dureza.

El interés de la determinación de la dureza en los aceros estriba en la correlación existente entre la dureza y la resistencia mecánica, siendo un método de ensayo más económico y rápido que el ensayo de tracción, por lo que su uso está muy extendido.

Hasta la aparición de la primera máquina Brinell para la determinación de la dureza, ésta se medía de forma cualitativa empleando una lima de acero templado que era el material más duro que se empleaba en los talleres. [3]

Las escalas de uso industrial actuales son las siguientes:

- **Dureza Brinell.**
- **Dureza Knoop**
- **Dureza Rosiwal**
- **Dureza Shore.**
- **Dureza Vickers.**
- **Dureza Webster.**
- **Dureza Rockwell.**

El ensayo de dureza Rockwell constituye el método más usado para medir la dureza debido a que es muy simple de llevar a cabo y no requiere conocimientos especiales. La misma posee una gran variedad de escalas en función de las combinaciones de carga a emplear y el tipo de indentador; sin embargo la misma se subdivide primordialmente en dos tipos:

- **Dureza Rockwell:** Se utiliza como punta un cono de diamante (en algunos casos bola de acero). Es la más extendida, ya que la dureza se obtiene por medición directa y es apto para todo tipo de materiales. Se suele considerar un ensayo no destructivo por el pequeño tamaño de la huella. La carga en este ensayo varía de 60 a 150 Kg a compresión, y es precedida por una precarga no mayor a 10 Kg , hay que considerar el hecho de que los valores por debajo de 20 y por encima de 100 suelen ser muy poco precisos por lo que se recomienda cambiar de escala. Estas escalas suelen identificarse por medio de una letra en función del penetrador a emplear (A, B, C, D, E, F, G, H, K, L, M, P, R, S, V). [4]
- **Rockwell superficial:** Existe una variante del ensayo, llamada Rockwell superficial, para la caracterización de piezas muy delgadas, como cuchillas de afeitar o capas de materiales que han recibido algún tratamiento de endurecimiento

superficial. Para este ensayo se utiliza una precarga menor de 3 kg, seguida de una carga mayor de 15, 30 o 45 kg. Estas escalas se identifican mediante número (15, 30 o 45) y una letra (N, T, W o Y) en función del penetrador. [4]

Los aceros al igual que muchos otros materiales, no ferrosos, son empleados en la fabricación de diversas piezas, equipos y estructuras; sin embargo muchas veces el tamaño de estos equipos o estructuras requiere que los mismos sean ensamblados por piezas debido a que la fabricación de este en un todo sería muy complicado, es por ello que se emplean métodos de sujeción fijos, entre los cuales destaca la soldadura como método práctico y muy eficiente en cuanto a tiempo de ejecución se refiere.

2.1.2 Soldadura.

La historia de la unión de metales se remonta a varios milenios, con los primeros ejemplos de soldadura desde la edad de bronce y la edad de hierro en Europa y el Oriente Medio. La soldadura fue usada en la construcción del Pilar de Hierro en Delhi, en la India, erigido cerca del año 310 y pesando 5,4 toneladas métricas. La Edad Media trajo avances en la soldadura de fragua, con la que los herreros repetidamente golpeaban y calentaban el metal hasta que ocurría la unión. En 1540, Vannoccio Biringuccio publicó a *De la pirotechnia*, que incluye descripciones de la operación de forjado. Los artesanos del renacimiento eran habilidosos en el proceso, y la industria continuó creciendo durante los siglos siguientes. Sin embargo, la soldadura fue transformada durante el siglo XIX. En 1800, Sir Humphry Davy descubrió el arco eléctrico, y los avances en la soldadura por arco continuaron con las invenciones de los electrodos de metal por un ruso, Nikolai Slavyanov, y un americano, C. L. Coffin a finales de los años 1800, incluso como la soldadura por arco de carbón, que usaba un electrodo de carbón, ganó popularidad. [5]

Alrededor de 1900, A. P. Strohmenger lanzó un electrodo de metal recubierto en Gran Bretaña, que dió un arco más estable, y en 1919, la soldadura de corriente alterna fue inventada por C. J. Holslag, pero no llegó a ser popular sino hasta una década más tarde

En 1941, después de décadas de desarrollo, la soldadura de arco de gas tungsteno fue finalmente perfeccionada, seguida en 1948 por la soldadura por arco metálico con gas, permitiendo la soldadura rápida de materiales no ferrosos pero requiriendo costosos gases de blindaje. La soldadura de arco metálico blindado fue desarrollada durante los años 1950, usando un fundente de electrodo consumible cubierto, y se convirtió rápidamente en el más popular proceso de soldadura de arco metálico. En 1957, debutó el proceso de soldadura por arco con núcleo fundente, en el que el electrodo de alambre auto blindado podía ser usado con un equipo automático, resultando en velocidades de soldadura altamente incrementadas, y ése mismo año fue inventada la soldadura de arco de plasma. La soldadura por electroescoria fue introducida en 1958, y fue seguida en 1961 por la soldadura por electrogas.

Otros desarrollos recientes en la soldadura incluyen en 1958 el importante logro de la soldadura con rayo de electrones, haciendo posible la soldadura profunda y estrecha por medio de la fuente de calor concentrada. Siguiendo la invención del láser en 1960, la soldadura por rayo láser debutó varias décadas más tarde, y ha demostrado ser especialmente útil en la soldadura automatizada de alta velocidad. Sin embargo, ambos procesos continúan siendo altamente costosos debido al alto costo del equipo necesario, y esto ha limitado sus aplicaciones.

2.1.3 Clasificación de los tipos de soldadura

Se pueden distinguir primeramente los siguientes tipos de soldadura:

- Soldadura heterogénea. Se efectúa entre materiales de distinta naturaleza, con o sin metal de aportación: o entre metales iguales, pero con distinto metal de aportación. Puede ser blanda o fuerte.

- Soldadura homogénea. Los materiales que se sueldan y el metal de aportación, si lo hay, son de la misma naturaleza. Puede ser oxiacetilénica, eléctrica (por arco voltaico o por resistencia), entre otras. Si no hay metal de aportación, las soldaduras homogéneas se denominan autógenas. Por soldadura autógena se entiende aquella que se realiza sin metal de aportación, de manera que se unen cuerpos de igual naturaleza por medio de la fusión de los mismos; así, al enfriarse, forman un todo único.

Etimológicamente, esta expresión quiere decir: engendrada o efectuada por sí misma.

La misma tuvo su origen en Francia hacia la mitad del siglo XIX. [5]

En la figura 2.1 se pueden apreciar los tipos de soldadura existentes a nivel industrial.

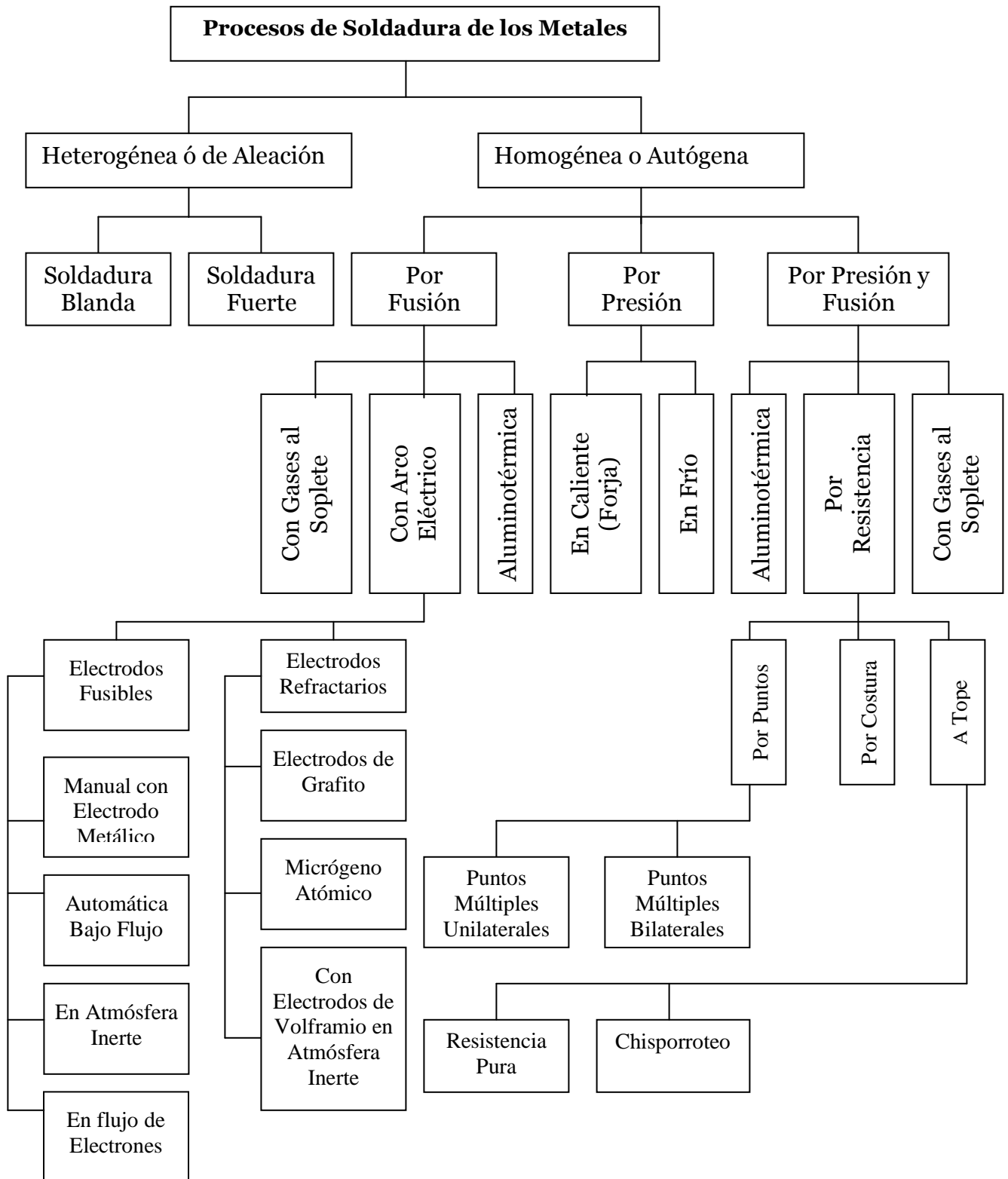


Figura 2.1: Procesos de soldadura de los metales

Como se puede observar en la figura 2.1 existen diversos tipos de procesos de soldadura, entre ellos destaca el de soldadura por arco eléctrico, esto en virtud de que el mismo es una de los más empleados a nivel industrial, en sus diferentes formas o tipos.

Soldadura por arco eléctrico

En la actualidad, la soldadura eléctrica resulta indispensable para un gran número de industrias. Es un sistema de reducido coste, de fácil y rápida utilización, resultados perfectos y aplicables a toda clase de metales. Puede ser muy variado el proceso.[6]

El procedimiento de soldadura por arco consiste en provocar la fusión de los bordes que se desea soldar mediante el calor intenso desarrollado por un arco eléctrico. Los bordes en fusión de las piezas y el material fundido que se separa del electrodo se mezclan íntimamente, formando, al enfriarse, una pieza única, resistente y homogénea. En la figura 2.2 se pueden observar los diversos elementos presentes durante el proceso antes descrito

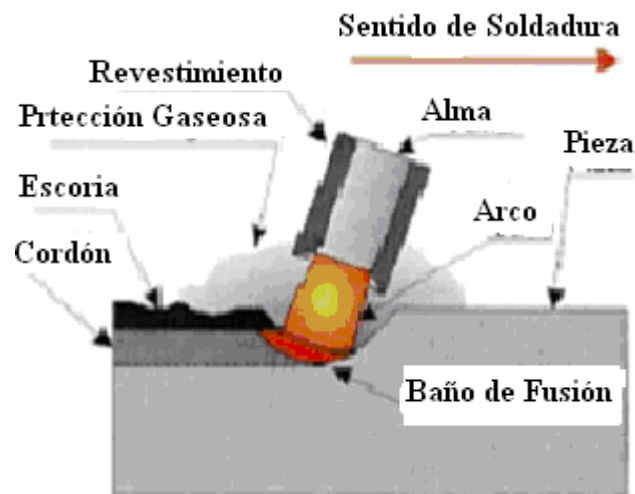


Figura 2.2: Elementos presentes en la soldadura por arco eléctrico

Al ponerse en contacto los polos opuestos de un generador o transformador se establece una corriente eléctrica de gran intensidad. Si se suministra la intensidad necesaria, la sección de contacto entre ambos polos -por ser la de mayor resistencia eléctrica- se pone

incandescente. Esto puede provocar la ionización de la atmósfera que rodea a la zona de contacto y que el aire se vuelva conductor, de modo que al separar los polos el paso de corriente eléctrica se mantenga de uno a otro a través del aire.

Antes de iniciar el trabajo de soldadura se deben fijar las piezas sobre una mesa o banco de trabajo, de manera que permanezcan inmóviles a lo largo de todo el proceso. Durante la operación, el soldador debe evitar la acumulación de escoria, que presenta una coloración más clara que el metal.

El electrodo ha de mantenerse siempre inclinado, formando un ángulo de 15° aproximadamente sobre el plano horizontal de la pieza, y comunicar un movimiento lento en zigzag -de poca amplitud-, para asegurar una distribución uniforme del metal que se va desprendiendo del electrodo. En la figura 2.3 se puede observar a un operario realizando una soldadura acorde a la técnica antes expuesta.



Figura 2.3: *Proceso de soldadura por Arco eléctrico*

El arco eléctrico genera un cráter en la pieza. Es fundamental, para que la soldadura presente una penetración eficaz, tener en cuenta la longitud del arco (distancia entre el extremo del electrodo y la superficie del baño fundido). Si el arco es demasiado pequeño, la pieza se calienta exageradamente y la penetración resulta excesiva; en ese caso, puede llegar a producirse una perforación peligrosa. Por el contrario, si el arco es demasiado

largo, se dispersa parte de su calor, y la penetración resulta insuficiente. El operario soldador ha de ser lo bastante hábil como para mantener el arco a la longitud adecuada. Las temperaturas que se generan son del orden de 3 500 °C.

Este tipo de soldadura puede realizarse con electrodos metálicos o de carbón. Esto ha dado lugar, a lo largo de la historia de la soldadura por arco, a varios procedimientos distintos:

- Procedimiento Zerener. Con este método, de patente alemana, el arco salta entre dos electrodos de carbón, y mediante un electroimán se dirige hacia la junta que se desea soldar para mejorar la aportación de calor. Actualmente este procedimiento ha caído en desuso, debido a que se forma óxido en la soldadura y a que resulta excesivamente complicada tanto la construcción de los portaelectrodos como la posterior retirada de los mismos.
- Procedimiento Bernardos. Sustituye uno de los electrodos de carbón por la pieza que hay que soldar, de manera que el arco salta entre ésta y el otro electrodo de carbón. Constituye una mejora del método de Zerener, y aún se emplea en algunas máquinas de soldadura automática con corriente continua.
- Procedimiento Slavianoff. Este método, de origen ruso y que data de 1891, realiza la soldadura mediante el arco que salta entre la pieza y un electrodo metálico. Estas soldaduras son bastante deficientes, pues se oxidan con el oxígeno del aire.
- Procedimiento Kjellberg. Finalmente, en el año 1908, Kjellberg comenzó a utilizar electrodos metálicos recubiertos de cal. Este revestimiento, aunque no es el más adecuado, mejora mucho la soldadura. Efectivamente, la idea respondió al fin deseado, de manera que en la actualidad se están obteniendo importantes avances en la investigación de recubrimientos apropiados (recubrimiento ácido, básico, oxidante, de rutilo, entre otros) para los electrodos, que son cada vez más gruesos y

completos. El recubrimiento, además, tiene otros fines como son: añadir elementos de aleación al baño fundido, formar una escoria fluida, estabilizarse el arco, etc.

Todos estos procedimientos son manuales pero hay otros procedimientos semiautomáticos o totalmente automáticos. En la figura 2.4 se pueden observar los elementos presentes en el proceso de soldadura por arco eléctrico.

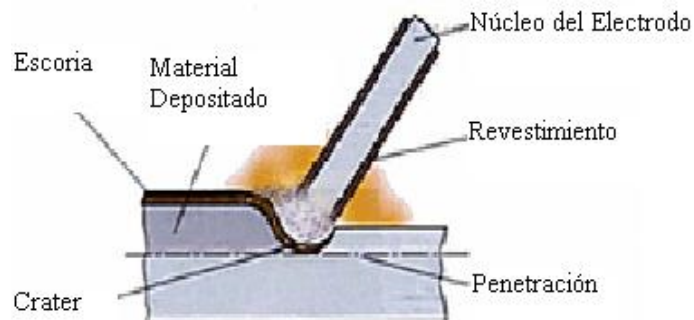


Figura 2.4: Materiales presentes en el proceso de soldadura por Arco eléctrico

Dentro de la soldadura por arco eléctrico se encuentra la soldadura de arco metálico con gas (GMAW), entre los que destaca la soldadura por arco en atmósfera inerte; este procedimiento se basa en aislar el arco y el metal fundido de la atmósfera, mediante un gas inerte (helio, argón, hidrógeno, anhídrido carbónico).

El equipo requerido para realizar el proceso de GMAW es más complejo y costoso que el requerido para la soldadura manual con electrodo revestido (SMAW), y requiere un procedimiento más complejo de disposición. Por lo tanto, la GMAW es menos portable y versátil, y debido al uso de un gas de blindaje separado, no es particularmente adecuado para el trabajo al aire libre. Sin embargo, debido a la velocidad media más alta en la que las soldaduras pueden ser terminadas, la GMAW es adecuada para la soldadura de producción. El proceso puede ser aplicado a una amplia variedad de metales, tanto ferrosos como no ferrosos.

Existen varios procedimientos:

- Con electrodo refractario (método **TIG**).

El arco salta entre el electrodo de Wolframio o tungsteno (que no se consume) y la pieza, el metal de aportación es una varilla sin revestimiento de composición similar a la del metal base. En la figura 2.5 se aprecian los elementos presentes en este tipo de proceso de soldadura.

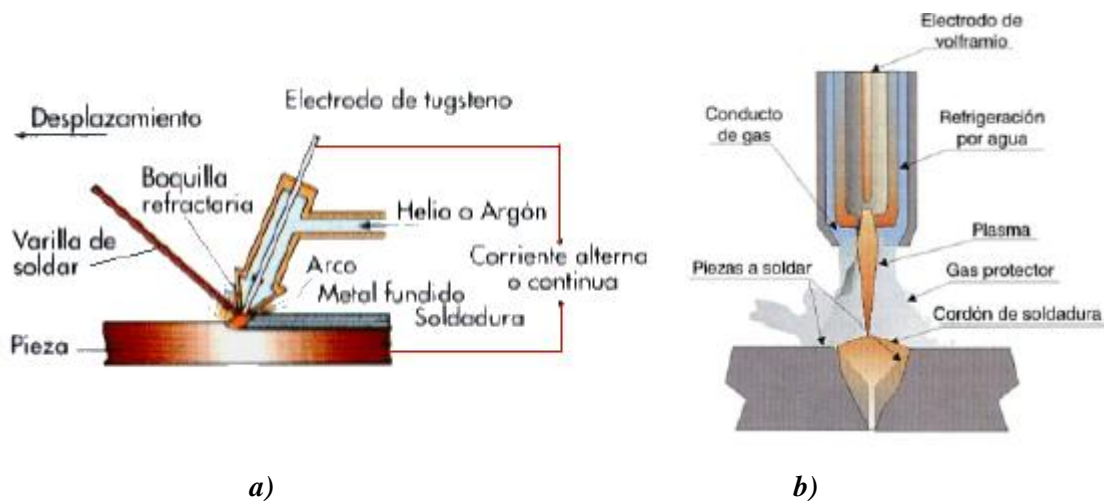


Figura 2.5: Elementos de la soldadura por arco en atmósfera inerte y con electrodo no consumible o refractario; a) Vista lateral del proceso de soldadura, b) Vista frontal del proceso de soldadura

- Con electrodo consumible (método **MIG**).

Aquí se sustituye el electrodo refractario de wolframio por un hilo de alambre continuo y sin revestimiento que se hace llegar a la pistola junto con el gas. Según sea el gas así recibe el nombre, MIG (Metal Inert Gas = Gas de Metal Inerte). La soldadura por arco eléctrico puede realizarse empleando corriente continua o alterna. La tensión más favorable en corriente continua es de 25 a 30 voltios, pero para calibrar el arco al comenzar la tensión ha de ser de 70 a 100 voltios; por este motivo, es necesario intercalar una resistencia en serie que haga de regulador. La intensidad de corriente está

comprendida entre 30 y 300 amperios, según la amplitud y la profundidad de la soldadura que se vaya a realizar. Las máquinas de corriente alterna para soldadura llevan un transformador que reduce la tensión de la red, generalmente de 220 voltios, a la de soldadura (inferior a 70 voltios). Estos equipos son más sencillos y económicos; por eso son los más empleados, sobre todo para algunos trabajos que se realizan en pequeños talleres. En la Figura 2.6 se pueden observar los equipos y materiales necesarios para llevar a cabo este tipo de procesos de soldadura. [6]

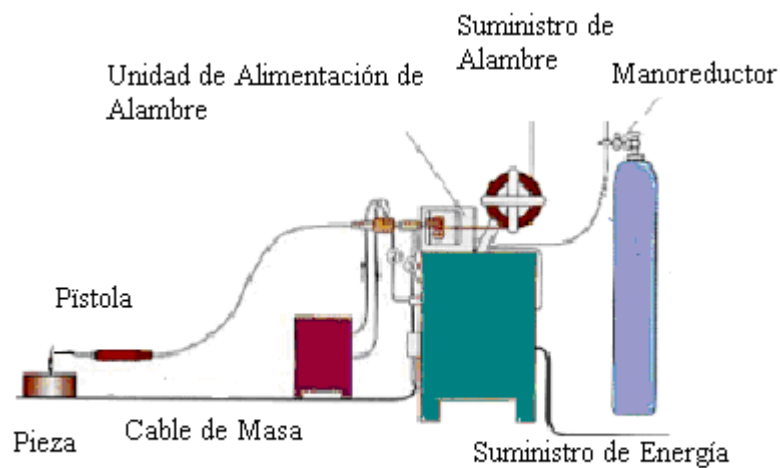


Figura 2.6: Elementos de la soldadura por arco en atmósfera inerte y con electrodo consumible

2.1.4 Soldadura tipo MIG

Este sistema está definido por la AWS como un proceso de soldadura al arco, donde la fusión se produce por calentamiento con un arco entre un electrodo de metal de aporte continuo y la pieza, donde la protección del arco se obtiene de un gas suministrado en forma externa, el cual protege de la contaminación atmosférica y ayuda a estabilizar el arco. El proceso MIG está definido como un proceso, de soldadura, donde la fusión, se produce debido al arco eléctrico, que se forma entre un electrodo (alambre continuo) y la

pieza a soldar. La protección se obtiene a través de un gas, que es suministrado en forma externa.

a. Clasificación del proceso MIG

El proceso puede ser:

- **Semiautomático:**

La tensión de arco (voltaje), velocidad de alimentación del alambre, intensidad de corriente (amperaje) y flujo de gas se regulan previamente. El arrastre de la pistola de soldadura se realiza manualmente.

- **Automático**

Todos los parámetros, incluso la velocidad de soldadura, se regulan previamente, y se aplican en forma automática.

- **Robotizado**

Este proceso de soldadura, se puede robotizar a escala industrial. En este caso, todos los parámetros y las coordenadas de localización de la unión a soldar; se programan mediante una unidad específica para este fin. La soldadura la realiza un robot al ejecutar la programación.

b. Condiciones operacionales

El comportamiento del arco, el tipo de transferencia del metal a través del mismo, la penetración, forma del cordón, etc., están condicionados por una serie de parámetros entre los que se destacan:

- **Polaridad**

Afecta al tipo de transferencia, penetración, velocidad de fusión del alambre, etc. Normalmente, se trabaja con polaridad inversa (DC +).

- **Tensión de arco (Voltaje)**

Este parámetro puede regularse a voluntad desde la máquina soldadora y resulta determinante, en el tipo de transferencia

- **Velocidad de alimentación del alambre**

En este proceso no se regula previamente la intensidad de corriente (amperaje), sino que ésta, por el fenómeno de autorregulación, resulta de la velocidad impuesta al alambre.

- **Naturaleza del metal base**

Presenta una notable influencia, sobre el tipo de transferencia del metal, penetración, aspecto del cordón, proyecciones, etc.

- **La porosidad**

Dentro de los defectos típicos a saber, se encuentra la porosidad. Esta se debe en general, a deficiente protección gaseosa (exceso y/o insuficiencia) durante la operación de soldadura. El gas tiene por misión proteger el electrodo de alambre en fase de fusión y el baño de soldadura, del acceso de aire.

- **Rodillos de arrastre inadecuados**

Los rodillos de arrastre son elementos de la unidad de alimentación de alambre. El caso más simple del sistema es aquel que lleva un solo rodillo de arrastre y otro de apoyo presionado por un resorte regable contra el primero.

El rodillo de arrastre presenta una ranura en la que se encaja el alambre. La ranura puede tener una sección semicircular y estar provistas de estrías, Así el arrastre es excelente, pero las estrías, muerden el alambre desprendiendo el recubrimiento de cobre como polvo

metálico y viruta de acero que penetra en todos los elementos de la unidad de alimentación (devanadora, tubo guía del alambre, entre otros). Por otro lado, las estrías o marcas producidas en el alambre actúan como una lima sobre las paredes internas del tubo de contacto o boquilla, acelerando el desgaste. Por esta razón se prefiere adoptar el perfil triangular (rodillo en "V").

Las distintas posibilidades de arrastre que se presentan con este tipo de perfil son:

1. Si el diámetro del alambre es mayor que el ancho del perfil entonces el alambre será mordido produciendo que se desprendan cobre y viruta de acero.
2. Si el diámetro del alambre es igual al ancho del perfil o ligeramente inferior y la presión de rodillos no es excesiva, entonces habrá un buen arrastre.
3. Si el diámetro del alambre es inferior al ancho del perfil entonces no habrá arrastre, sino resbalamiento.
4. Si la presión en rodillos es alta, el alambre será deformado, y se producirá desprendimiento de cobre. El perfil que presentara el alambre no será circular.
5. Si la presión de rodillos es baja, no se producirá arrastre, sino resbalamiento.

El inconveniente del perfil triangular (rodillo en "V") es el exceso de presión que deforma el alambre.

Una solución a esto último es la utilización de dos pares de rodillos para no ejercer toda la presión, sobre un mismo punto del alambre. [7]

c. Sistema MIG pulsado sinérgico:

Los procesos semiautomáticos de soldadura, son los que han tenido el mayor desarrollo en la última década, debido a la necesidad de aumentar el producto final y reducir costos.

Sin embargo, a pesar de la evolución lograda, aún existen soldaduras que no es posible realizar satisfactoriamente con este sistema, tal como la soldadura en toda posición de aceros inoxidable y aluminios.

Para solucionar estos inconvenientes, uno de los mayores fabricantes de equipos para soldar en el mundo, desarrolló un sistema que revolucionó a la soldadura moderna, llamado el sistema MIG Pulsado Sinérgico.

Estudios sobre la formación y transferencia de las gotas de metal en el proceso de la soldadura, han entregado información valiosa, sobre el calor necesario para fundir el alambre para soldar, así como sobre el efecto del gas protector en la transferencia del alambre en el baño de soldadura. En base a estos resultados, el instituto de soldaduras Inglés desarrolló un nuevo proceso denominado MIG Pulsado Sinérgico, que utiliza mezcla de gases para soldar aluminio, acero inoxidable y acero al carbono. Hasta ahora las fuentes de poder utilizadas en el MIG Pulsado Sinérgico, fueron equipos especiales, fabricados para laboratorios de soldadura a un alto costo. Sin embargo, con el avance de las técnicas de circuitos de estado sólido y de microprocesador, fue posible desarrollar una fuente de poder para MIG Pulsado Sinérgico, basada en la técnica del ciclo convertidor de frecuencia; el resultado es de PS 5000, del Multisistema INDURA / KEMPPI. Este equipo de fácil manejo, puede ser operado en forma eficiente por personas no especializadas en soldadura. [8]

d. Las Transferencias Metálicas.

d.1 La transferencia Spray:

El metal es transportado a alta velocidad en partículas muy finas a través del arco. La fuerza electromagnética es bastante fuerte para expulsar las gotas desde la punta del electrodo en forma lineal con el eje del electrodo, sin importar la dirección a la cual el electrodo esta apuntado. Se tiene transferencia spray al soldar con argón, acero inoxidable y metales no ferrosos como el aluminio.

d.2 Transferencia Globular:

El metal se transfiere en gotas de gran tamaño, la reparación de las gotas ocurre cuando el peso de estas excede la tensión superficial que tiende a sujetarlos en la punta del electrodo.

La fuerza electromagnética que actuaría en una dirección para reparar la gota es pequeña con relación a la fuerza de gravedad en el rango de transferencia globular (sobre los 250Amp.). La transferencia globular se obtiene al soldar acero dulce en espesores mayores a 12,7 mm (1/2") en que se requiere gran penetración.

d.3 Transferencia de corto circuito:

d.3.1 MIG - S

La sociedad americana de soldadura define el proceso MIG - S como "Una variación del proceso de soldadura al arco con electrodo metálico y gas en el que el electrodo consumible es depositado mediante corto - circuitos repetidos"

El electrodo es alimentado a una velocidad constante, con un promedio que excede la velocidad de fusión. Cuando entra en contacto con el baño fundido se produce un corto circuito, durante el cual no existe arco. Luego la corriente comienza a elevarse y calienta el alambre. Al mismo tiempo, el alambre comienza a deformarse o angostarse.

Debido a que no hay un arco establecido durante el corto circuito, el aporte total de calor es bajo, al igual que la profundidad de calor; por lo tanto, debe haber sumo cuidado al seleccionar el procedimiento y técnica de soldadura que aseguren una función completa cuando se esté soldando un metal grueso. Debido a sus características de bajo aporte de calor, el proceso produce pequeñas zonas de soldadura fundida de enfriamiento rápido que lo hacen ideal para soldar en todas posiciones.

La transferencia de corto circuito es también especialmente adaptable a la soldadura de láminas metálicas con un mínimo de distorsión y para llenar vacíos o partes más ajustadas con una tendencia menor al sobrecalentamiento de la parte que se está soldando. [8]

d.3.2 MIG pulsado (MIG - P)

En esta variación, la fuente de energía entrega dos niveles de salida: Un nivel de fondo constante, muy bajo en magnitud como para producir la transferencia, pero capaz de mantener un arco; y un nivel pulsado de alta intensidad que produce la fusión de las gotas del electrodo, que son luego transferidas a través del arco. Este pulso de salida se da en intervalos regulares controlados. La corriente puede tener ciclos entre un valor alto y bajo hasta varios cientos del ciclo, por segundo. El resultado neto es la producción de arco spray con niveles de corriente promedio mucho más bajos que la corriente de transición necesaria para un diámetro y tipo de electrodo determinados.

En la soldadura spray pulsada el gas de protección debe ser capaz de soportar la transferencia spray. El metal es transferido a la pieza a ser soldada sólo durante el pulso de alta corriente. Lo ideal es que una gota sea transferida por cada pulso. El nivel bajo de corriente promedio resultante permite la soldadura de metales base menores de 3 mm de espesor (1/8".) con una transferencia de metal del tipo spray. La soldadura spray pulsada se puede utilizar para soldar en todas las posiciones.

d.4 Transferencia de metal con alta densidad de corriente

La transferencia de metal con una alta densidad de corriente es el nombre que se da al sistema MIG con características específicas creadas con una combinación única de velocidad de alimentación del alambre, extensión del alambre y gas de protección. Las velocidades de depositación del metal fluctúan entre 4,5 y 25 kg/hr, cuyo límite superior en la práctica es de 18 kg/hr. Este rango fluctúa entre 3,6 y 5,4 kg/hr para la mayoría de los sistema MIG spray pulsados. Las características del arco de alta densidad de

transferencia de metal se pueden dividir además en transferencia spray rotacional y transferencia spray no-rotacional.

e. Equipo para la soldadura MIG

e.1 Generador de soldadura.

Los generadores más adecuados para la soldadura por el procedimiento MIG son los rectificadores y los convertidores (aparatos de corriente continua). La corriente continua con polaridad inversa mejora la fusión del hilo, aumenta el poder de penetración, presenta una excelente acción de limpieza y es la que permite obtener mejores resultados. En la soldadura MIG, el calor se genera por la circulación de corriente a través del arco, que se establece entre el extremo del hilo electrodo y la pieza. La tensión del arco varía con la longitud del mismo. Para conseguir una soldadura uniforme, tanto la tensión como la longitud del arco deben mantenerse constantes. En principio, esto podemos lograrlo de dos formas; (1) Alimentando el hilo a la misma velocidad con que éste se va fundiendo; o (2), fundiendo el hilo a la misma velocidad con que se produce la alimentación.

Los generadores convencionales de intensidad constante, utilizados en la soldadura por arco, con electrodos revestidos, suministran una corriente de soldadura que permanece prácticamente constante, aunque la tensión de arco varíe dentro de ciertos límites. La característica voltaje-intensidad nos indica como varía la intensidad, en relación con el voltaje, en el circuito de soldadura, desde la situación del circuito abierto (no circula corriente), hasta la condición cortocircuito (electrodo tocando la pieza).

Los generadores de características descendentes suministran el máximo voltaje cuando el circuito está abierto, es decir, cuando no circula corriente. Esto permite disponer de un voltaje elevado con vistas a cebar el arco. Durante la operación de cebado, en el momento

en que el electrodo entra en contacto con la pieza, la intensidad alcanza su valor máximo, mientras el voltaje cae hasta su valor mínimo. A continuación, al separar el electrodo, el voltaje aumenta hasta alcanzar un valor adecuado para mantener al arco, y la intensidad disminuye estabilizándose al valor normal seleccionado para el trabajo a realizar. Durante la soldadura, el voltaje varía directamente, y la intensidad inversamente con la longitud del arco. Esto permite mantener un razonable control de la aportación de energía. Cuando se utiliza uno de estos generadores en la soldadura MIG, la velocidad de alimentación del hilo debe ajustarse entre límites muy estrechos, para evitar que el extremo del mismo, se estrelle contra el baño, por no fundir suficientemente rápido; o se vaya quedando escondido en la boquilla, por fundir muy de prisa. Aunque el soldador puede ajustar la velocidad del hilo a una longitud de arco determinada, mediante dispositivos electrónicos de control, al variar la distancia desde la boquilla de la pieza, variará la longitud del arco con la consiguiente alteración en el voltaje repercuten negativamente en la uniformidad de la soldadura. [8]

Para atender a las particulares de este procedimiento y con vistas a conseguir un control más efectivo del arco de soldadura, se han desarrollado los generadores de potencial constante. Este tipo de aparatos presenta una característica voltaje-intensidad, casi horizontal. Aunque su voltaje en circuito abierto (tensión en vacío), es menor que en los generadores de característica descendente, mantiene, aproximadamente, el mismo voltaje, independiente de la corriente que circule. De acuerdo con esto, cuando se suelda con este tipo de generadores se dispone de una intensidad casi ilimitada para fundir el hilo de aportación. La principal cualidad de estos generadores estriba en su capacidad de autorregulación, que les permite mantener un arco de longitud, prácticamente constante. De acuerdo con esto, para un reglaje dado del generador, el soldador puede variar la velocidad de la alimentación del hilo dentro de los amplios límites, que sin esto afecte a la longitud del arco. La estabilidad de la longitud del arco tampoco se ve afectada al variar la distancia entre la boquilla y la pieza. Por ejemplo, si el arco tiende a acortarse, automáticamente se produce un aumento de la intensidad de la corriente, que funde el hilo más rápidamente y restablece la longitud inicial. De la misma forma, si el arco intenta

alargarse, la intensidad de la corriente disminuye automáticamente, el hilo, que se alimenta a velocidad constante, funde más despacio y el arco vuelve a su longitud normal. En otras palabras, los generadores de potencial constante suministran la intensidad adecuada a la velocidad de alimentación que se establezca. Si la velocidad de alimentación aumenta o disminuye, la intensidad varía en el mismo sentido, de forma que la longitud de arco se mantenga constante. Gracias a esta propiedad de autorregulación, no se necesitan soldadores de gran habilidad para obtener buenas soldaduras. En cuanto al reglaje, sólo se actúa sobre dos elementos básicos: un reóstato, situado sobre el generador, que permite seleccionar el voltaje adecuado, y otro, sobre mecanismo de alimentación, para controlar la velocidad del hilo electrodo.

En los generadores de potencial constante no se dispone de ningún sistema para el reglaje de la intensidad de corriente, pues ésta se adapta, automáticamente, a la velocidad de alimentación seleccionada.

e.2 Pistola de soldadura

Las Pistolas de soldadura tienen la misión de dirigir el hilo de aportación, el gas protector y la corriente hacia la zona de soldadura. Pueden ser de refrigeración natural (por aire) o de refrigeración forzada (mediante agua). Las primeras se utilizan, principalmente, en la soldadura de espesores finos. Cuando se emplea el argón como gas protector, pueden soportar intensidades de hasta 200 amperios. Por el contrario, cuando se protege con CO₂, pueden soportar mayores intensidades (hasta 300 amperios), debido a la energética acción refrigerante de este gas. Las pistolas refrigeradas por agua suelen emplearse cuando se trabaja con intensidades superiores a 200 amperios.

Algunas pistolas llevan incorporado un sistema de tracción, constituidos por unos pequeños rodillos, que tiran del hilo electrodo, ayudando al sistema de alimentación. Otras, por el contrario, no disponen de este mecanismo de tracción, limitándose a recibir el hilo que viene empujado desde la unidad de alimentación. Las pistolas con sistema de

tracción, limitándose a recibir el hilo que viene empujado desde la unidad de alimentación. Las pistolas con sistema de tracción incorporado son adecuadas cuando se trabaja con alambres de pequeño diámetro, o con materiales blandos como el aluminio y el magnesio. Las segundas se recomiendan para alambres de diámetros más gruesos y materiales de mayor rigidez, como los aceros al carbono y los aceros inoxidable.

Las pistolas de soldadura disponen de un gatillo (o un pulsador), que controla el sistema de alimentación de alambre, la corriente de soldadura, la circulación de gas protector y la del agua de refrigeración. Al soltar dicho pulsador, se extingue el arco y se interrumpe la alimentación del alambre, así como la circulación de gas y agua. La mayoría de los equipos incluyen un temporizador que, al extinguirse el arco, retrasa el cierre de la válvula de gas, manteniendo la circulación del mismo hasta que solidifica el extremo del cordón. [8]

f. Diagrama esquemático del equipo MIG:

A continuación se enumeran las partes que constituyen un equipo de soldadura M.I.G, y las mismas se ven representadas en la figura 2.7.

1. Bobina
2. Alambre
3. Rodillos alimentadores
4. Guía de alambre
5. Paquete de mangueras
6. Pistola de soldar
7. Boquilla de contacto
8. Gas de protección
9. Buza de gas
10. Arco eléctrico
11. Baño de fusión
12. Fuente de corriente

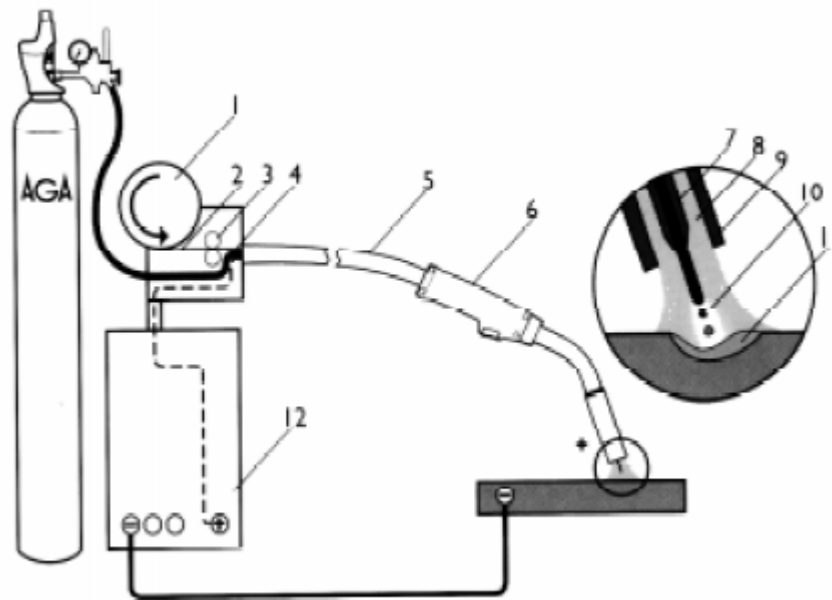


Figura 2.7: Partes de un equipo de soldadura MIG/MAG.

g. Beneficios del sistema MIG.

- 1.- No genera escoria.
- 2.- Alta velocidad de deposición.
- 3.- Alta eficiencia de deposición.
- 4.- Fácil de usar.
- 5.- Mínima salpicadura.
- 6.- Aplicable a altos rangos de espesores.
- 7.- Baja generación de humos.
- 8.- Es económica.
- 9.- La pistola y los cables de soldadura son ligeros haciendo más fácil su manipulación.
- 10.- Es uno de los más versátiles entre todos los sistemas de soldadura.
- 11.- Rapidez de deposición.
- 12.- Alto rendimiento.

13.- Posibilidad de automatización

h. Parámetros de la soldadura:

En la soldadura MIG/MAG hay una serie de parámetros que afectan el proceso de soldadura y la soldadura final. Se diferencia entre parámetros predeterminados, parámetros dependientes del equipo y parámetros dependientes del operario. [5]

h.1 Parámetros predeterminados:

- Tipo de electrodo.
- Diámetro del electrodo.
- Tipo de gas de protección.
- Flujo de gas de protección.

Estos parámetros se eligen antes de iniciar la soldadura, y se determinan según el material a soldar, el tipo de unión y la posición de soldadura.

h.2 Parámetros dependientes del equipo:

- Velocidad de alimentación del alambre.
- Tensión.
- Inductancia.

Estos parámetros se ajustan en el equipo de soldadura.

h.3 Parámetros dependientes del operario:

- Velocidad de soldadura.
- Distancia de la boquilla de contacto a la pieza.
- Inclinación de la pistola.

Estos parámetros dependen de la habilidad como soldador para manejar la pistola.

CAPÍTULO III

Marco metodológico

3.1 NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN.

La investigación realizada presenta un nivel experimental esto en virtud de que se ha cumplido con el objetivo planteado a partir de la aplicación de diversos estudios bajo normas específicas, a los materiales seleccionados.

De igual forma este trabajo especial de grado se define como descriptivo porque se analizan comparativamente el comportamiento de dos parámetros, voltaje e intensidad de corriente bajo un mismo método de soldadura MIG.

3.2 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.

Según su naturaleza la investigación se encuentra enmarcada en la modalidad de Proyecto Factible el cual es definido por el Manual de Trabajos de Grados y Especialización Maestrías y Tesis Doctorales de la UPEL (2003) como:

“El Proyecto Factible consiste en la investigación, elaboración y desarrollo de una propuesta de un modelo operativo viable para solucionar problemas, requerimientos o necesidades de organizaciones o grupos sociales; puede referirse a la formulación de políticas, programa, tecnologías, métodos o procesos”.

Esto debido a que se ha desarrollado un plan o programa viable enmarcado en un conjunto de estrategias que han permitido cumplir con cada uno de los objetivos del proyecto.

Este se encuentra sustentado en una investigación de campo, definida por el Manual de Trabajos de Grados y Especialización Maestrías y Tesis Doctorales de la UPEL (2003) como:

“El análisis sistemático de problemas en la realidad con el propósito bien sea de describirlo, interpretarlo, entender su naturaleza y factores constituyentes, explicar sus causas y sus efectos o predecir su ocurrencia.”

Esto basado en el hecho de que al momento de realizar los ensayos y de igual manera la toma y análisis de datos se estuvo en contacto directo con los diferentes elementos, instrumentos de medición, equipo de soldadura, equipos para la realización de ensayos, materiales, permitiendo esto tener una mayor certeza en cuanto a los factores que pudiesen afectar los resultados obtenidos.

El mismo también se fundamenta en una investigación de tipo documental, definida por el Manual de Trabajos de Grados y Especialización Maestrías y Tesis Doctorales de la UPEL (2003) como: “Aquella que tiene como propósito ampliar y profundizar el conocimiento de la naturaleza del problema, con apoyo, principalmente, en trabajos previos, información y datos divulgados por medios impresos, audiovisuales o electrónicos.”

Esto en virtud de que cada uno de los procedimientos experimentales llevados a cabo para determinar las propiedades de los materiales empleados antes y después de haber sido soldados han sido fundamentados en bases teóricas compiladas en normas estandarizadas.

3.3 Población y Muestra:

La población estudiada está representada por los Aceros AISI 1010 y 1045; mientras que la muestra está conformada por 26 probetas de cada material, distribuidas de la siguiente manera:

Tabla N° 3.1: Población y muestra en estudio

Población	Acero AISI 1010	Acero AISI 1045
Muestra 1	18 Probetas para tracción	18 Probetas para tracción
Muestra 2	2 Probetas para dureza	2 Probetas para dureza
Muestra 3	3 Probetas para macroscopía	3 Probetas para macroscopía
Muestra 4	3 Probetas para microscopía	3 Probetas para microscopía

El número de muestras para cada ensayo ha sido seleccionado tomando en consideración el hecho de que se desea obtener resultados finales precisos en la investigación; es por ello que los ensayos se fundamentan en la repetibilidad y en las condiciones de repetibilidad de los mismos.

Repetibilidad: indica el grado de acuerdo entre resultados mutuamente independientes de un ensayo, obtenidos utilizando el mismo método, en idénticos materiales, en el mismo laboratorio, por el mismo operador, usando el mismo equipo y en un intervalo corto de tiempo.

Condiciones de repetibilidad: Condiciones en que los resultados de un ensayo se obtienen mediante la aplicación del mismo método por el mismo ejecutor a elementos de ensayo idénticos y en el mismo laboratorio, utilizando el mismo equipo a breves intervalos de tiempo. [12]

3.4 Materiales, equipos y herramientas a utilizar:

A continuación se presenta una descripción de los materiales, equipos y herramientas, utilizados en la elaboración de las probetas así como también en la realización de los ensayos.

3.4.1 Materiales:

Los materiales empleados en la realización de las probetas se dividen en dos grupos: materiales base y material de aporte.

3.4.1.1 Material Base.

Este grupo se encuentra constituido por las 8 láminas de acero AISI 1010 y 1045, usadas para realizar las uniones soldadas de cada uno de estos materiales, cuyas dimensiones se encuentran definidas en el apartado III.5.3 de esta investigación, así como también de una lámina de cada material empleada para obtener las probetas de caracterización. Esto en virtud de poder cumplir con los requerimientos de material planteados en la población y muestra para la realización de los diversos ensayos.

3.4.1.2 Material de Aporte.

Este se encuentra constituido por el electrodo utilizado en el proceso de soldadura M.I.G., tomando en consideración los materiales que fueron soldados y empleando para su determinación las recomendaciones de los catálogos Lincoln [11]

Tabla N° 3.2: Composición Química del material de aporte según AWS: A5 18-01

Material	C (%)	Si (%)	Mn (%)	S (%)	P (%)
Alambre ER 70S-6	0,06-0,15	0,80-1,15	1,40-1,85	0,035 max.	0.025 max.

Fuente: Indura

3.4.2 Equipos y herramientas:

3.4.2.1 Equipos y herramientas usados en el proceso de soldadura.

- ✓ Cierre de vaivén.
- ✓ Cepilladora
- ✓ Equipo de soldadura MIG marca ESAB modelo ARCO MIG ESAB 315, Rango de intensidad de corriente (0-315) A.
- ✓ Mandarina.
- ✓ Esmeril.
- ✓ Prensa de banco.

3.4.2.2 Equipos y herramientas usados en el proceso de fabricación de las probetas.

- ✓ Cizalla hidráulica para el corte de las láminas
- ✓ Fresadora
- ✓ Esmeril
- ✓ Lijas

3.4.2.1 Equipos y herramientas usados en la realización de los ensayos.

- ✓ Máquina de ensayos Universales marca GALDABINI, capacidad 20 Ton.
- ✓ Máquina de ensayos de Tracción marca HOYTOM. , capacidad 100 Ton.
- ✓ Durómetro marca ZWICK/ ZHU. Identador de punta de diamante de base piramidal.
- ✓ Marcador eléctrico marca DREMEL ENGRAVER.
- ✓ Desbastadora de cinta marca WILHELM SIMON KG.
- ✓ Desbastadora manual marca BUEHLER.
- ✓ Pulidora metalográfica manual marca BUEHLER.
- ✓ Microscopio óptico, marca UNITRON.
- ✓ Lijas, alúmina (0.3 μ y 0.05 μ) marca BUEHLER, Nital al 4%.

3.5 Procedimiento experimental:

En esta sección se presentan los pasos seguidos para el cumplimiento del objetivo fundamental de la investigación, incluyendo los procedimientos llevados a cabo en la obtención de las probetas y en la realización de los ensayos para el posterior análisis de sus resultados.

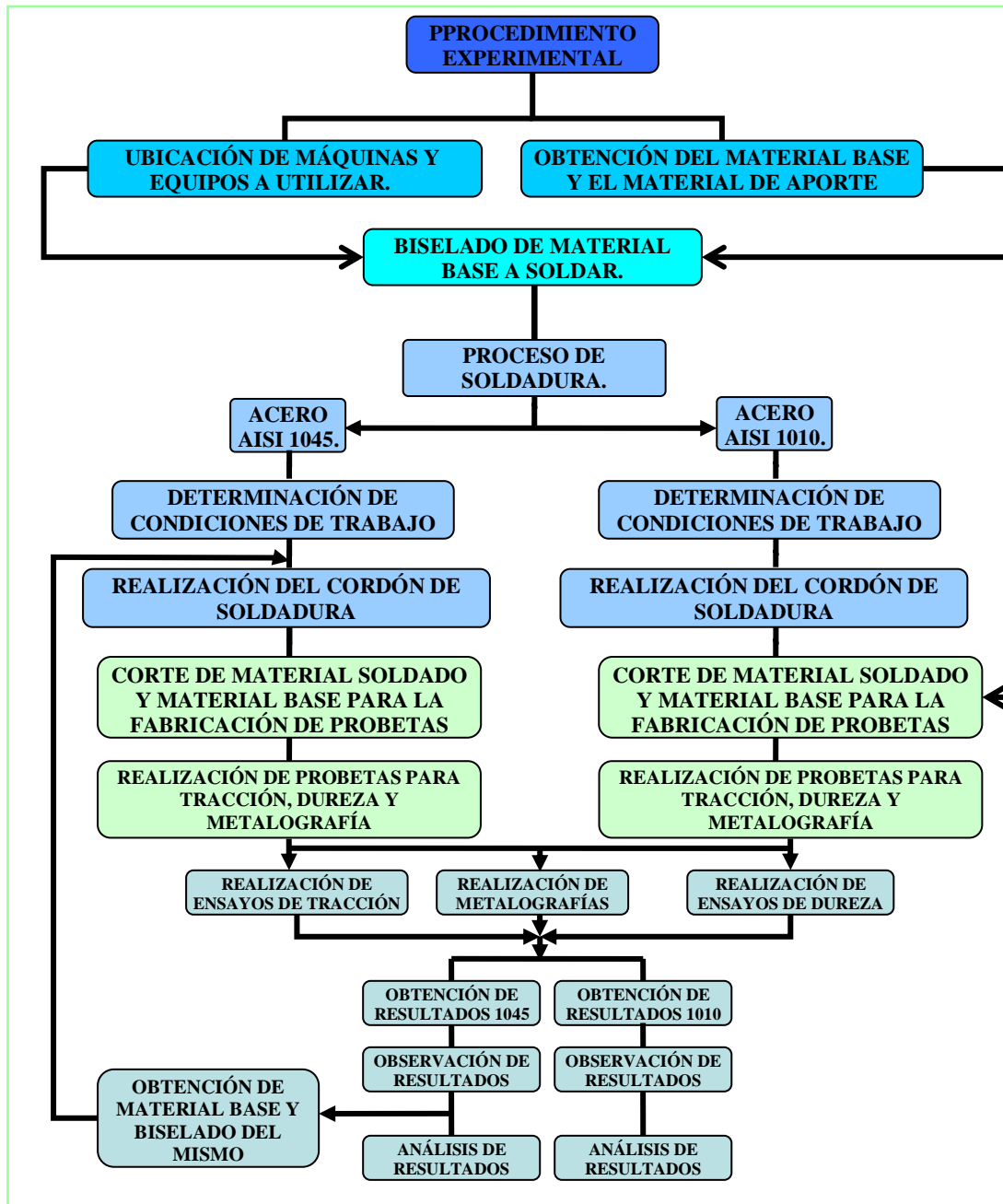


Figura N°3.1: Esquema del procedimiento experimental llevado a cabo

3.5.1 Ubicación de máquinas y equipos a utilizar:

Luego de haber establecido el procedimiento experimental a seguir para el cumplimiento de los objetivos del proyecto se procedió, primeramente, a la ubicación de cada uno de los equipos necesarios para la realización de las muestras que han sido empleadas. Es importante destacar el hecho de que las actividades se han desarrollado en diversos lugares, como se puede observar en la tabla N° 3.3, con la finalidad de lograr un mejor aprovechamiento del tiempo y los recursos requeridos en el desarrollo del proyecto.

Tabla N°3.3: Ubicación de los equipos y maquinarias empleadas.

MÁQUINA Ó EQUIPO	UBICACIÓN DE MÁQUINA Ó EQUIPO
Cierra de vaivén	Laboratorio de Procesos *
Cepilladora	Laboratorio de Procesos *
Máquina para soldadura MIG	Centro Nacional de Soldadura La Isabelica. Valencia y C.F.S Metalminero Maracay
Cizalla para corte de láminas en tiras	Empresa: Taller Industrial Manaure, Maracay edo. Aragua
Fresadora y equipos para realización de probetas de tracción.	Taller IMPLOMACA C.A., La Morita edo. Aragua
Equipos para realización de probetas de dureza y metalografía	C.F.S Metalminero Maracay
Máquina de ensayos Universales marca GALDABINI	Laboratorio de Materiales *
Máquina de ensayos de Tracción marca CPC HOYTOM, S.: -JML.	Laboratorio de metalografía y ensayos de C.E.D.E.A., La Victoria edo Aragua
Máquina de ensayos de Tracción	Laboratorio de Materiales de C.AV.I.M., Maracay edo. Aragua
Equipo para ensayos de dureza	C.F.S Metalminero Maracay
Microscopio óptico marca UNITRON.	C.F.S Metalminero Maracay y Laboratorio de materiales *

Los equipos y materiales cuya ubicación se encuentra marcada con un (*) se encuentran ubicados en la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad de Carabobo

3.5.2 Obtención del Material Base y el Material de Aporte:

El material base y el material de aporte fueron obtenidos a partir de la compra de los mismos en diversas empresas tomando en consideración en primera instancia la existencia de los mismos en el mercado y en segundo lugar el costo de los mismos. Los lugares de obtención del material base y el material de aporte pueden observarse en la tabla N° 3.4.

Tabla N°3.4: Obtención del material base y el material de aporte

Material	Lugar de Procedencia
Acero AISI 1045	FEERUM C.A
Acero AISI 1010	Oxicorte C.A.
Alambre ER 70S-6	Corporación Ferresoldar C.A.

3.5.3 Corte y Biselado de Láminas a soldar:

Las láminas inicialmente poseían dimensiones variables según la entrega de las mismas, las cuales pueden ser verificadas en los Anexos 3 y 4: pero las mismas debieron ser adaptadas a las mostradas en la tabla N° 3.5 tomando en consideración que la máquina cepilladora, donde se realizó el biselado de las láminas, posee una carrera máxima de 250 mm y además de ello se consideró el posible pandeo de las láminas durante este proceso y se tomó la decisión de biselar bajo las características antes mencionadas.

Esto para poder cumplir con las dimensiones exigidas por las normas *ASTM E 8M-04* y *AWS B4.0-ENGL 1998*, las cuales fueron tomadas como referencia a la hora de realizar los ensayos de tracción, siendo la primera de las normas la que rigió el mecanizado de las

probetas para la caracterización de los materiales y la segunda de ellas la que rigió el tipo de bisel de las probetas luego de que los materiales fueron unido por soldadura.

La distribución de estas láminas se puede apreciar en la tabla 3.5

Tabla N°3.5: Dimensiones de las láminas empleadas en el proceso de soldadura

Material	Cantidad de Láminas	Dimensiones máximas (mm)
Acero AISI 1045	4	205x127x10
Acero AISI 1045	4	160x127x10
Acero AISI 1010	4	205x127x6
Acero AISI 1010	4	160x127x6
Total de láminas	16	-----

3.5.4 Proceso de Soldadura:

III.5.4.1 Condiciones de Trabajo Fijadas:

Las láminas de Acero AISI 1045 así como las de Acero AISI 1010 fueron soldadas tomando en cuenta los siguientes pasos:

- **Diseño de junta:** A las láminas le fue realizado un bisel de 30° a cada una, para las de Acero AISI 1045 de 10 mm de espesor se fijo la unión con una luz de 3,18 mm (1/8”) y un talón de 1,59 mm (1/16”) tal como se muestra en la figura N° 3.2; mientras que para la de acero AISI 1010 sólo se estableció una luz de 1,59 mm (1/16”) como se muestra en la figura N° 3.3. La variación de la luz aplicada entre los materiales obedece a la diferencia de espesores de los mismos. El diseño de estas juntas se llevó a cabo tomando en consideración los datos presentados por la American Society for Metals ASM.

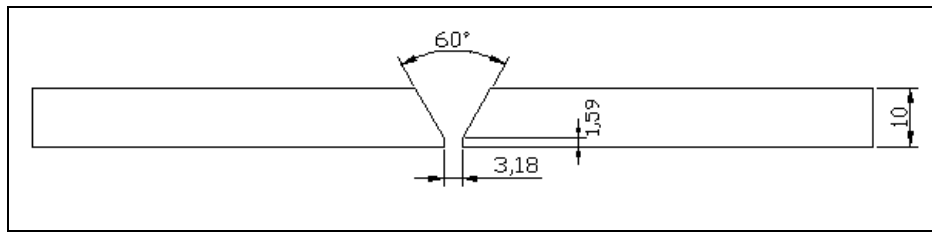


Figura N°3.2: Esquema de diseño de juntas soldadas de acero AISI 1045, dimensiones en mm.

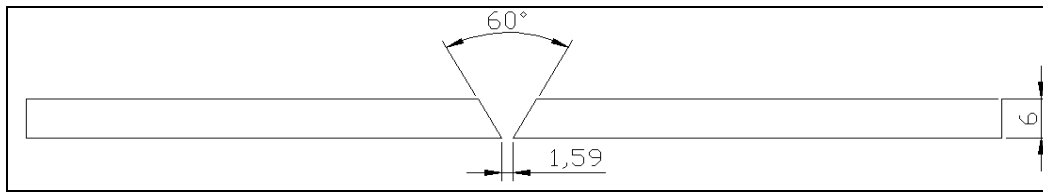


Figura N°3.3: Esquema de diseño de juntas soldadas de acero AISI 1010, dimensiones en mm.

- Máquina utilizada: como se mencionó anteriormente las máquinas empleadas fueron facilitadas por: el Centro Nacional de Soldadura La Isabelica, Valencia y el C.F.S. Metalminero Maracay, así como los soldadores certificados. En la tabla N° 3.6 podremos observar las características más relevantes de las máquinas de soldadura empleadas.

Tabla N°3.6: Características de las máquinas de soldadura empleadas.

Marca y modelo del equipo de soldadura MIG	Voltaje (V)	Rango de Intensidad de Corriente (Amp.)	Ubicación
Marca ESAB modelo ARCO MIG ESAB 315	20-40	(0-315)	La Isabelica, Valencia
Marca ESAB modelo ARCO MIG ESAB 315	20-40	(0-315)	Maracay

- Intensidades de trabajo: la intensidad de corriente constituye uno de los parámetros ha ser fijado en este proyecto, el más importante para ser más

específicos, por ello se necesitan obtener láminas soldadas con diferentes valores de intensidad, en el desarrollo del proyecto se consideraron dos variaciones de ésta, luego de haber sido establecido un valor máximo y un valor mínimo por parte del operador luego de la realización de algunas pruebas, esto tomando en consideración los parámetros recomendados por la LINCOLN ELECTRIC en su guía de soldadura MIG/MAG; estos valores máximos fueron estipulados de la siguiente forma de acuerdo a cada material tal como se muestra en la tabla N° 3.7.

Tabla N°3.7: Valores límites de intensidad de corriente establecidos para cada material.

Material	Valor Mínimo (Amp.)	Valor Máximo (Amp.)
Acero AISI 1045	150	200
Acero AISI 1010	130	170

De igual manera luego de haber establecido los parámetros anteriores se consideraron las intensidades de corriente con las que se trabajaría tomando en consideración para ello la opinión del soldador, la cual esta sustentada en la experiencia de éste en la realización de este proceso de soldadura; los valores de intensidad se definieron de acuerdo a la tabla N° 3.8.

Tabla N°3.8: Intensidades de trabajo.

Material	Intensidad 1 (Amp.)	Intensidad 2 (Amp.)
Acero AISI 1045	160	192
Acero AISI 1010	132	160

- **Voltaje de Trabajo:** Se trabajó con un voltaje comprendido entre el rango de 0-30 Voltios, al igual que los valores de intensidad el parámetro del voltaje

también se estableció tomando en consideración la opinión del soldador. Los mismos pueden observarse en detalle en la tabla N° 3.9

Tabla N° 3.9: Voltajes de trabajo

Material	Voltaje 1 (V)	Voltaje 2 (V)
Acero AISI 1045	24,3	28,8
Acero AISI 1010	20,7	24,2

- Electrodo y gas de trabajo: Se utilizó el alambre ER 70S-6, como se mencionó anteriormente y un gas Argomix compuesto en 75% de argón y 25 % CO₂. La selección de este alambre como material de aporte obedece primordialmente a su composición química, la estabilidad de su arco, el bajo nivel de salpicadura en el modo de corto circuito. Por otra parte la selección del argomix esta sustentada en el hecho de que al realizar el proceso de soldadura implementando Argón se obtiene una mejor protección del arco y una mayor cobertura del área de la soldadura en la posición plana, pero si a este gas se le trabaja junto al dióxido de carbono en las proporciones ya mencionadas las ventajas aumentan considerablemente, así al soldar laminas con un espesor menor a 3,2 mm se garantizan altas velocidades de soldadura sin perforar la lámina, mínima distorsión y poca salpicadura, mientras que al soldar láminas de espesores superiores a 3,2 mm se presentan mínima cantidad de salpicadura, apariencia de soldadura limpia, buen control del arco de soldadura en posiciones vertical y sobrecabeza. [11].

3.5.5 Realización de probetas para estudios:

3.5.5 .1 Corte de probetas para caracterización.

Las probetas para caracterización se obtuvieron a partir de una lámina de 160x250x6 mm para el acero AISI 1010 y una lámina de 160x250x10 mm para el acero AISI 1045, para el ensayo de tracción estas láminas fueron cortadas, en el Taller Industrial Manaure, ubicado en Maracay edo.Aragua, a fin de cumplir con la norma ASTM E 8M-04. No se considero el desecho puesto que el material como se expresó anteriormente en los apartados III.4.1.1 y III.5.3 fue dimensionado de tal manera que se logra obtener las probetas sin necesidad de que hubiese pérdida de material, logrando así reducir costos. Ver figura 3.4

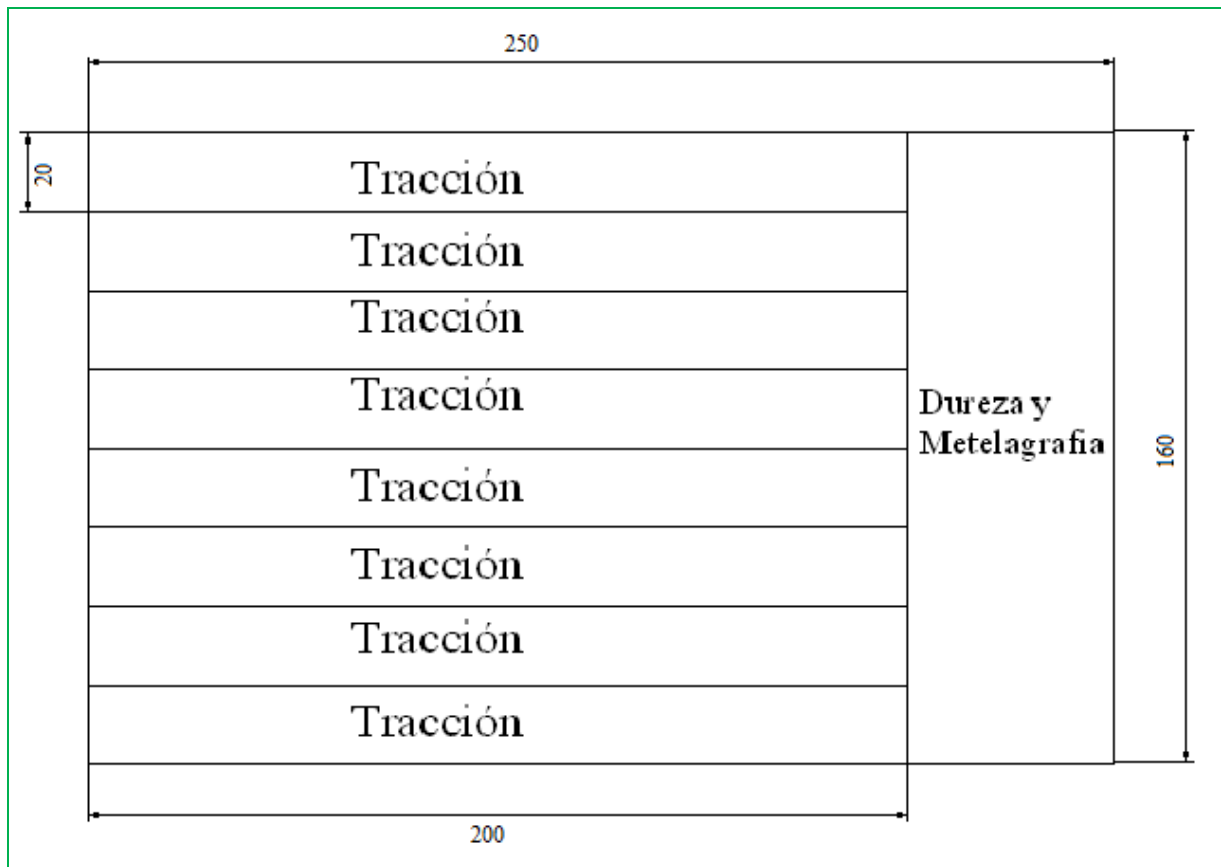


Figura N°3.4: Esquema de la distribución del material para caracterización, dimensiones en mm.

3.5.5 .2 Corte de probetas de juntas de soldadas.

Luego de obtener las juntas soldadas se procedió a cortar las láminas en tiras a fin de cumplir con las dimensiones base para la obtención de probetas de tracción según norma

AWS B4.0-ENGL 1998 para láminas de espesor menor a 1". Estos cortes fueron realizados en el Taller Industrial Manaure, ubicado en Maracay edo.Aragua. El esquema de los mismos se muestra a continuación en las figuras 3.5 y 3.6

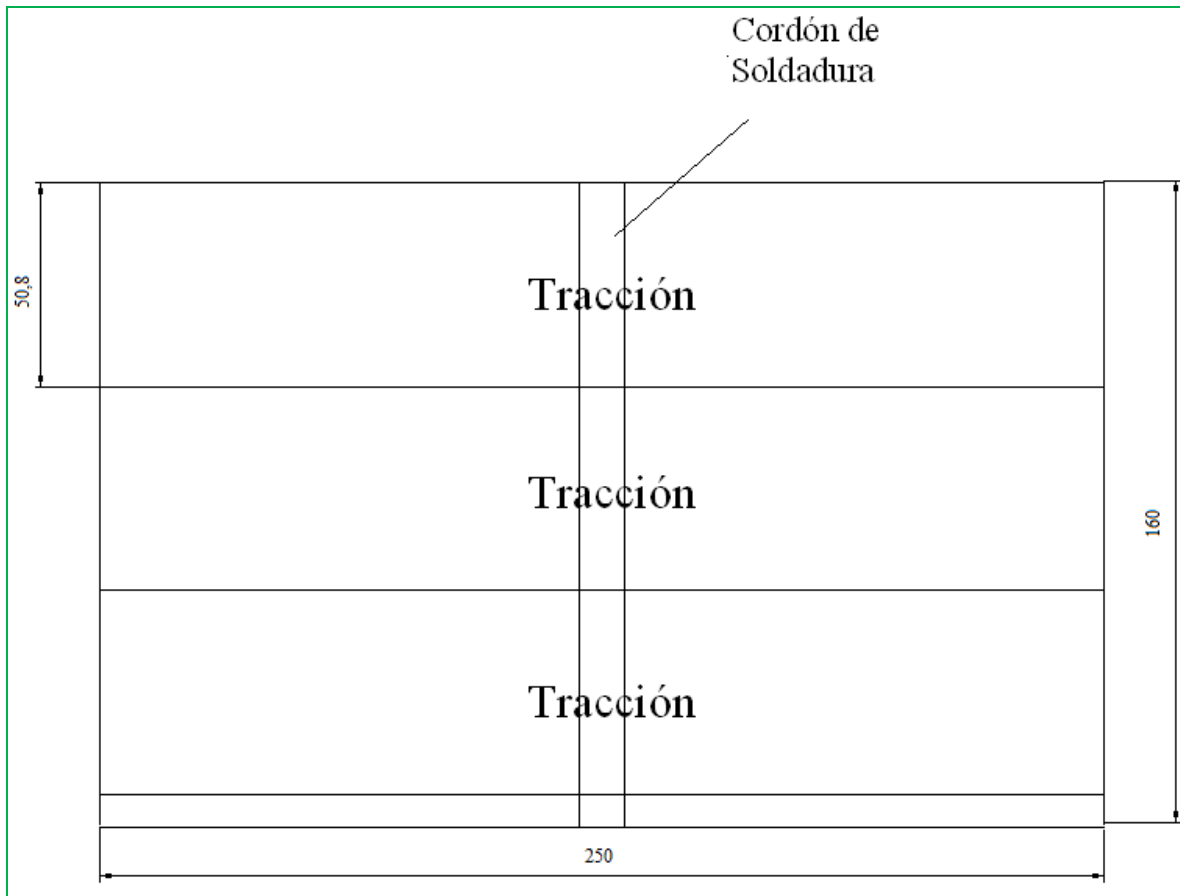


Figura N°3.5: Esquema de la distribución del material soldado, láminas de 160x250, dimensiones en mm.

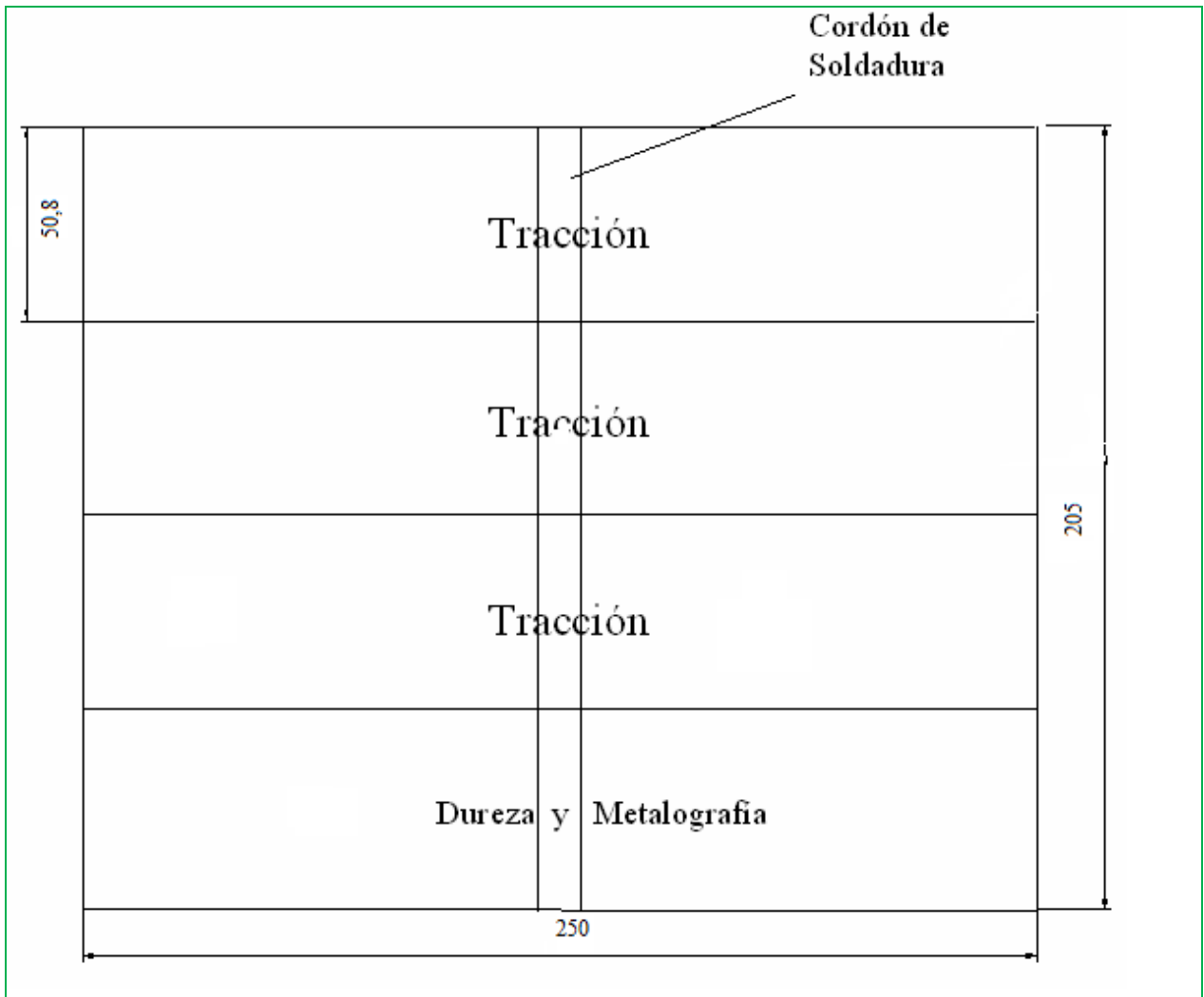


Figura N°3.6: Esquema de la distribución del material soldado, láminas de 205x250, dimensiones en mm.

La distribución del material en cada uno de los casos se hizo considerando los requerimientos del material para cada uno de los ensayos y a su vez se tomaron como referencias las dimensiones exigidas por la norma que reguló el mecanizado de las probetas para tracción, a saber la norma AWS B4.0-ENGL 1998. Es importante destacar que las dos láminas poseen una geometría diferente en virtud de que una de ellas fue empleada sólo para obtener tres (3) probetas para tracción mientras que a la otra además de proveer material para otras tres (3) probetas para ensayar a tracción también fue empleada para obtener las probetas de dureza y metalografía.[14]

3.5.5 .3 Mecanizado de Probetas.

Luego de haber realizado cortes respectivos se procedió con el mecanizado de las probetas a ser empleadas en los ensayos de tracción, las mismas fueron mecanizadas en el Taller IDOMA ubicado en La Morita edo Aragua. En las figuras 3.7 y 3.8 se pueden observar las dimensiones de las probetas a ensayar

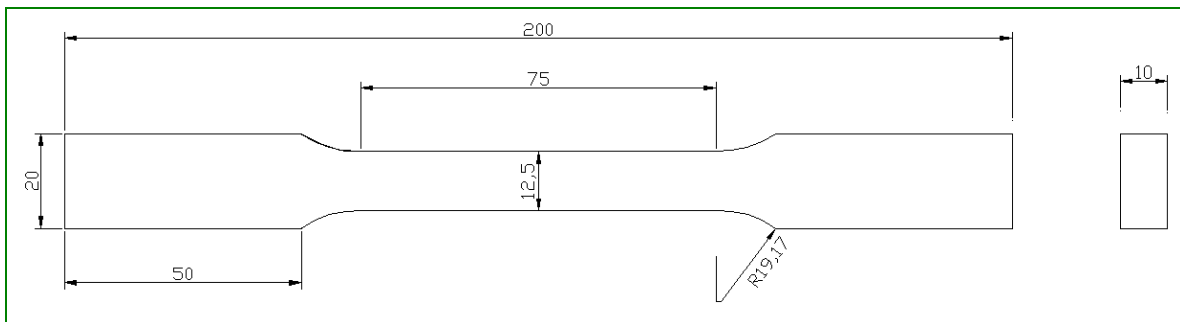


Figura N°3.7: Probeta de tracción según ASTM E 8M-04, dimensiones en mm

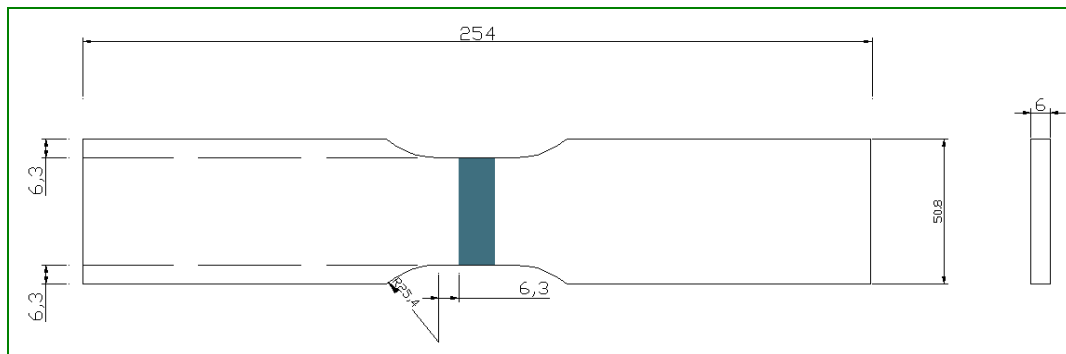


Figura N°3.8: Probeta de tracción según AWS B4.0-ENGL 1998, dimensiones en mm.

3.5.6 Realización de los ensayos.

Existe una variada gama de ensayos, tal como se observó en la sección b del apartado 2.1.1 de esta investigación, que permiten conocer las propiedades mecánicas de los materiales, a fin de conocer para que tipo de aplicaciones puede ser empleado dicho material; en esta investigación el objetivo primordial de la misma no escapaba de esa premisa mas sin embargo también se planteaba conocer de qué manera se veían afectadas dichas propiedades al someter al material a un proceso de soldadura para luego establecer bajo que condiciones se obtenían unos mejores resultados.

En esta investigación se han seleccionado ciertas propiedades a ser estudiadas, las cuales serán ensayadas y comparadas entre si para establecer el resultado más óptimo; estas propiedades serán obtenidas a partir de los siguientes ensayos:

3.5.6 .1 Ensayo de Tracción.

Se ensayaron muestras, cuya distribución se presentará en el apartado III.5.7, bajo las normas ASTM E 8M -04 para el proceso de caracterización de los materiales y la norma AWS B4.0-ENGL 1998 para las láminas unidas a través de la soldadura.

Para este ensayo se sometieron a prueba 6 muestras para caracterización e igual número para cada intensidad de corriente trabajada, en cada uno de los materiales, lo que da un total de 36 muestras ensayadas. El número de probetas ensayadas se fundamenta en el hecho de que al realizar más ensayos al material se pueden llegar a obtener resultados más precisos.

Es importante destacar el hecho de que para este ensayo se emplearon tres equipos de tracción diferentes, ubicados como se mostró en la tabla N° 3.3



Figura N°3.9: Máquina de ensayos universales HOYTOM, modelo DI-CP/V2 100 Ton.



Figura N°3.10: Control de velocidad de la Máquina de ensayos universales HOYTOM, modelo DI-CP/V2



Figura N°3.11: Máquina de ensayos universales GALDABINI 20Ton.

3.5.6 .2 Ensayo metalúrgicos.

Para este ensayo se utilizó la norma ASTM E18 - 08b, se cortaron 6 muestras en total, 1 de cada material a las diferentes intensidades (4 en total) y 1 de cada material base (2 en total), estos fueron cortados a partir de un esmeril y una cierra mecánica, garantizando durante el proceso de corte que el material no se calentara lo suficiente como para afectar la zona a ser estudiada. Para la preparación de las muestras se procedió a desbastar empleando una máquina desbastadora de cinta marca WILHELM SIMON KG empleando lijas 80 y 180, ver figura N° 3.11, luego empleando una desbastadora de tipo manual marca Buehler

se procedió de la misma manera cambiando el tamaño de grano de la lija, pasando por lijas 240, 320, 400 y 600; seguidamente se realizó el proceso de pulido empleando una pulidora metalográfica manual marca Buehler con dos paños de características diferentes y empleando alumina con una variación en la granulometría entre cada paño, así bien en el pulido grueso se empleo un paño de lona y alumina 0.3μ mientras que el segundo pulido se hizo con un paño fino y alumina 0.05μ ; luego de haber pulido las superficies fueron observadas en el microscopio óptico a diferentes resoluciones a fin de conocer el estado del material a nivel macroestructural.; posteriormente se le práctico un ataque químico compuesto por nital al 4%, estableciéndose un tiempo de ataque que oscila para los aceros al carbono de 5-60 segundos, esto según lo establecido por la ASM, en nuestro caso el tiempo de ataque fue de aproximadamente 12 segundos para el acero AISI 1010 y de 8 segundos para el acero AISI 1045, posteriormente fueron lavadas con agua y secadas empleando alcohol isopropílico al 70% y un secador eléctrico. Una vez atacadas fueron analizadas empleando el microscopio óptico y fueron observadas a 50X, 100X, 200X, 400X y 1000X. Las imágenes obtenidas y seleccionadas fueron fotografiadas, de manera tal que se pudieran observar metal base, zona afectada por el calor (Zona de refinamiento de grano y zona de crecimiento de grano) y cordón de soldadura.

La preparación de las muestras así como el ataque y la toma de imágenes antes y después de ser atacadas fueron realizadas en el Laboratorio de Inspección del C.F.S. Metalminero Maracay; por otro lado también se capturaron imágenes de las muestras atacadas en el Laboratorio de Materiales de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Carabobo, empleando el equipo que observa en las figuras N° 3.12



Figura N°3.12: *Desbastadora de Cinta marca WILHELM SIMON KG*



Figura N°3.13: *Microscopio óptico marca UNION*

3.5.6 .3 Ensayo de Dureza

Para determinar la dureza del material se procedió empleando un equipo de dureza Rockwell, esto tomando en consideración el equipo disponible en el Laboratorio de Inspección del C.F.S. Metalminero Maracay así como también las características del material a ensayar, la dureza Rockwell que se midió es del tipo Rockwell A, esto en función de que la misma es recomendada para ensayar materiales y aleaciones de diversos grados de dureza de acuerdo al estándar ASTM E 18-03, en la tabla N° 3.10 se pueden apreciar las diversas escalas de dureza Rockwell y sus determinadas aplicaciones según la norma anteriormente mencionada, es importante resaltar el hecho de que los materiales empleados al ser sometidos a un proceso de soldadura pueden haber sufrido un endurecimiento lo suficientemente significativo como para que al ensayar bajo las escala Rockwell B los resultados que se obtengan no se encuentren entre los límites permisibles de dicha escala, los cuales según la norma antes mencionada son (25-100) HRB; las probetas fueron desbastadas empleando el mismo procedimiento usado en los ensayos metalograficos pero sin llegar a realizar la etapa de pulido, luego del desbaste el cordón fue revelado empleando Nital al 4% , durante el ensayo se tomaron medidas en el material base, la zona afectada por el calor y el cordón de soldadura, las medidas estuvieron conformadas por 3 indentaciones, ya que de esta manera se puede obtener un resultado mas preciso de la dureza del material, esto en vista de que luego de realizar las 3 indentaciones se procedió a promediar dichos valores y ese resultado fue el que se consideró como el valor de dureza en la zona donde se tomó, de esta manera se realizaron 15 indentaciones a fin de obtener un perfil de la dureza del material. En las figuras 3.12 y 3.13 se pueden apreciar el esquema de las zonas en que se realizó la indentación de las probetas y el equipo empleado durante el ensayo respectivamente.

Tabla N° 3.10: Escalas de durezas Rockwell según ASTM E 18-03

Escala	Indentador	Carga Total	Color de escala	Aplicaciones
A	Cono diamante	60	Negro	Metales duros, superficies templadas, chapa fina
D	Cono diamante	100	Negro	Piezas con superficies templada de dureza media, chapas
C	Cono diamante	150	Negro	Aceros templados
F	Bola de ϕ 1/16"	60	Rojo	Aleaciones cobre recocido. Chapa fina metálica (>0,6 mm)
B	Bola de ϕ 1/16"	100	Rojo	Aceros blandos, de construcción, metales no ferrosos
G	Bola de ϕ 1/16"	150	Rojo	Bronce, cobre-berilio, cobre-níquel, fundición maleable
H	Bola de ϕ 1/8"	60	Rojo	Aluminio, zinc, plomo
E	Bola de ϕ 1/8"	100	Rojo	Fundición, aleaciones Al-Mg, metales antifricción o sintéticos
K	Bola de ϕ 1/8"	150	Rojo	Metales antifricción o de dureza muy baja, Ebonita (ASTM D530-59T), Madera laminada (ASTM D 805-52), Materiales sintéticos (ASTM D-785-60T), Otros materiales muy blandos o muy finos.
L	Bola de ϕ 1/4"	60	Rojo	
M	Bola de ϕ 1/4"	100	Rojo	
P	Bola de ϕ 1/4"	150	Rojo	
R	Bola de ϕ 1/2"	60	Rojo	
S	Bola de ϕ 1/2"	100	Rojo	
V	Bola de ϕ 1/2"	150	Rojo	

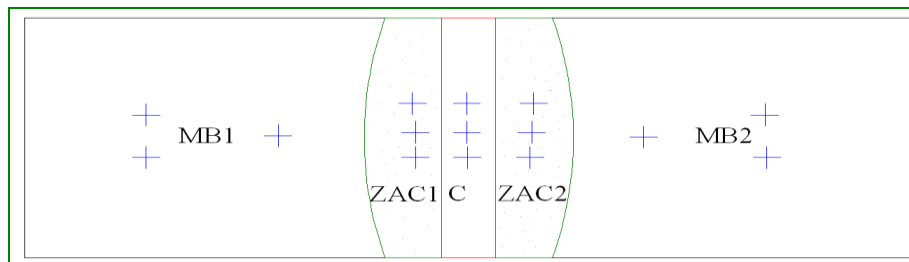


Figura N°3.14: Representación de las zonas en as que se dejó la huella para evaluar la dureza.



Figura N°3.15: Durómetro marca ZWICK/ ZHU empleado

3.5.7 Resumen de los ensayos programados.

Las tablas 3.11 y 3.12 se muestran la configuración de los ensayos en cada material luego de haber contabilizado el número de muestras a ser evaluadas en cada uno de los mismos; es importante mencionar que la cantidad de muestras por cada ensayo fue seleccionada de tal manera que se pudieran obtener un número significativo de resultados en los mismos que permitieran, a la hora de analizar los resultados y ofrecer conclusiones, dar a conocer valores precisos de lo que son las propiedades evaluadas de los materiales en estudio.

Tabla N° 3.11: Resumen de ensayos programados para muestras de acero AISI 1010 soldado

	Ensayos a Realizar	N° de Probetas	Intensidad de Corriente
Acero AISI 1010	Tracción	6	I1 = 132 A
		6	I2 = 160 A
	Dureza	2	I1 = 132 A
		2	I2 = 160 A
	Microscopía y Macroscopía	1	I1 = 132 A
		1	I2 = 160 A

Tabla N° 3.12: Resumen de ensayos programados para muestras de acero AISI 1045 soldado

	Ensayos a Realizar	N° de Probetas	Intensidad de Corriente
Acero AISI 1045	Tracción	6	I1 = 160 A
		6	I2 = 192 A
	Dureza	2	I1 = 160 A
		2	I2 = 192 A
	Microscopía y Macroscopía	1	I1 = 160 A
		1	I2 = 192 A

Luego de haber realizado los ensayos especificados en las tablas 3.10 y 3.11, se llevaron a cabo nuevamente los mismos para el acero AISI 1045 puesto que los resultados de los primeros ensayos realizados a este material generaron dudas en cuanto a la soldabilidad del mismo, producto de que luego de realizar los ensayos de tracción las probetas fracturaron a lo largo del cordón de soldadura, específicamente en la sección biselada de las mismas, además de ello se observaba en estas falta de penetración del material de aporte. Así bien, se decidió realizar la repetición de los ensayos en este material bajo las mismas condiciones de amperaje, voltaje, tipo de junta, material de aporte y gas de protección que en el primer caso a fin de establecer la veracidad de dichos resultados y poder concluir con una mayor certeza sobre la capacidad del material para ser soldado bajo este método.

CAPÍTULO IV

Resultados Obtenidos

En el siguiente capítulo se presentarán los resultados obtenidos después de haber realizado los ensayos programados para cada uno de los materiales, tanto en su condición de entrega como luego de haber sido sometidos al proceso de soldadura en cada una de las condiciones planteadas en el apartado 3.5.4.1 de esta investigación.

4.1 ENSAYO DE TRACCIÓN

4.1.1 CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL

4.1.1.1 ACERO AISI 1010

En la tabla 4.1 se presentan las dimensiones de las probetas de acero AISI 1010 en la zona calibrada, para la realización de la caracterización del material, antes y después de cada ensayo de tracción.

El espesor final (t_f) de la probeta fue obtenido considerando un promedio entre tres (3) medidas tomadas en diversas zonas de las probetas al final de cada ensayo.

Tabla 4.1: Dimensiones de las probetas de tracción de acero AISI 1010 para caracterización.

Probeta	L _o (mm)	L _f (mm)	t _o (mm)	t _f (mm)	W _o (mm)	W _f (mm)	A _o (mm ²)	A _f (mm ²)
PC06-1	75	97	6	3,7	12,5	8,4	75	31,08
PC06-2	75	92,5	6	3,6	12,5	8,4	75	30,24
PC06-3	75	87	6	3,67	12,5	8,5	75	31,16
PC06-4	75	91	6	3,67	12,5	8	75	29,33
PC06-5	75	93,9	6	3,63	12,5	8,5	75	30,88
PC06-6	75	90	6	3,57	12,5	8,5	75	30,31

Legenda: Lo = Longitud calibrada inicial.

L_f = Longitud calibrada final.

t_o = Espesor inicial.

t_f = Espesor final.

W_o = Ancho inicial

W_f = Ancho final.

A_o = Área sección transversal inicial.

A_f = Área sección transversal final.

En la tabla 4.2 se presentan los valores teóricos de las propiedades mecánicas del acero AISI 1010, con lo cual se pudo comparar dichos valores con los del ensayo de tracción para la caracterización del material.

Tabla 4.2: Propiedades mecánicas teóricas del acero AISI 1010

Esfuerzo de Fluencia (MPa)	Esfuerzo Máximo (MPa)	Esfuerzo de Ruptura (MPa)	% de Elongación	% de Reducción de Área
303	365	330	20	50

Fuente: Diseño de Máquinas, Robert L. Norton 1998

En la figura 4.1 se puede observar el comportamiento de cada una de las probetas luego de ser sometidas al ensayo de tracción correspondiente.

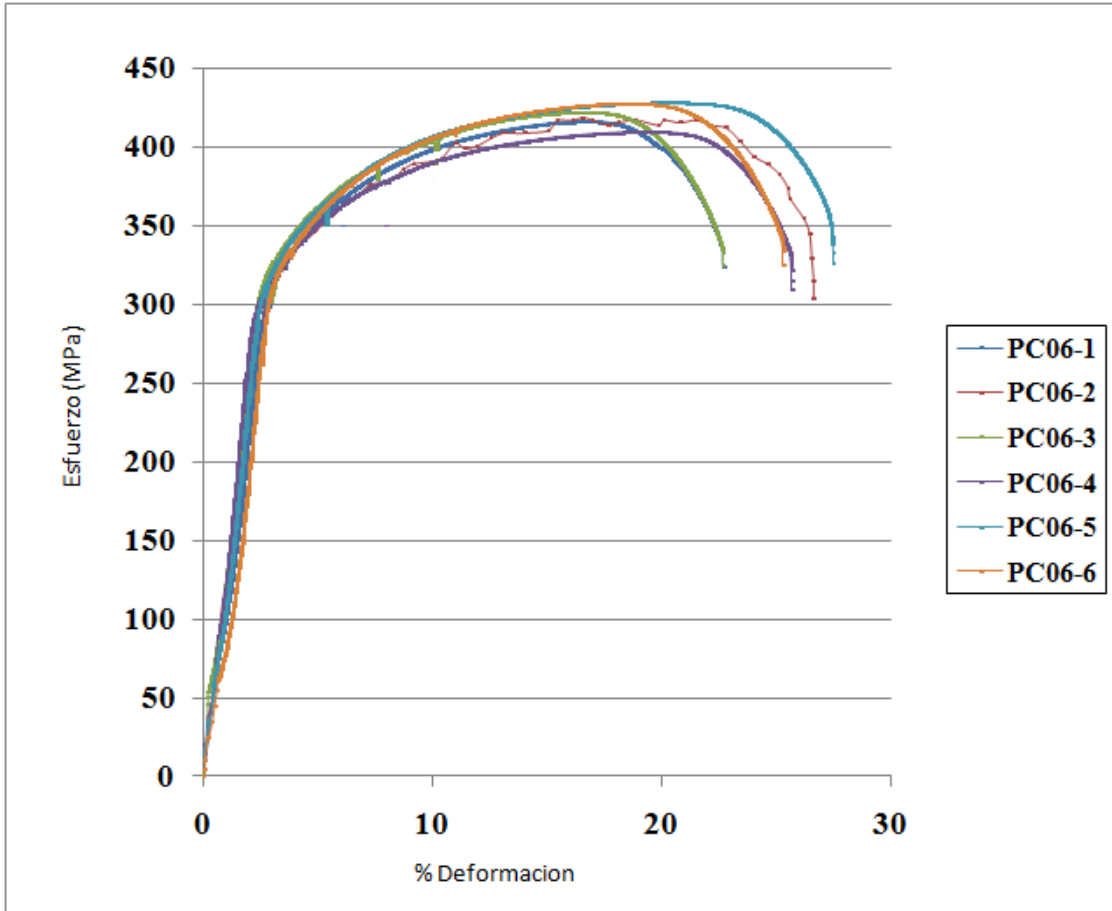


Figura 4.1: Gráficas Esfuerzo Vs. %Deformación de las probetas de caracterización Acero AISI 1010

Las propiedades mecánicas del acero AISI 1010, obtenidas de los ensayos de tracción para la caracterización, se presentan en la tabla 4.3

Tabla 4.3: Esfuerzos, % de elongación, y % de reducción de área del acero AISI 1010 para la caracterización del material.

Probeta	Esfuerzo de Fluencia (MPa)	Esfuerzo Máximo (MPa)	Esfuerzo de Ruptura (MPa)	Elongación (mm)	% de Elongación	%Reducción de Área
PC06-1	307,89	415,97	323,93	22	29,33	58,56
PC06-2	313,40	398,96	319,51	17,5	23,33	59,68
PC06-3	314,02	421,96	325,29	12	16	58,44
PC06-4	302,48	409,32	324,40	16	21,33	60,88
PC06-5	306,02	421,08	325,76	18,9	25,2	58,82
PC06-6	310,16	408,45	325,37	15	20	59,57
Promedio	308,99	412,62	324,04			
Desviación Estándar	4,43	8,77	2,32			

Al observar los valores de esfuerzo promedio obtenidos de manera experimental y compararlos con los valores teóricos presentes en la tabla 4.2 podemos observar como las diferencias son de: Esfuerzos de fluencia 2%, Esfuerzo máximo 11,5% y Esfuerzo de ruptura 1,8%, esto permite afirmar que el acero empleado en la investigación es realmente un acero AISI 1010.

4.1.1.1 ACERO AISI 1045

En la tabla 4.4 se presentan las dimensiones de las probetas de acero AISI 1045 en la zona calibrada, para la realización de la caracterización del material, antes y después de cada ensayo de tracción.

El espesor final (t_f) de la probeta fue obtenido considerando un promedio entre tres (3) medidas tomadas en diversas zonas de las probetas al final de cada ensayo.

Tabla 4.4: Dimensiones de las probetas de tracción de acero AISI 1045 para caracterización.

Probeta	L_o (mm)	L_f (mm)	t_o (mm)	t_f (mm)	W_o (mm)	W_f (mm)	A_o (mm ²)	A_f (mm ²)
PC10-1	75	93	10	8,03	12,5	9,5	125	76,31
PC10-2	75	92	10	7,70	12,5	9,2	125	70,84
PC10-3	75	94,5	10	7,83	12,5	9,4	125	73,63
PC10-4	75	87	10	8,03	12,5	9,6	125	77,12
PC10-5	75	89,6	10	8,10	12,5	9,5	125	76,95
PC10-6	75	92,6	10	7,90	12,5	9,4	125	74,26

Leyenda: L_o = Longitud calibrada inicial.

L_f = Longitud calibrada final.

t_o = Espesor inicial.

t_f = Espesor final.

W_o = Ancho inicial

W_f = Ancho final.

A_o = Área sección transversal inicial.

A_f = Área sección transversal final.

En la tabla 4.5 se presentan los valores teóricos de las propiedades mecánicas del acero AISI 1045, con lo cual se pudo comparar dichos valores con los del ensayo de tracción para la caracterización del material.

Tabla 4.5: Propiedades mecánicas teóricas del acero AISI 1045

Esfuerzo de Fluencia (MPa)	Esfuerzo Máximo (MPa)	Esfuerzo de Ruptura (MPa)	% de Elongación	% de Reducción de Área
531	627	550	12	40

Fuente: Diseño de Máquinas, Robert L. Norton 1998

A continuación en la figura 4.2 se puede observar el comportamiento de cada una de las probetas luego de realizar el ensayo de tracción correspondiente.

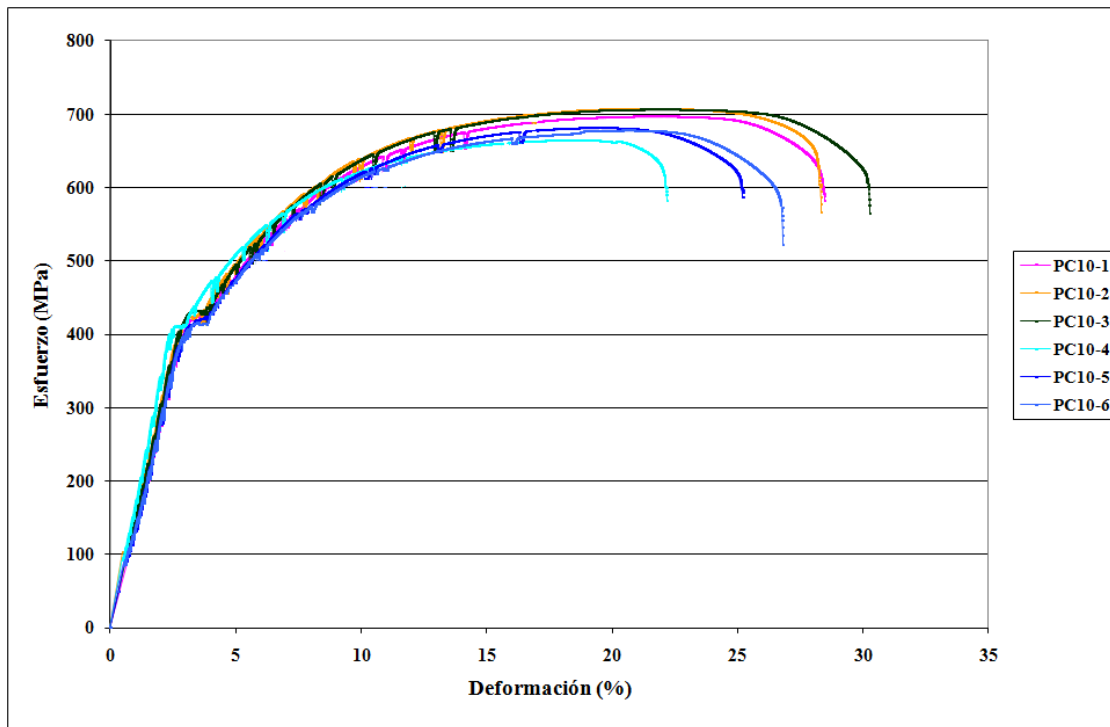


Figura 4.2: Gráficas Esfuerzo Vs. %Deformación de las probetas de caracterización Acero AISI 1045

Las propiedades mecánicas del acero AISI 1045, obtenidas de los ensayos de tracción para la caracterización, se presentan en las tablas 4.6.

Tabla 4.6: Esfuerzos, % de elongación, y % de reducción de área del acero AISI 1045 para la caracterización del material.

Probeta	Esfuerzo de Fluencia (MPa)	Esfuerzo Máximo (MPa)	Esfuerzo de Ruptura (MPa)	Elongación (mm)	% de Elongación	%Reducción de Área
PC10-1	445,83	697,12	582,74	18	24	38,94
PC10-2	441,66	707,52	566,42	17	22,66	43,32
PC10-3	447,50	706,55	564,23	19,5	26	41,09
PC10-4	425,00	674,59	582,44	12	16	38,30
PC10-5	431,70	681,38	587,41	14,6	19,46	38,44
PC10-6	434,16	677,94	562,33	17,2	23,33	40,59
Promedio	437,64	690,85	574,26			
Desviación Estándar	8,80	14,72	11,10			

Al observar los valores promedio obtenidos luego de realizar los ensayos de tracción a las muestras de acero AISI 1045 empleado en la investigación y compararlo con los valores teóricos presentados en la tabla N° 4.5 podemos observar que las variaciones entre ellos pueden considerarse aceptables, tomando en consideración que la obtención de los datos se realizó bajo condiciones diferentes a las de los datos teóricos; así bien las diferencias existentes son las siguientes: Esfuerzos de fluencia 17,5%, Esfuerzo Máximo 10% y esfuerzo de ruptura 4,4%, estos valores permiten afirmar que el acero empleado en la investigación se corresponde con un acero AISI 1045.

4.1.2 MATERIAL SOLDADO

4.1.2.1 ACERO AISI 1010

A continuación se presentan los resultados obtenidos luego de haber realizado los ensayos a las probetas de acero AISI 1010 soldadas con dos tipos de intensidad de corriente diferente (condiciones de trabajo), los cuales pueden observarse en la tabla 4.7.

Tabla 4.7: Condiciones de trabajo empleadas en el Acero AISI 1010

Condición	Intensidad (Amp.)	Voltaje (V.)
1	132	20,7
2	160	24,2

Fuente: Guía de soldadura MIG/MAG. [11]

❖ ACERO AISI 1010 SOLDADO BAJO LA CONDICIÓN 1

En la tabla 4.8 se presentan las dimensiones de las probetas de acero AISI 1010 soldadas con la intensidad de corriente 1, antes y después de cada ensayo de tracción.

Tabla 4.8: Dimensiones de las probetas de tracción de acero AISI 1010 soldadas en la condición de 132 Amp.

Probeta	L _o (mm)	L _f (mm)	t _o (mm)	t _f (mm)	W _o (mm)	W _f (mm)	A _o (mm ²)	A _f (mm ²)
PS106-1	38,1	49,6	6	3,93	36	30	216	118
PS106-2	38,1	46,3	6	4,96	36	31,8	216	157,94
PS106-3	38,1	50	6	3,67	36	30	216	110
PS106-4	38,1	46,2	6	4,87	36	31,8	216	154,76
PS106-5	38,1	45,9	6	4,87	36	31,9	216	155,24
PS106-6	38,1	49,2	6	3,73	36	30,8	216	114,98

En la figura 4.3 se puede observar el comportamiento de cada una de las probetas luego de haber sido sometidas al ensayo de tracción.

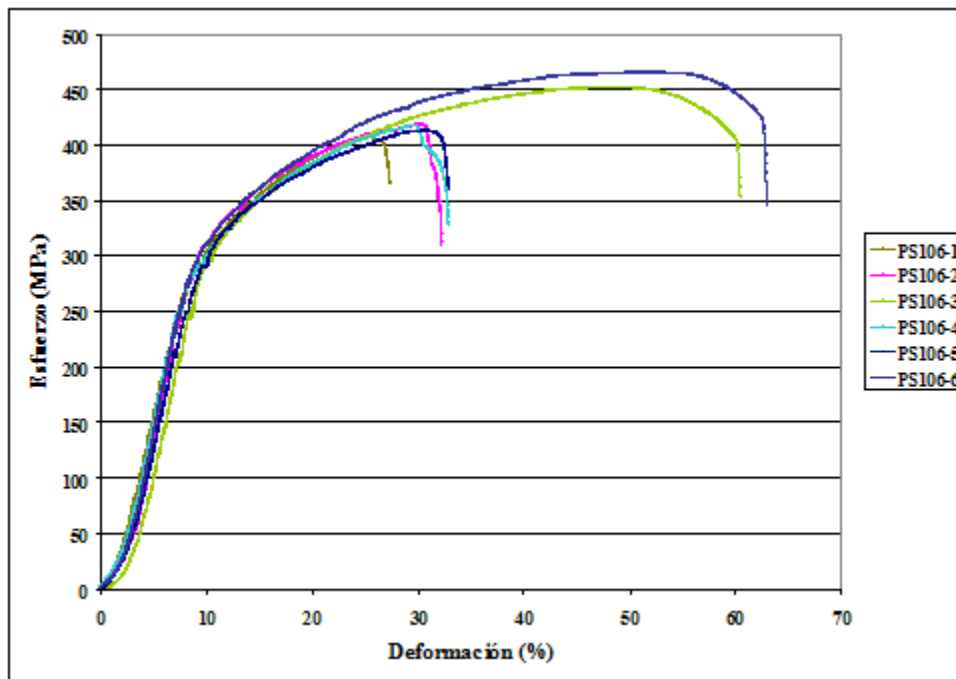


Figura 4.3: Gráficas Esfuerzo Vs. %Deformación de las probetas de Acero AISI 1010 soldadas bajo la condición de 132 Amp.

Las propiedades mecánicas del acero AISI 1010 soldado bajo la condición de 132 Amp., obtenidas de los ensayos tracción se presentan en las tablas 4.9

Tabla 4.9: Esfuerzos, % de elongación, y % de reducción de área del acero AISI 1010 soldado bajo la condición de 132 Amp. para los ensayos de tracción.

Probeta	Esfuerzo de Fluencia (MPa)	Esfuerzo Máximo (MPa)	Esfuerzo de Ruptura (MPa)	Elongación (mm)	% de Elongación	%Reducción de Área
PS106-1	298,78	420,26	378,58	11,5	30,18	45,37
PS106-2	303,81	433,68	338,25	8,2	21,52	26,87
PS106-3	313,11	466,64	377,19	11,9	31,23	49,07
PS106-4	303,51	434,46	344,74	8,1	21,25	28,35
PS106-5	302,94	427,80	375,52	7,8	20,47	28,12
PS106-6	309,92	466,00	367,39	11,1	29,13	46,76
Promedio	305,35	441,47	363,61			
Desviación Estándar	5,21	19,90	17,68			

En las figuras 4.4, 4.5 y 4.6 se muestran las gráficas Esfuerzo vs. Número de ensayos resultantes de los ensayos de tracción en las probetas soldadas bajo la condición de 132 Amp.

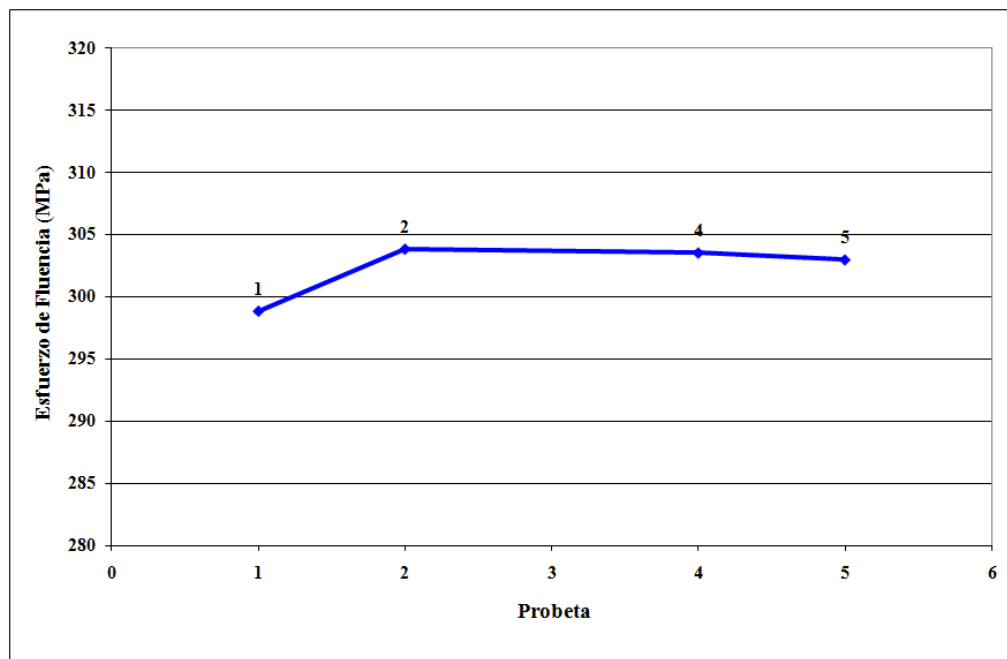


Figura 4.4: Esfuerzo de Fluencia vs. Número de Ensayo Acero AISI 1010 soldadas bajo la condición de 132 Amp.

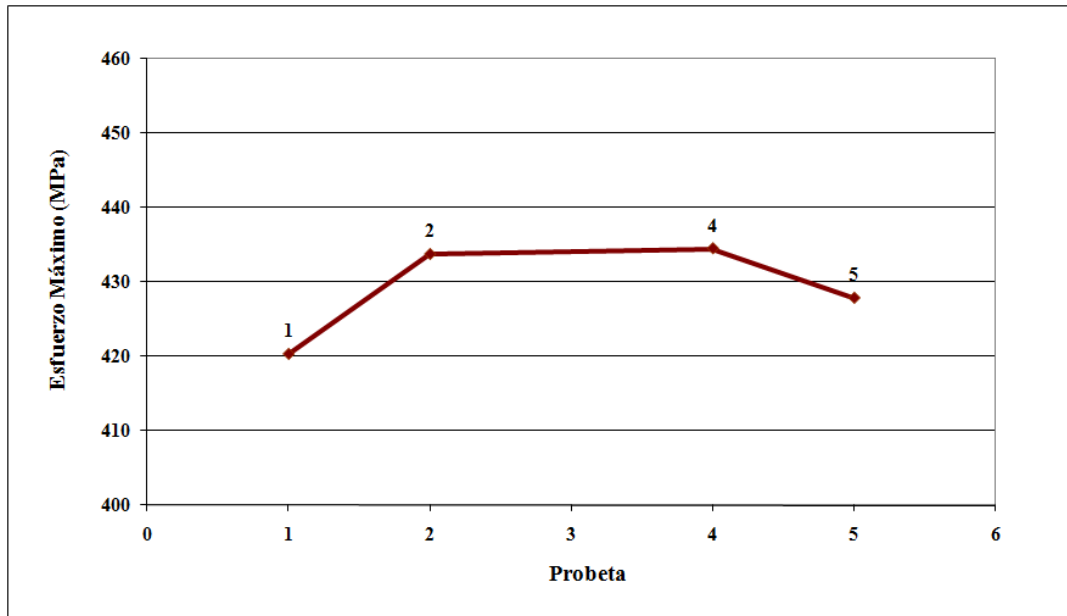


Figura 4.5: Esfuerzo Máximo vs. Número de Ensayo Acero AISI 1010 soldadas bajo la condición de 132 Amp.

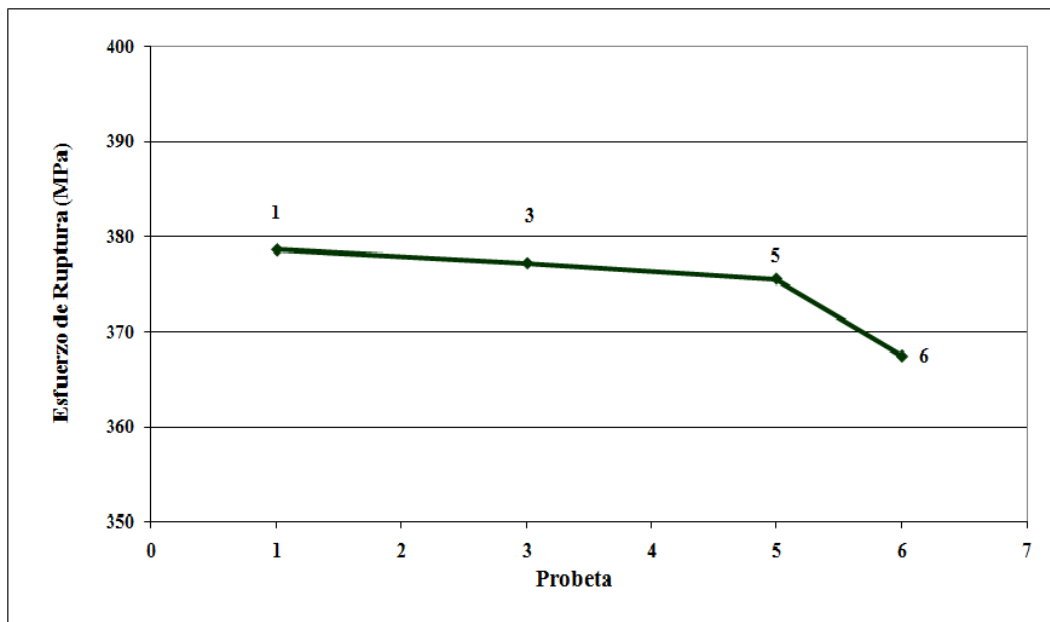


Figura 4.6: Esfuerzo de Ruptura vs. Número de Ensayo Acero AISI 1010 soldadas bajo la condición de 132 Amp.

❖ **ACERO AISI 1010 SOLDADO BAJO LA CONDICIÓN 2**

En la tabla 4.10 se presentan las dimensiones de las probetas de acero AISI 1010 soldadas con la intensidad de corriente 2, antes y después de cada ensayo de tracción.

Tabla 4.10: Dimensiones de las probetas de tracción de acero AISI 1010 soldadas en la condición de 160 Amp.

Probeta	L _o (mm)	L _f (mm)	t _o (mm)	t _f (mm)	W _o (mm)	W _f (mm)	A _o (mm ²)	A _f (mm ²)
PS206-1	38,1	49,8	6	3,600	36	29,4	216	105,840
PS206-2	38,1	50,1	6	3,233	36	30,1	216	97,323
PS206-3	38,1	49,6	6	3,933	36	32	216	125,867
PS206-4	38,1	50	6	3,067	36	29	216	88,933
PS206-5	38,1	51,8	6	2,567	36	29,5	216	75,717
PS206-6	38,1	50,6	6	2,567	36	30	216	77,000

En la figura 4.7 se puede observar el comportamiento de cada una de las probetas luego de haber sido sometidas al ensayo de tracción.

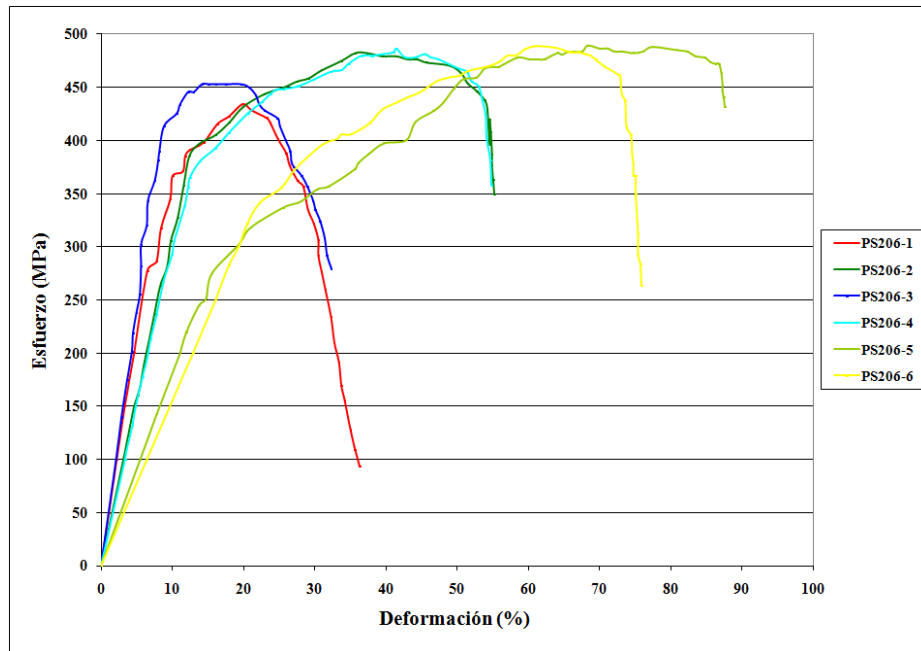


Figura 4.7: Gráficas Esfuerzo Vs. %Deformación de las probetas de Acero AISI 1010 soldadas bajo la condición 160 Amp.

Las propiedades mecánicas del acero AISI 1010 soldado bajo la condición 160 Amp., obtenidas de los ensayos tracción se presentan en las tablas 4.11.

Tabla 4.11: Esfuerzos, % de elongación, y % de reducción de área del acero AISI 1010 soldado bajo la condición de 160 Amp., para los ensayos de tracción.

Probeta	Esfuerzo de Fluencia (MPa)	Esfuerzo Máximo (MPa)	Esfuerzo de Ruptura (MPa)	Elongación (mm)	% de Elongación	%Reducción de Área
PS206-1	289,06	441,20	356,57	11,7	30,70	51,00
PS206-2	318,75	484,81	376,62	12	31,49	54,94
PS206-3	302,31	462,96	366,57	11,5	30,18	41,72
PS206-4	330,32	486,11	360,74	11,9	31,23	58,82
PS206-5	296,25	490,69	430,01	13,7	35,95	64,94
PS206-6	334,37	487,82	367,14	12,5	32,80	64,35
Promedio	311,84	475,60	376,27			
Desviación Estándar	18,70	19,57	27,18			

Al observar los resultados de esfuerzo mostrados en las tablas 4.9 y 4.11 para las condiciones 1 (132 Amp.) y 2 (160 Amp.), se puede notar que los valores de esfuerzos obtenidos para la primera condición fueron de: fluencia 305,35 MPa, máximo, máximo 441,62 MPa y de ruptura 363,61 MPa mientras que los valores obtenidos para la condición 2 fueron de: fluencia 311,84 MPa, máximo 475,6 MPa y ruptura 376,27 MPa. Estos resultados permiten aseverar que al realizar la soldadura con una intensidad de corriente elevada sustentada y recomendada se puede obtener una mayor unión entre el material base y el material de aporte; de igual manera al comparar estos resultados con los valores obtenidos en el proceso de caracterización para este material se pudo observar un ligero aumento en la resistencia a la tracción, que se evidencia con una tendencia al alza de los esfuerzos de fluencia, máximo y de ruptura de 0,9%, 15% y 16% respectivamente.

En las figuras 4.8, 4.9 y 4.10 se muestran las gráficas esfuerzo vs. número de ensayos resultantes de los ensayos de tracción en las probetas soldadas bajo la condición de 160 Amp.

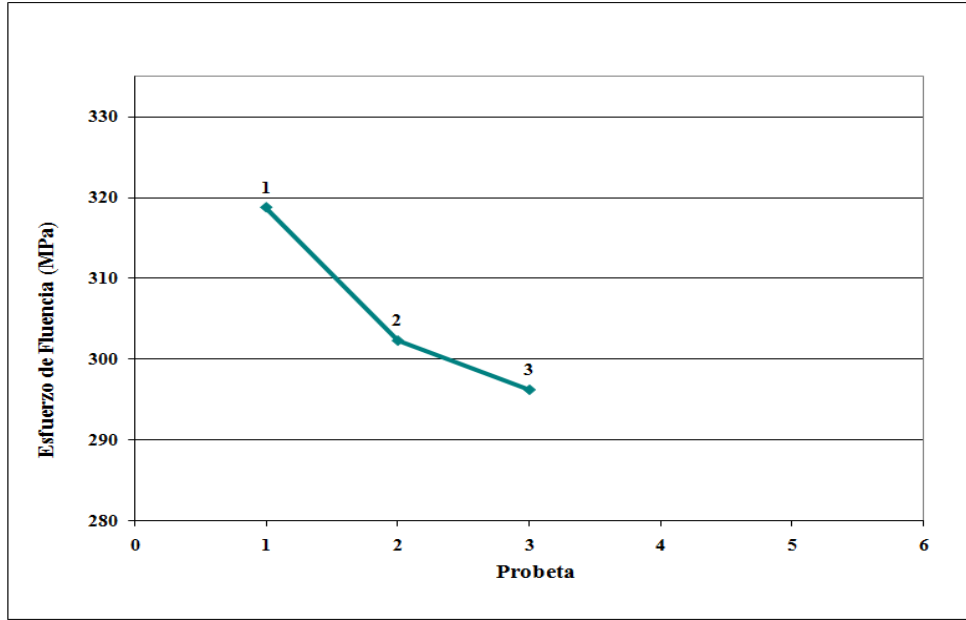


Figura 4. 8: Esfuerzo de Fluencia vs. Número de Ensayo del Acero AISI 1010 soldadas bajo la condición de 160 Amp.

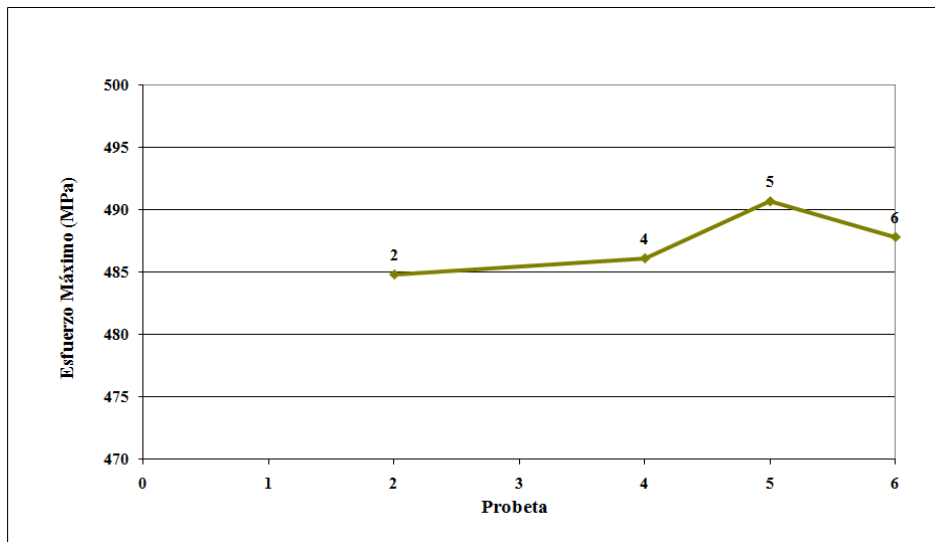


Figura 4.9: Esfuerzo Máximo vs. Número de Ensayo del Acero AISI 1010 soldadas bajo la condición de 160 Amp.

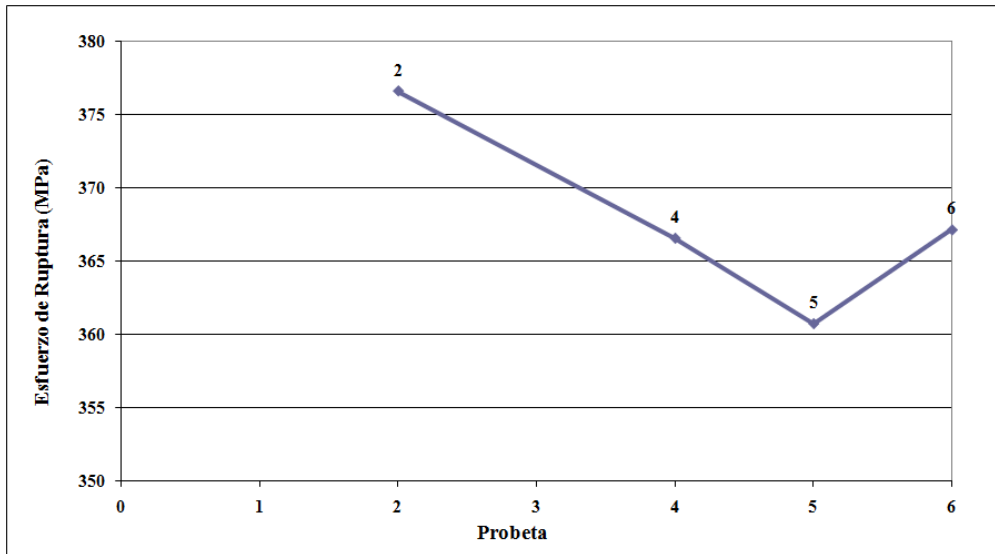


Figura 4.10: Esfuerzo de Ruptura vs. Número de Ensayo del Acero AISI 1010 soldadas bajo la condición de 160 Amp.

4.1.2.2 ACERO AISI 1045

A continuación se presentan los resultados obtenidos luego de haber realizado los ensayos a las probetas de acero AISI 1045 soldadas con dos tipos de intensidad de corriente diferentes (condiciones de trabajo), las cuales pueden observarse a continuación en la tabla 4.12

Tabla 4.12: Condiciones 1 y 2 de trabajo empleadas en el Acero AISI 1045

Condición	Intensidad (Amp.)	Voltaje (V.)
1	160	24,3
2	192	28,8

Fuente: Guía de soldadura MIG/MAG. [11]

❖ **ACERO AISI 1045 SOLDADO BAJO LA CONDICIÓN 1**

En la tabla 4.13 se presentan las dimensiones de las probetas de acero AISI 1045 soldadas con la intensidad de corriente 1, antes y después de cada ensayo de tracción.

Tabla 4.13: Dimensiones de las probetas de tracción de acero AISI 1045 soldadas en la condición de 160 Amp.

Probeta	L _o (mm)	L _f (mm)	t _o (mm)	t _f (mm)	W _o (mm)	W _f (mm)	A _o (mm ²)	A _f (mm ²)
PS110-1	38,1	41,50	10	9,433	36	34,5	360	325,450
PS110-2	38,1	40	10	9,733	36	35,4	360	344,560
PS110-3	38,1	41	10	9,633	36	35,2	360	339,093
PS110-4	38,1	43	10	8,633	36	33,5	360	289,217
PS110-5	38,1	40,6	10	8,867	36	34	360	301,467

En la figura 4.11 se puede observar el comportamiento de cada una de las probetas luego de haber sido sometidas al ensayo de tracción.

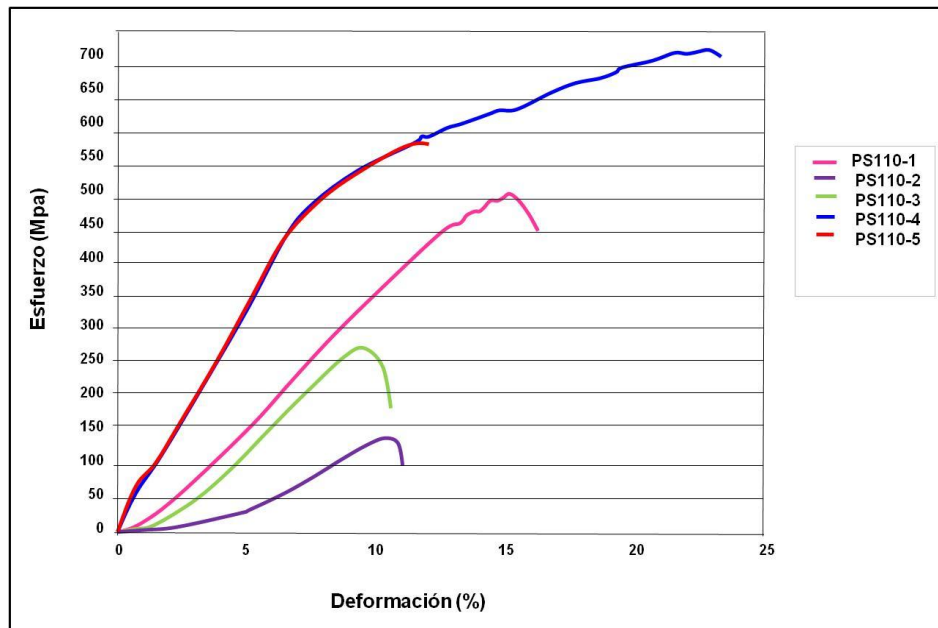


Figura 4.11: Gráficas Esfuerzo Vs. %Deformación de las probetas de Acero AISI 1045 soldadas bajo la condición de 160 Amp.

La figura 4.11 nos representa el ensayo de tracción realizados a probetas de acero AISI 1045 para una condición de Amperaje de 160 Amp, dicho valor empleado de corriente no es recomendable para realizar este tipo de soldadura para el material base estudiado debido al porcentaje de carbono presente en el y por su espesor se recomienda establecer valores de corriente superiores; esto se corrobora al observar las curvas presentadas en la figura 4.11, las cuales muestran comportamientos no representativos de este material para este tipo de ensayo, lo que junto al rompimiento de las probetas a lo largo del cordón de soldadura refleja falta de fusión entre el material base y el material de aporte. Las curvas reflejan un comportamiento en el que prácticamente puede evidenciarse solo el proceso de deformación elástica del material, ya que la zona plástica del mismo es prácticamente inexistente.

Las propiedades mecánicas del acero AISI 1045 soldado bajo la condición 1, obtenidas de los ensayos tracción se presentan en la tabla 4.14.

Tabla 4.14: *Esfuerzos, % de elongación, y % de reducción de área del acero AISI 1045 soldado bajo la condición de 160 Amp, para los ensayos de tracción.*

Probeta	Esfuerzo de Fluencia (MPa)	Esfuerzo Máximo (MPa)	Esfuerzo de Ruptura (MPa)	Elongación (mm)	% de Elongación	%Reducción de Área
PS110-1	307,16	486,85	437,07	3,4	8,92	9,59
PS110-2	79,35	131,36	106,00	1,9	4,98	4,28
PS110-3	201,65	271,33	188,55	2,9	7,61	5,80
PS110-4	482,77	672,08	661,99	4,9	12,86	19,66
PS110-5	440,26	543,07	538,68	2,5	6,56	16,26
Promedio	302,24	420,94	386,46			
Desviación Estándar	166,93	217,12	234,24			

En las figuras 4.12, 4.13 y 4.14 se muestran las gráficas esfuerzo vs. Probeta, resultantes de los ensayos de tracción en las probetas soldadas bajo la condición de 160 Amp.

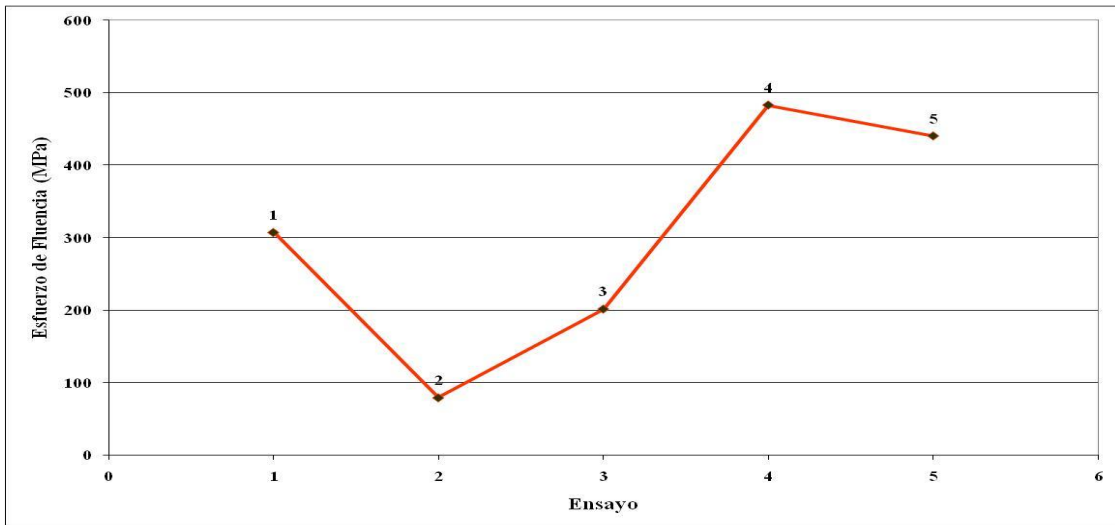


Figura 4.12: Esfuerzo de Fluencia vs. Número de Ensayo del Acero AISI 1045 soldadas bajo la condición de 160 Amp.

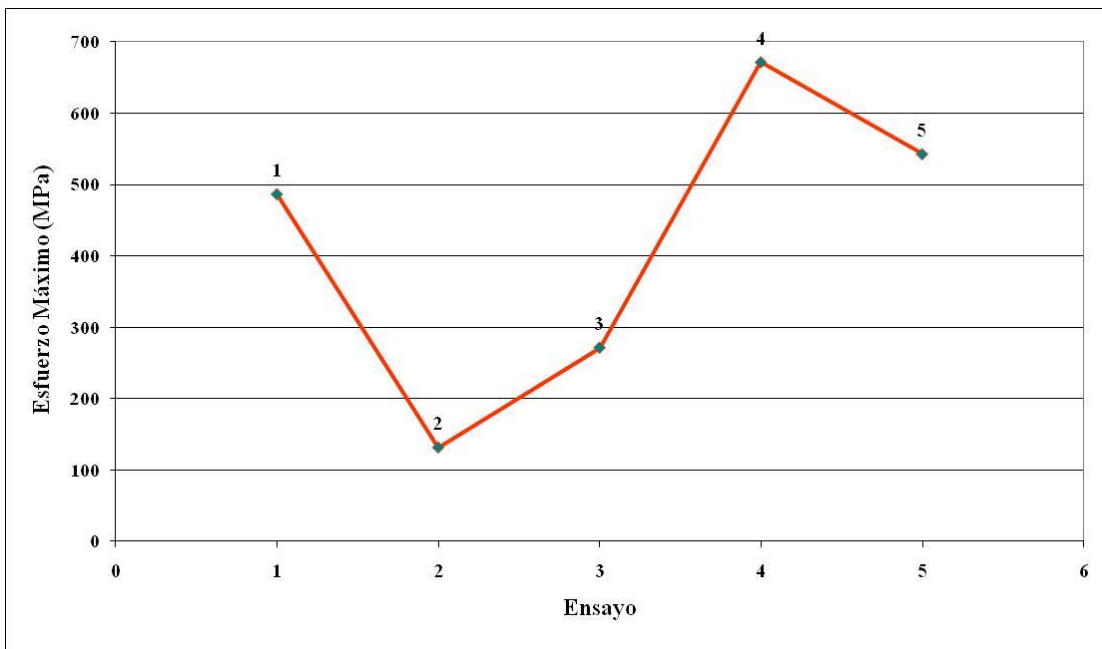


Figura 4.13: Esfuerzo Máximo vs. Número de Ensayo del Acero AISI 1045 soldadas bajo la condición de 160 Amp.

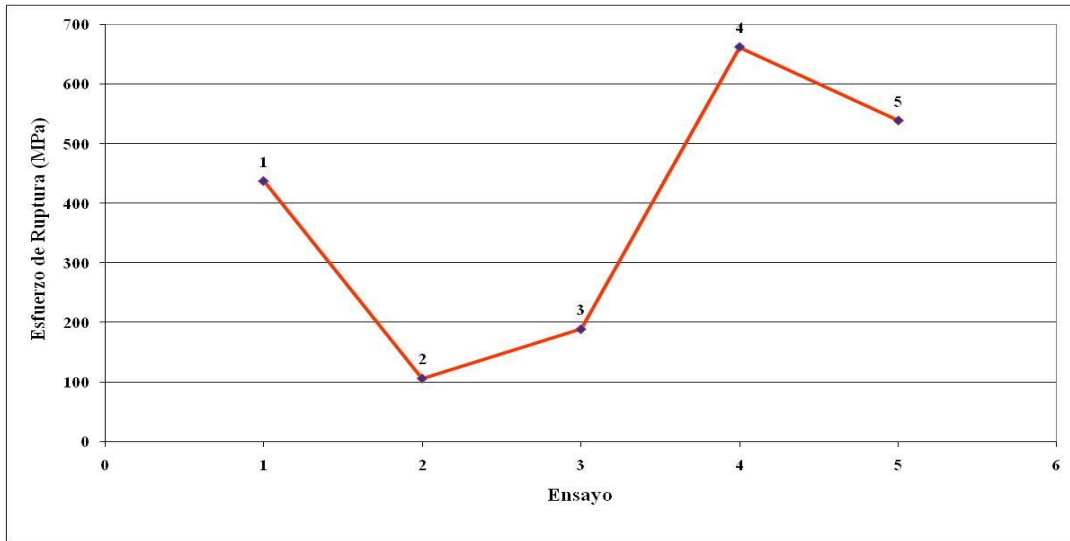


Figura 4.14: Esfuerzo de Ruptura vs. Número de Ensayo del Acero AISI 1045 soldadas bajo la condición de 160 Amp.

❖ ACERO AISI 1045 SOLDADO BAJO LA CONDICIÓN 2

En la tabla 4.15 se presentan las dimensiones de las probetas de acero AISI 1045 soldadas con la intensidad de corriente 2, antes y después de cada ensayo de tracción.

Tabla 4.15: Dimensiones de las probetas de tracción de acero AISI 1045 soldadas en la condición de 192 Amp.

Probeta	L _o (mm)	L _f (mm)	t _o (mm)	t _f (mm)	W _o (mm)	W _f (mm)	A _o (mm ²)	A _f (mm ²)
PS210-1	38,1	45,5	10	8,400	36	33,8	360	283,920
PS210-2	38,1	41,6	10	8,67	36	34	360	294,667
PS210-3	38,1	43	10	7,933	36	33,5	360	265,767
PS210-4	38,1	42	10	8,533	36	34,8	360	296,960
PS210-5	38,1	43,8	10	7,900	36	34,6	360	273,340
PS210-6	38,1	43,7	10	7,933	36	34,7	360	275,287

El comportamiento de cada una de las probetas luego de someterlas al ensayo de tracción puede observarse en la figura 4.15

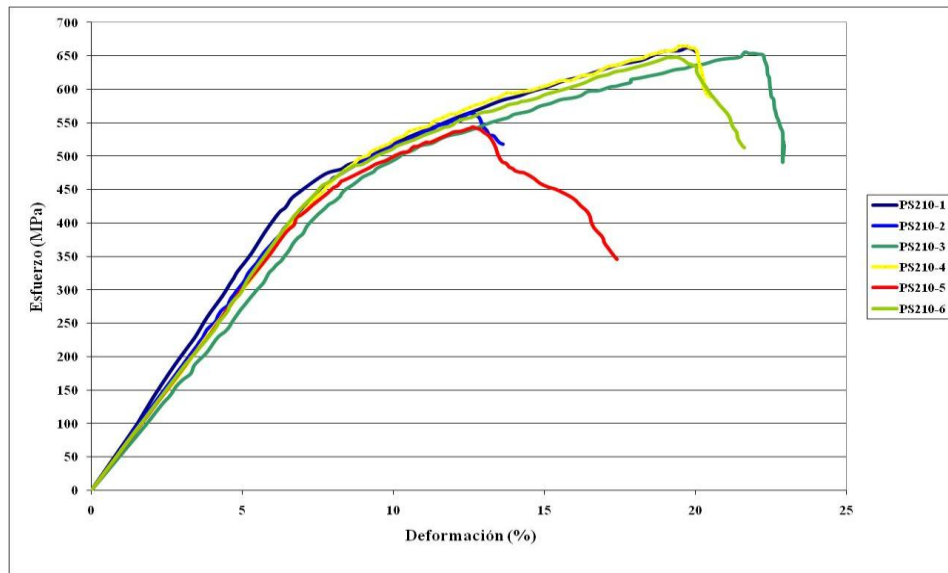


Figura 4.15: Gráficas Esfuerzo Vs. %Deformación de las probetas de Acero AISI 1045 soldadas bajo la condición de 192 Amp.

Las propiedades mecánicas del acero AISI 1045 soldado bajo la condición 2, obtenidas de los ensayos tracción se presentan en la tabla 4.16.

Tabla 4.16: Esfuerzos, % de elongación, y % de reducción de área del acero AISI 1045 soldado bajo la condición de 192 Amp., para los ensayos de tracción.

Probeta	Esfuerzo de Fluencia (MPa)	Esfuerzo Máximo (MPa)	Esfuerzo de Ruptura (MPa)	Elongación (mm)	% de Elongación	%Reducción de Área
PS210-1	436,75	662,46	655,39	7,4	19,42	21,13
PS210-2	434,99	564,35	518,18	3,5	9,18	18,14
PS210-3	431,95	655,39	490,92	4,9	12,86	26,17
PS210-4	432,33	664,54	598,68	3,9	10,23	17,51
PS210-5	426,97	543,50	510,50	5,7	14,96	24,07
PS210-6	439,21	647,64	516,12	5,6	14,69	23,53
Promedio	433,70	622,98	548,30			
Desviación Estándar	4,28	54,21	100,52			

Al observar los resultados de esfuerzo mostrados en las tablas 4.14 y 4.16 para las condiciones 1 y 2 respectivamente, se puede notar que para la condición 1 (160 Amp.) el valor de los esfuerzos fue de: fluencia 302,24 MPa, máximo 420,94 MPa y de ruptura 386,46 MPa, mientras que para la condición 2 (192Amp) los valores de los esfuerzos fueron: fluencia 433,70 MPa, máximo 622,98 MPa y ruptura 523,42 MPa. Estos resultados permiten aseverar que al realizar la soldadura con una intensidad de corriente alta se puede obtener una mejor fusión entre los materiales; sin embargo es importante destacar que los valores de esfuerzo obtenidos en la condición 2 (192 Amp. y 28,8 V) son inferiores a los obtenidos durante la caracterización del material. Estos resultados resultan lógicos tomando en cuenta que el rompimiento de las probetas se produjo en la zona del cordón de soldadura.

En las figuras 4.16, 4.17 y 4.18 se muestran las gráficas esfuerzo vs. número de ensayos resultantes de los ensayos de tracción en las probetas soldadas bajo la condición de 192 Amp.

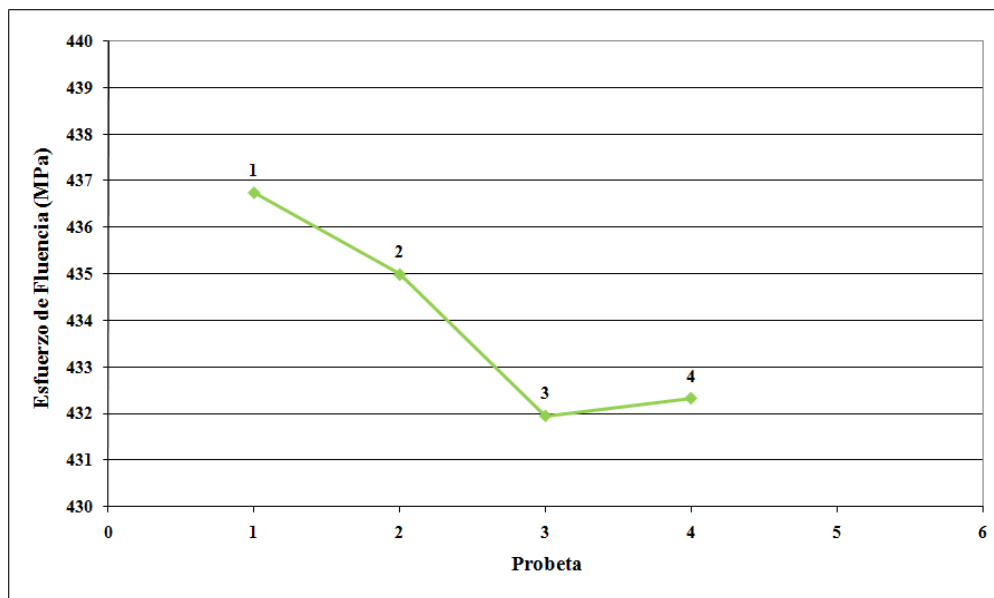


Figura 4.16: Esfuerzo de Fluencia vs. Número de Ensayo del Acero AISI 1045 soldadas bajo la condición de 192 Amp.

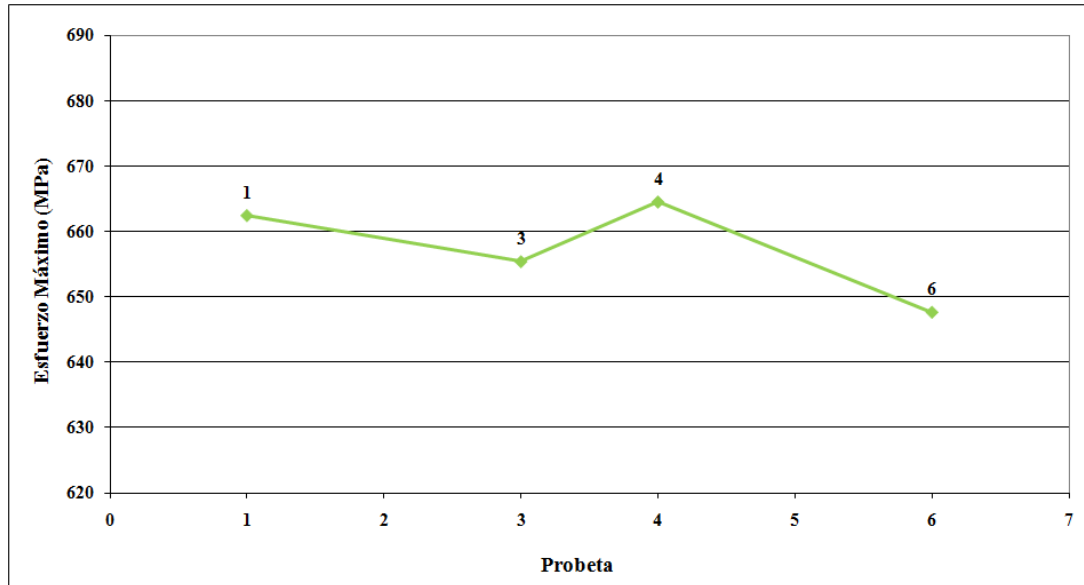


Figura 4.17: Esfuerzo Máximo vs. Número de Ensayo de Acero AISI 1045 soldadas bajo la condición de 192 Amp.

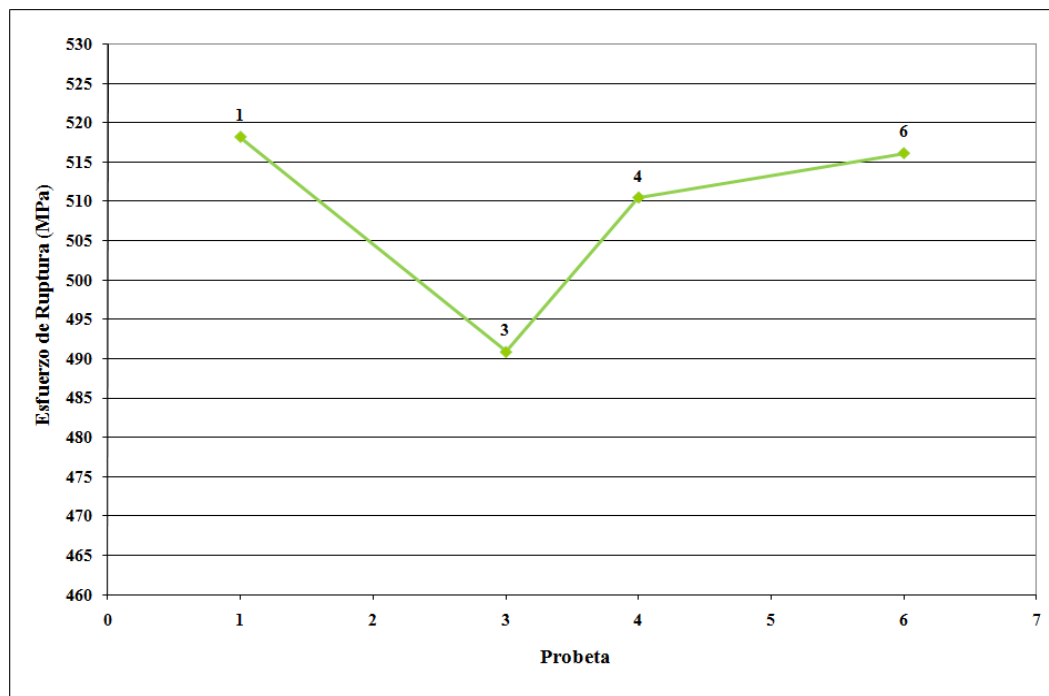


Figura 4.18: Esfuerzo de Ruptura vs. Número de Ensayo de Acero AISI 1045 soldadas bajo la condición de 192 Amp.

4.1.2.2 ACERO AISI 1045 (ENSAYOS NUEVOS)

Los ensayos del acero AISI 1045 fueron realizados nuevamente bajo las mismas condiciones que en la primera oportunidad, esto debido a que se quería evidenciar la validez o no de los primeros valores obtenidos, así las condiciones de soldadura para este material fueron las mismas y se pueden observar en la tabla 4.17

Tabla 4.17: Condiciones A y B de trabajo empleadas en el Acero AISI 1045

Condición	Intensidad (Amp.)	Voltaje (V.)
A	160	24,3
B	192	28,8

Fuente: Guía de soldadura MIG/MAG. [11]

❖ ACERO AISI 1045 SOLDADO BAJO LA CONDICIÓN A

En la tabla 4.18 se presentan las dimensiones de las probetas de acero AISI 1045 soldadas con la intensidad de corriente 1, antes y después de cada ensayo de tracción.

Tabla 4.18: Dimensiones de las probetas de tracción de acero AISI 1045 soldadas en la condición de 160 Amp.

Probeta	L_o (mm)	L_f (mm)	t_o (mm)	t_f (mm)	W_o (mm)	W_f (mm)	A_o (mm ²)	A_f (mm ²)
PSA10-1	38,1	47,2	10	8,80	36	31,3	360	275,440
PSA10-2	38,1	57,5	10	8,70	36	32,3	360	281,010
PSA10-3	38,1	51,8	10	8,43	36	33,9	360	285,890
PSA10-4	38,1	52,3	10	8,73	36	33,8	360	295,187
PSA10-5	38,1	56,1	10	8,17	36	31,7	360	258,883
PSA10-6	38,1	48,9	10	9,07	36	32,2	360	291,947

En la figura 4.19 se puede observar el comportamiento de cada una de las probetas luego de haber sido sometidas al ensayo de tracción.

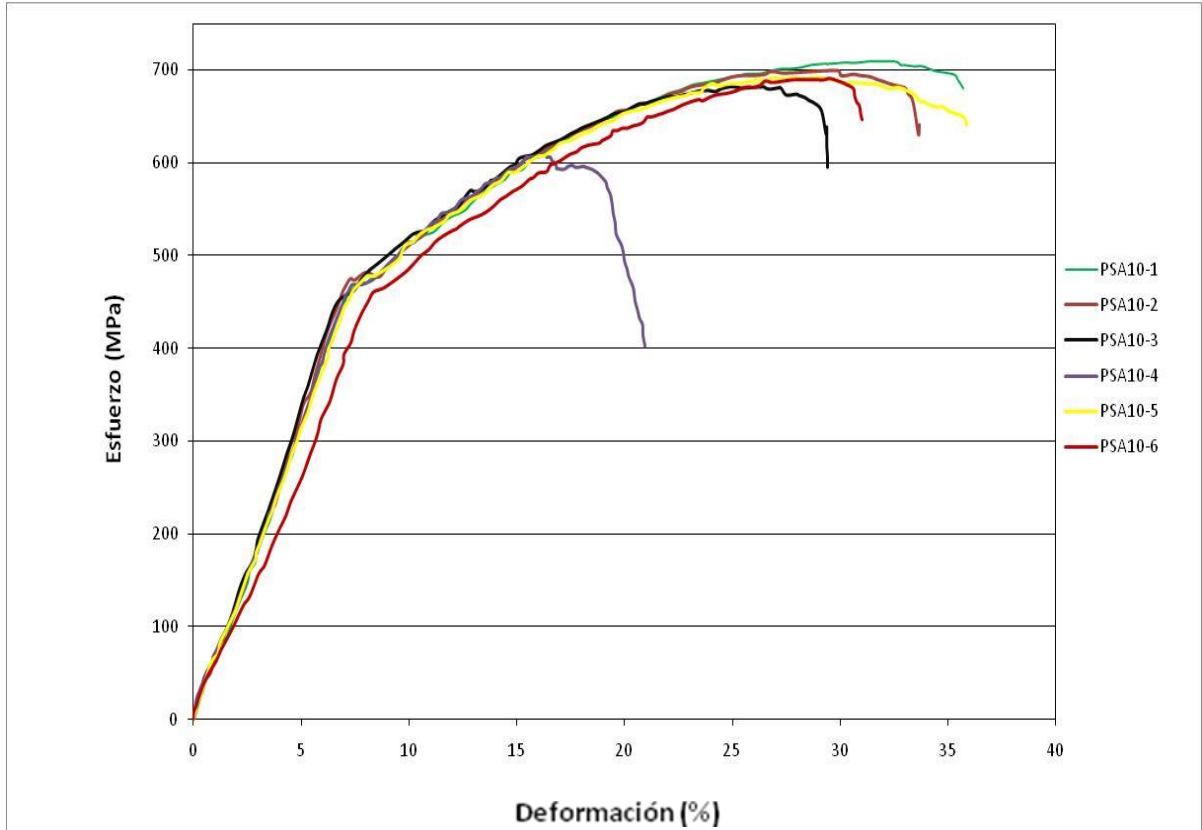


Figura 4.19: Gráficas Esfuerzo Vs. %Deformación de las probetas de Acero AISI 1045 soldadas bajo la condición de 160 Amp.

Las propiedades mecánicas del acero AISI 1045 soldado bajo la condición A, obtenidas de los ensayos tracción se presentan en la tabla 4.19.

Tabla 4.19: Esfuerzos, % de elongación, y % de reducción de área del acero AISI 1045 soldado bajo la condición de 160 Amp., para los ensayos de tracción.

Probeta	Esfuerzo de Fluencia (MPa)	Esfuerzo Máximo (MPa)	Esfuerzo de Ruptura (MPa)	Elongación (mm)	% de Elongación	%Reducción de Área
PSA10-1	431,49	677,36	651,02	8,7	22,83	19,58
PSA10-2	440,85	659,80	577,64	8,4	22,05	22,84
PSA10-3	432,29	653,27	570,72	7,2	18,90	25,86
PSA10-4	443,29	576,92	507,24	5,1	13,39	12,37
PSA10-5	442,23	648,15	599,84	8,7	22,83	34,12
PSA10-6	438,39	658,64	615,81	7,5	19,69	25,13
Promedio	438,09	645,69	587,04			
Desviación Estándar	5,08	35,10	48,59			

En las figuras 4.20, 4.21 y 4.22 se muestran las gráficas esfuerzo vs. número de ensayos resultantes de los ensayos de tracción en las probetas soldadas bajo la condición de 160 Amp.

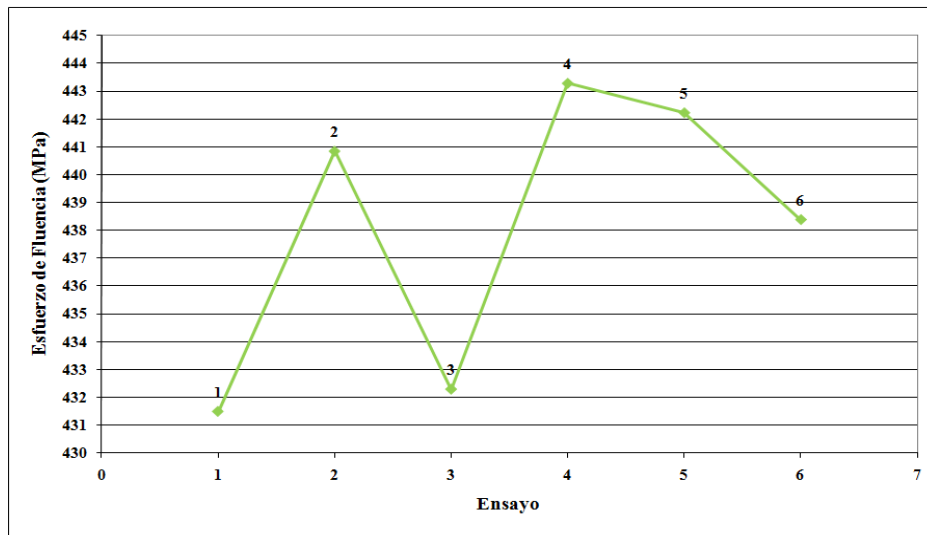


Figura 4.20: Esfuerzo de Fluencia vs. Número de Ensayo del Acero AISI 1045 soldadas bajo la condición de 160 Amp.

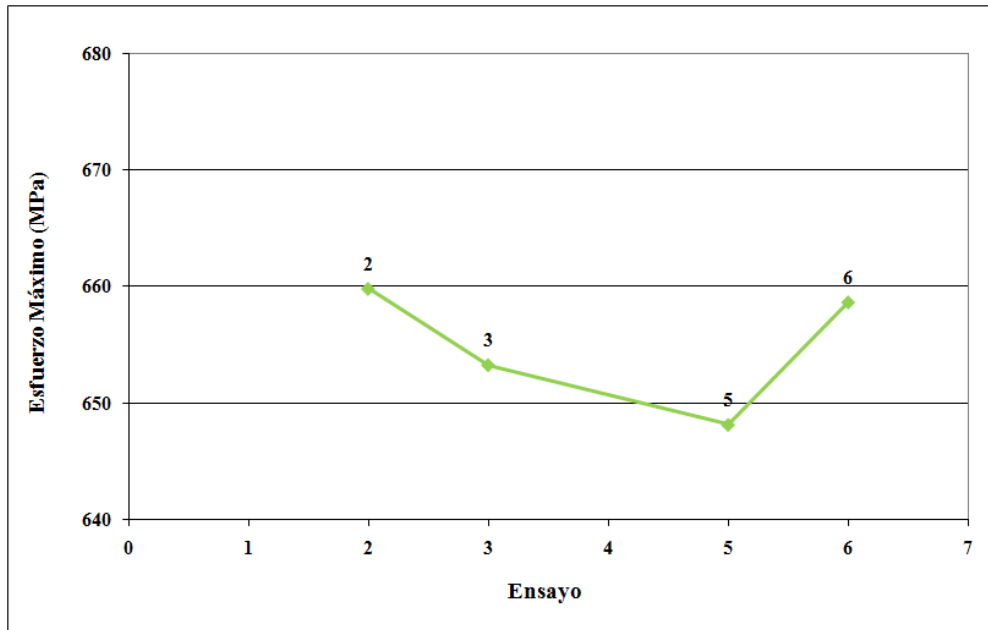


Figura 4.21: Esfuerzo Máximo vs. Número de Ensayo de Acero AISI 1045 soldadas bajo la condición de 160 Amp.

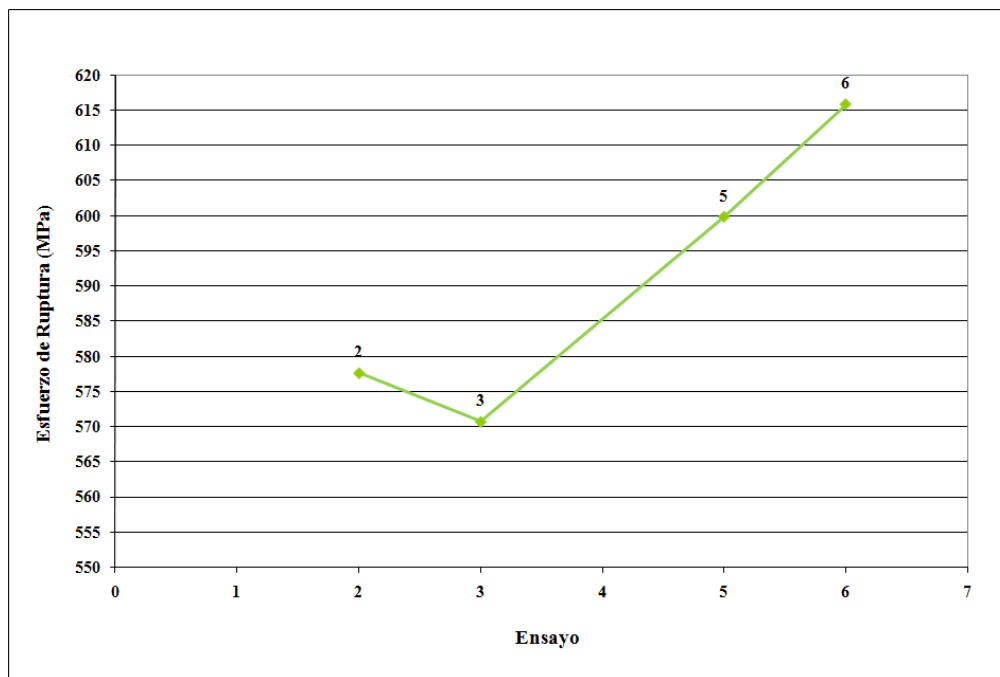


Figura 4.22: Esfuerzo de Ruptura vs. Número de Ensayo de Acero AISI 1045 soldadas bajo la condición de 160 Amp.

❖ **ACERO AISI 1045 SOLDADO BAJO LA CONDICIÓN B**

En la tabla 4.20 se presentan las dimensiones de las probetas de acero AISI 1045 soldadas con la intensidad de corriente B, antes y después de cada ensayo de tracción.

Tabla 4.20: Dimensiones de las probetas de tracción de acero AISI 1045 soldadas en la condición de 192 Amp.

Probeta	L _o (mm)	L _f (mm)	t _o (mm)	t _f (mm)	W _o (mm)	W _f (mm)	A _o (mm ²)	A _f (mm ²)
PSB10-1	38,1	45,9	10	7,93	36	31,1	360	246,73
PSB10-2	38,1	46,5	10	8,50	36	32,4	360	275,40
PSB10-3	38,1	45,4	10	8,43	36	32,3	360	272,40
PSB10-4	38,1	48,7	10	7,90	36	29,9	360	236,21
PSB10-5	38,1	47,4	10	8,27	36	31,2	360	257,92
PSB10-6	38,1	43,9	10	8,23	36	33,5	360	275,82

El comportamiento de cada una de las probetas luego de someterlas al ensayo de tracción puede observarse en la figura 4.23

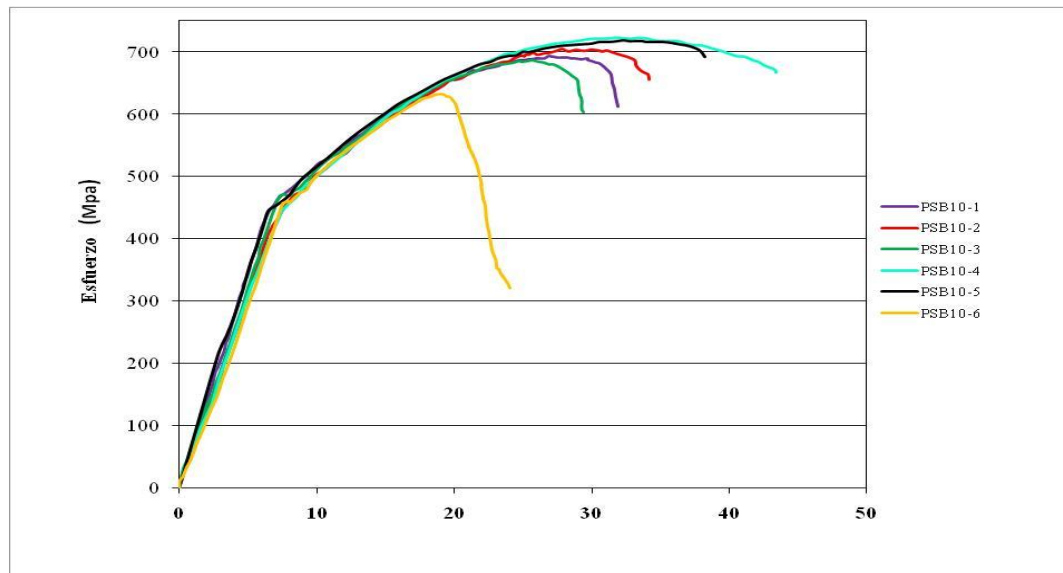


Figura 4.23: Gráficas Esfuerzo Vs. %Deformación de las probetas de Acero AISI 1045 soldadas bajo la condición de 192 Amp.

Las propiedades mecánicas del acero AISI 1045 soldado bajo la condición de 192 Amp., obtenidas de los ensayos tracción se presentan en las tablas 4.21

Tabla 4.21: Esfuerzos, % de elongación, y % de reducción de área del acero AISI 1045 soldado bajo la condición de 192 Amp., para los ensayos de tracción.

Probeta	Esfuerzo de Fluencia (MPa)	Esfuerzo Máximo (MPa)	Esfuerzo de Ruptura (MPa)	Elongación (mm)	% de Elongación	%Reducción de Área
PSB10-1	435,40	659,38	589,50	7,8	20,47	31,46
PSB10-2	440,75	673,92	627,14	8,4	22,05	23,50
PSB10-3	447,24	655,28	581,60	7,3	19,16	24,33
PSB10-4	435,40	689,41	635,71	10,6	27,82	34,39
PSB10-5	429,78	682,13	656,59	9,3	24,41	28,36
PSB10-6	441,11	609,37	542,53	5,8	15,22	23,38
Promedio	438,28	661,58	605,51			
Desviación Estándar	6,05	28,70	41,91			

Al observar los resultados obtenidos presentes en las tablas N° 4.26 y 4.28 para el acero AISI 1045 en las condiciones A (160 Amp) y B (192 Amp.), respectivamente se puede observar que los valores de esfuerzo obtenidos para la primera de estas condiciones son de: fluencia 438,09 MPa, máximo 645,69 MPa y de ruptura 587,04 MPa, mientras que para la condición B dichos valores de esfuerzos fueron de: 438,28 para la fluencia, máximo 661,58 y ruptura 605,51; de esta manera se pudo evidenciar que al realizar la soldadura con una mayor intensidad de corriente la fusión entre el material de aporte y el material base es más sostenida, las diferencias porcentuales

fueron de 0,3% , 2,4% y 3% entre los esfuerzos de fluencia, máximo y de ruptura respectivamente.

Por otro lado al observar estos resultados y compararlos con los presentados en las tablas N° 4,14 y 4,16, queda en evidencia a pesar de haber realizado el proceso de soldadura bajo las mismas condiciones, 160 Amp para las condiciones 1 y A y 192 Amp para las condiciones 2 y B, los valores de esfuerzos asociados al material sufrieron alzas así bien se pudo observar como las diferencias de los resultados entre los ensayos bajo la condición 1 y la condición A fueron de 32%, 34,8% y 34% para los esfuerzos de fluencia, máximo y de ruptura respectivamente siendo mayores los obtenidos en la condición A, mientras que para las condiciones 2 y B la diferencia de los resultados fue de 4,6% y 8,7% para los esfuerzos máximo y de ruptura y de un 8,48% para el esfuerzo de fluencia siendo solo este ultimo mayor en la condición 2.

Además de las observaciones ya mencionadas también se pudo evidenciar que a pesar de haberse presentado resultados en los que los valores de esfuerzo fueron mayores en estos nuevos ensayos aun los mismos están por debajo de los valores obtenidos durante el proceso de caracterización, así bien la diferencia presente entre los valores de la caracterización y los valores de la condición B (la de mejores resultados en cuanto a resistencia a la tracción) es de

En las figuras 4.24, 4.25 y 4.26 se muestran las gráficas esfuerzo vs. número de ensayos resultantes de los ensayos de tracción en las probetas soldadas bajo la condición B.

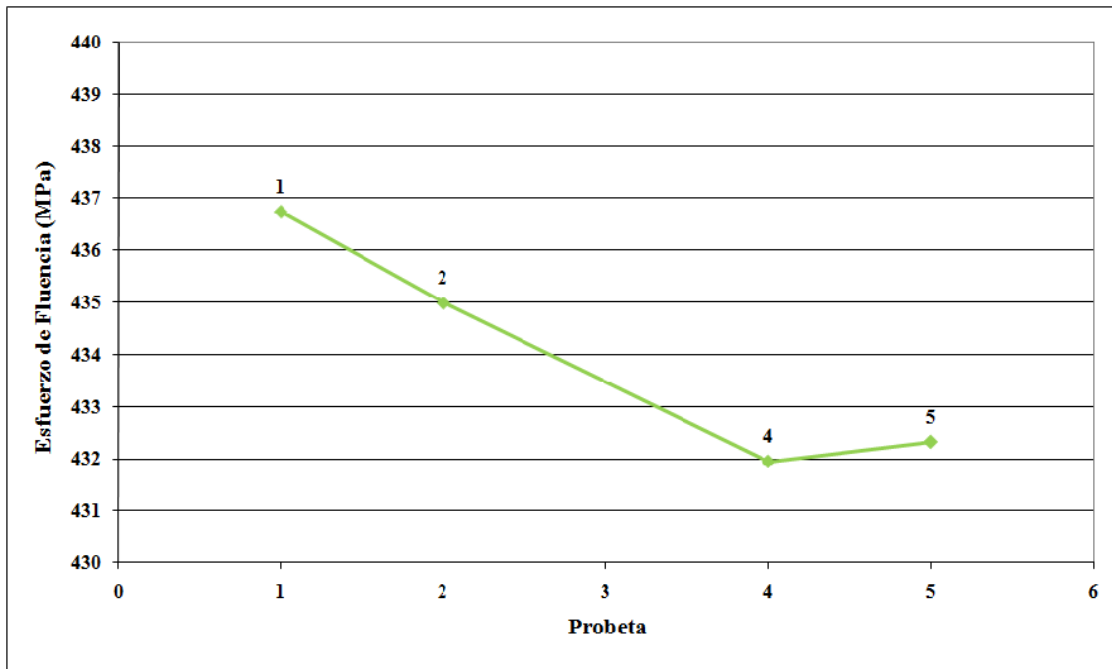


Figura 4.24: Esfuerzo de Fluencia vs. Número de Ensayo del Acero AISI 1045 soldadas bajo la condición de 192 Amp.

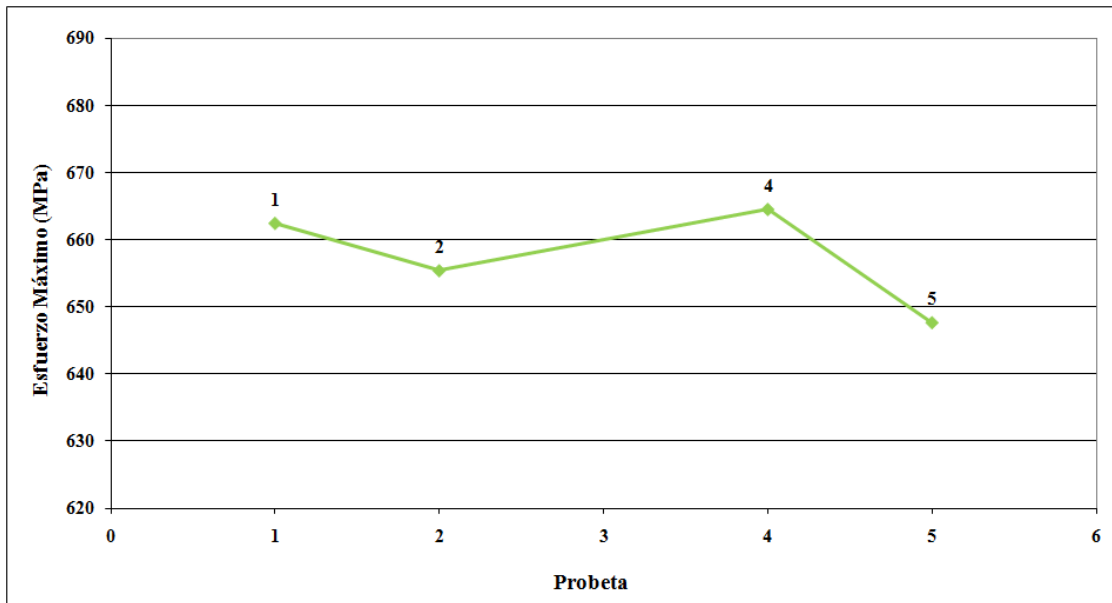


Figura 4.25: Esfuerzo Máximo vs. Número de Ensayo de Acero AISI 1045 soldadas bajo la condición de 192 Amp.

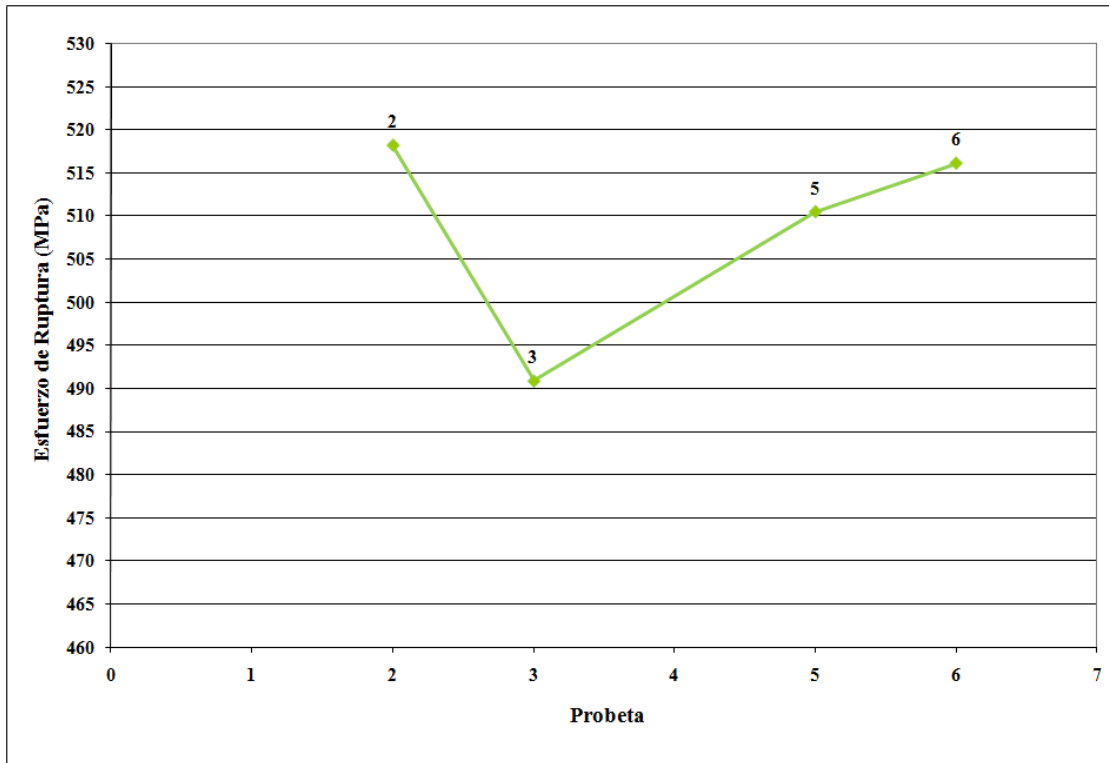


Figura 4.26: Esfuerzo de Ruptura vs. Número de Ensayo del Acero AISI 1045 soldadas bajo la condición de 192 Amp.

4.2 ENSAYO DE DUREZA

Luego de realizados los ensayos de dureza, se tabularon y graficaron los resultados donde aparecen los valores de las durezas obtenidas así como la escala a la cual pertenecen.

4.2.1 CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL

4.2.1.1 ACERO AISI 1010

En la tabla 4.22 se presentan los valores de dureza para el material base acero AISI 1010, el comportamiento de la dureza de este material puede observarse en la figura

4.27; para este se tomó una (1) muestra en virtud de que fue el mismo material base empleado para las dos condiciones de soldadura.

Tabla 4.22: Dureza del acero AISI 1010 en caracterización.

N° de Ensayo	Dureza Rockwell A						Promedio
	1	2	3	4	5	6	
Metal Base	44,6	43,9	45,4	46	46,2	45,6	45,3

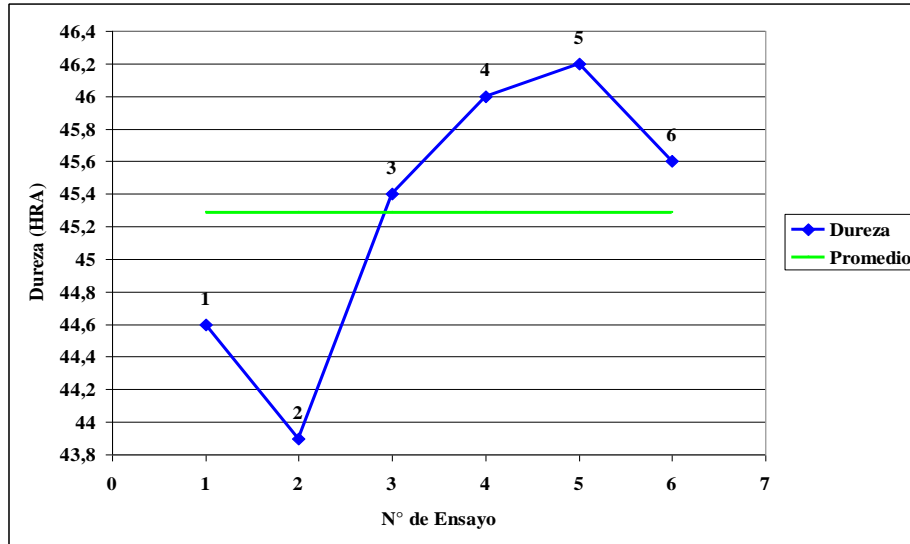


Figura 4.27: Dureza del material AISI 1010

Al observar el valor promedio obtenido (45,3 HRa) y compararlo con el valor teórico para este material (46 HRa), el cual ha sido extraído METALS HANDBOOK VOLUMEN 1, sólo presentándose una diferencia entre ellos de 1,52%, este resultado, adicionado al obtenido en los ensayos de tracción durante la caracterización del material, permite corroborar que el material empleado en la investigación se corresponde realmente con el de un acero AISI 1010.

4.2.1.2 ACERO AISI 1045

En la tabla 4.23 se presentan los valores de dureza para el material base acero AISI 1045 y en la figura 4.28 se aprecian gráficamente dichos valores.

Tabla 4.23: Dureza del acero AISI 1045 en caracterización.

N° de Ensayo	Dureza Rockwell A						Promedio
	1	2	3	4	5	6	
Metal Base	55,2	55,9	54,6	54,2	55,6	55,5	55,2

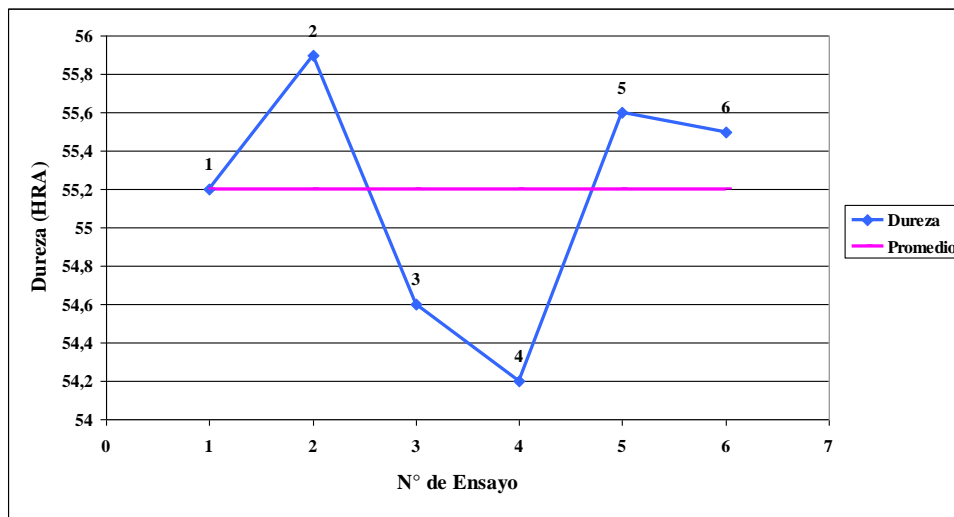


Figura 4.28: Dureza del material AISI 1045

Al observar el valor promedio obtenido (55,2 HRA) y compararlo con el valor teórico para este material (54 HRA), el cual ha sido extraído METALS HANDBOOK VOLUMEN 1, sólo presentándose una diferencia entre ellos de 2,17% lo que representa una diferencia aceptable tomando en consideración los diferentes factores que influyeron en la obtención experimental de ambos valores, este resultado, adicionado al obtenido en los ensayos de tracción durante la caracterización del

material, permite corroborar que el material empleado en la investigación se corresponde realmente con el de un acero AISI 1015.

4.2.2 MATERIAL SOLDADO

4.2.2.1 ACERO AISI 1010

A continuación se presentan los resultados obtenidos luego de haber realizado los ensayos a las probetas de acero AISI 1010 soldadas con dos tipos de intensidad de corriente diferente.

❖ ACERO AISI 1010 SOLDADO BAJO LA CONDICIÓN 1

En las tablas 4.24, 4.25 y 4.26 se presentan los valores de dureza obtenidos al ensayar la muestra de acero AISI 1010 soldada bajo la condición 1.

Tabla 4.24: Dureza del acero AISI 1010 en el cordón de soldadura bajo la condición 1.

N° de Probetas	Dureza Rockwell A			
	1	2	3	Promedio
1	55,8	58,8	57,5	57,367
2	55,9	57,5	57,3	56,900

Tabla 4.25: Dureza del acero AISI 1010 en la zona afectada por el calor del lado derecho bajo la condición 1.

N° de Probetas	Dureza Rockwell A			
	1	2	3	Promedio
1	48,9	47,6	49,6	48,700
2	49,2	50,2	49,8	49,733

Tabla 4.26: Dureza del acero AISI 1010 en la zona afectada por el calor del lado izquierdo bajo la condición 1.

N° de Probetas	Dureza Rockwell A			
	1	2	3	Promedio
1	48,5	48,2	48	48,233
2	48,4	47,8	48,2	48,133

En las figuras 4.29 y 4.30 se pueden observar los valores promedios de dureza (HRA) en cada una de las zonas de las probetas ensayadas.

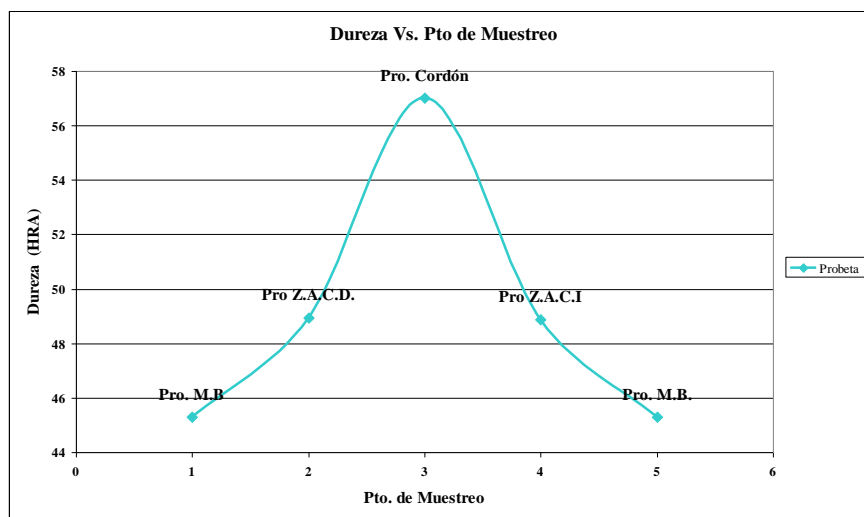


Figura 4.29: Dureza Promedio en cada zona de la probeta 1 de acero AISI 1010 soldada bajo la condición 1

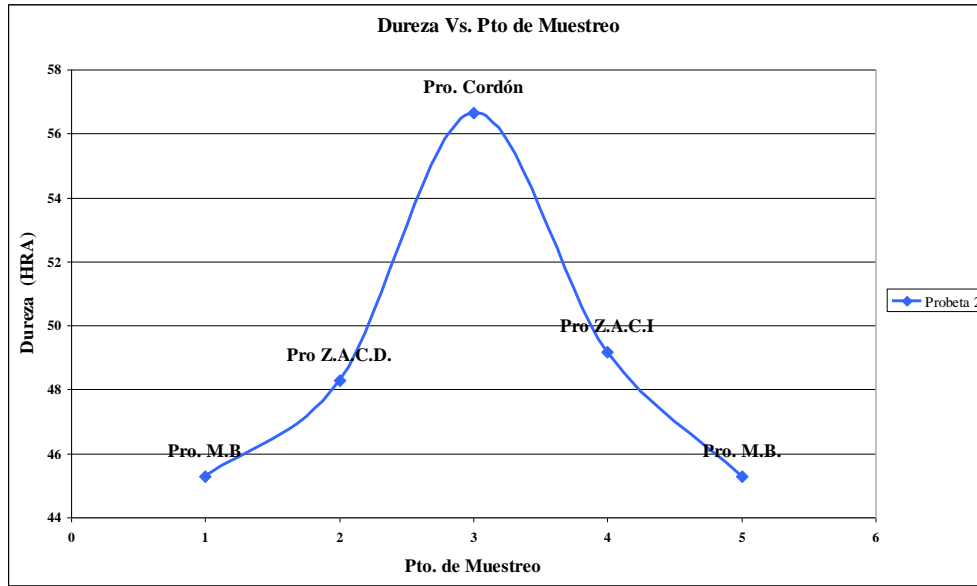


Figura 4.30: Dureza Promedio en cada zona de la probeta 2 de acero AISI 1010 soldada bajo la condición 1

En la tabla 4.27 se presentan los valores de dureza promedio para cada uno de los ensayos así como también un promedio entre estos, para de esta manera obtener los valores promedio de las durezas en cada zona para el acero AISI 1010 soldado bajo la condición 1, las cuales se pueden observar en la Figura 4.31

Tabla 4.27: Dureza promedio del acero AISI 1010 soldado bajo la condición 1.

N° de Probetas	Dureza Rockwell A				
	M.B.	Z.A.C.D.	CORDÓN.	Z.A.C.I.	M.B.
1	45,283	48,700	57,367	48,233	45,283
2	45,283	49,733	56,900	48,133	45,283
Promedio	45,283	48,617	56,850	49,017	45,283

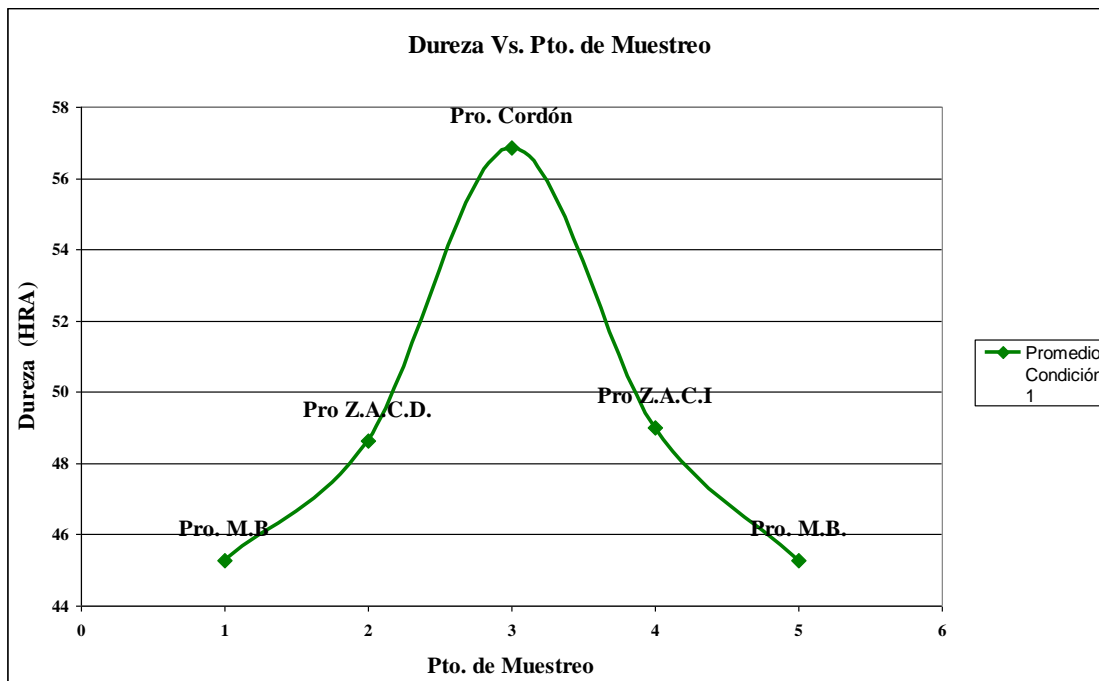


Figura 4.31: Dureza Promedio del acero AISI 1010 soldado bajo la condición 1

Al Observar la figura N° 4.31 y los valores de dureza presentados en la tabla N° 4.27, se puede constatar el incremento del valor de la dureza a medida que se va acercando la medición a la zona del cordón de soldadura, esto permite aseverar que el calentamiento sufrido tanto por el material base como por el de aporte producto del proceso de soldadura genera un aumento de esta propiedad, que se refleja de manera gradual en el material final (la junta soldada).

❖ ACERO AISI 1010 SOLDADO BAJO LA CONDICIÓN 2

En las tablas 4.28, 4.29 y 4.30 se presentan los valores de dureza obtenidos al ensayar la muestra de acero AISI 1010 soldada bajo la condición 2.

Tabla 4.28: Dureza del acero AISI 1010 en el cordón de soldadura bajo la condición 2.

N° de Probetas	Dureza Rockwell A			
	1	2	3	Promedio
1	55,8	58,8	56,5	57,033
2	55,9	57,5	56,6	56,667

Tabla 4.29: Dureza del acero AISI 1010 en la zona afectada por el calor del lado derecho bajo la condición 2.

N° de Probetas	Dureza Rockwell A			
	1	2	3	Promedio
1	48,7	50,1	48	48,933
2	47,6	48,2	49,1	48,300

Tabla 4.30: Dureza del acero AISI 1010 en la zona afectada por el calor del lado izquierdo bajo la condición 2.

N° de Probetas	Dureza Rockwell A			
	1	2	3	Promedio
1	49,2	49,8	47,6	48,867
2	49,7	48,6	49,2	49,167

En las figuras 4.32 y 4.33 se pueden observar los valores promedios de dureza (HRA) en cada una de las zonas de las probetas ensayadas.

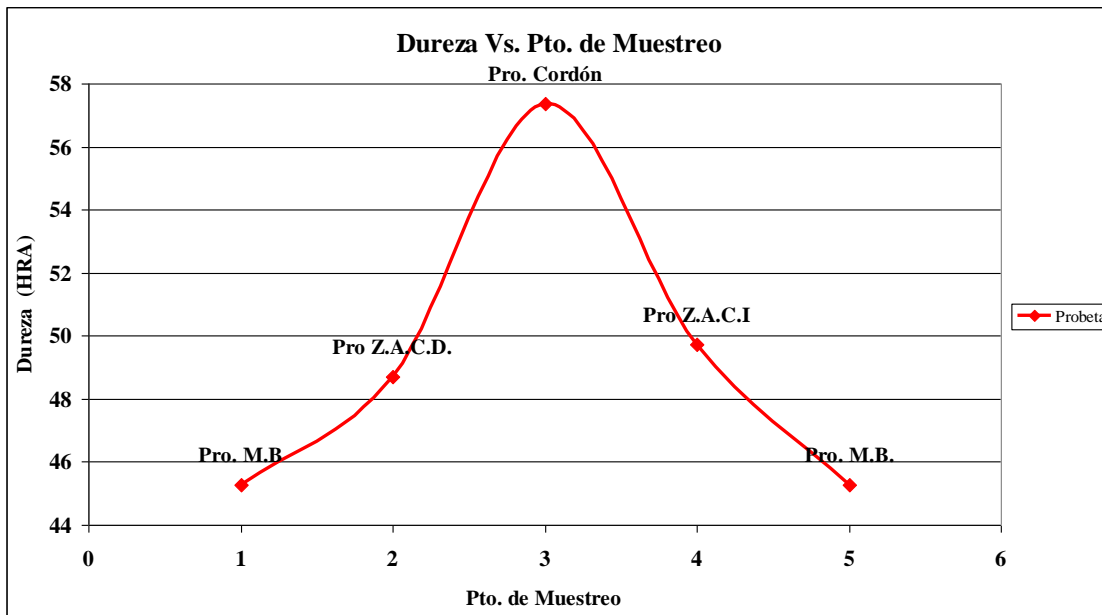


Figura 4.32: Dureza Promedio en cada zona de la probeta 1 de acero AISI 1010 soldada bajo la condición 2

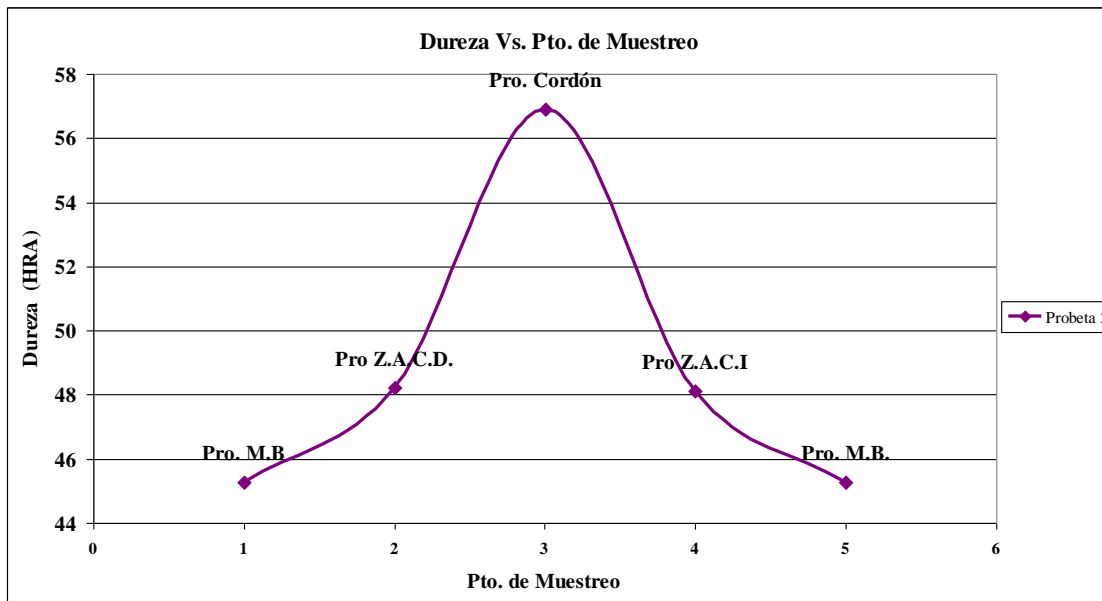


Figura 4.33: Dureza Promedio en cada zona de la probeta 2 de acero AISI 1010 soldada bajo la condición 2

En la tabla 4.31 se presentan los valores de dureza promedio para cada uno de los ensayos así como también un promedio entre estos, para de esta manera obtener los

valores promedio de las durezas en cada zona para el acero AISI 1010 soldado bajo la condición 2, las cuales se pueden observar en la Figura 4.34

Tabla 4.31: Dureza promedio del acero AISI 1010 soldado bajo la condición 2.

N° de Ensayo	Dureza Rockwell A				
	M.B.	Z.A.C.D.	CORDÓN.	Z.A.C.I.	M.B.
1	45,283	48,700	57,367	49,733	45,28
2	45,283	48,233	56,900	48,133	45,28
Promedio	45,28	48,46	57,13	48,93	45,28

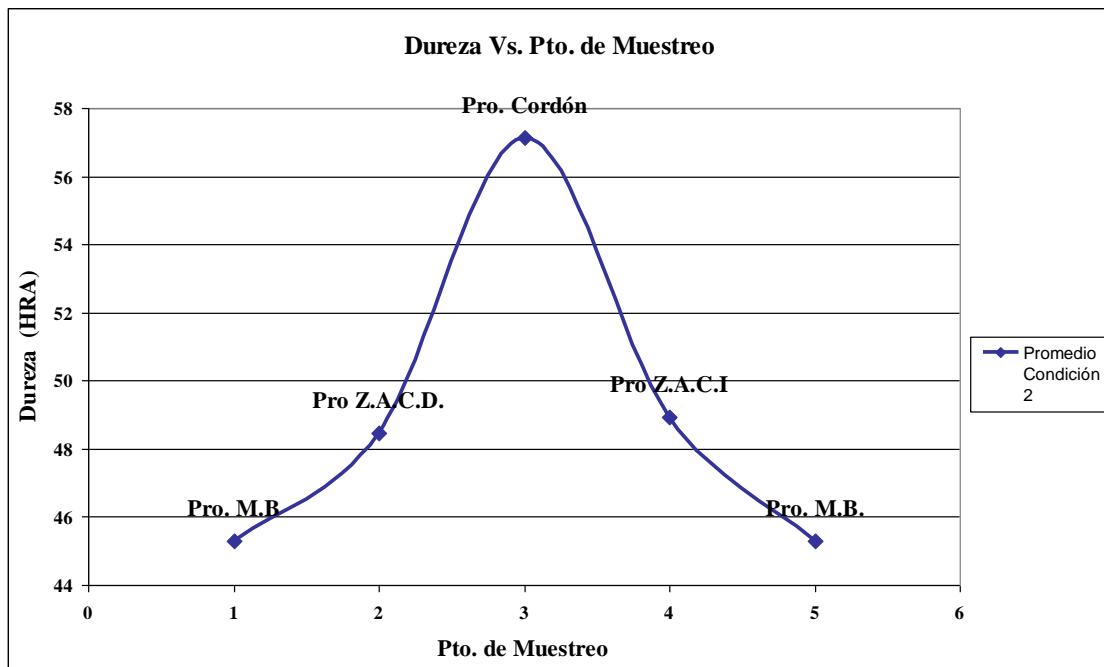


Figura 4.34: Dureza Promedio del acero AISI 1010 soldado bajo la condición 2

Al Observar la figura N° 4.34 y los valores de dureza presentados en la tabla N° 4.31, se puede constatar, al igual que en la condición 1, el incremento del valor de la dureza

a medida que se va acercando la medición a la zona del cordón de soldadura, esto permite aseverar que el calentamiento sufrido tanto por el material base como por el de aporte producto del proceso de soldadura genera un aumento de esta propiedad, que se refleja de manera gradual en el material final (la junta soldada).

Por otro lado si comparamos las figuras N° 4.31 y 4.34 y además de ello realizamos el mismo análisis comparativo de las tablas N° 4.27 y 4.31 podemos observar que existe un ligero aumento de la dureza para la condición 2 (160Amp.), este aumento es de aproximadamente 0,5%

4.2.2.2 ACERO AISI 1045

A continuación se presentan los resultados obtenidos luego de haber realizado los ensayos a las probetas de acero AISI 1045 soldadas con dos tipos de intensidad de corriente diferente.

❖ ACERO AISI 1045 SOLDADO BAJO LA CONDICIÓN 1

En las tablas 4.32, 4.33 y 4.34 se presentan los valores de dureza obtenidos al ensayar la muestra de acero AISI 1045 soldada bajo la condición 1.

Tabla 4.32: Dureza del acero AISI 1045 en el cordón de soldadura.

N° de Probetas	Dureza Rockwell A			
	1	2	3	Promedio
1	56,7	57,1	56,4	56,733
2	56,9	57,3	56,73	56,967

Tabla 4.33: Dureza del acero AISI 1045 en la zona afectada por el calor del lado derecho.

N° de Probetas	Dureza Rockwell A			
	1	2	3	Promedio
1	54,9	55,5	55,4	55,267
2	54,9	55,4	55,3	55,200

Tabla 4.34: Dureza del acero AISI 1045 en la zona afectada por el calor del lado izquierdo.

N° de Probetas	Dureza Rockwell A			
	1	2	3	Promedio
1	55,3	56,6	56	55,967
2	55,9	55,8	56,1	55,933

En las figuras 4.35 y 4.36 se pueden observar los valores promedios de dureza (HRA) en cada una de las zonas de las probetas ensayadas.

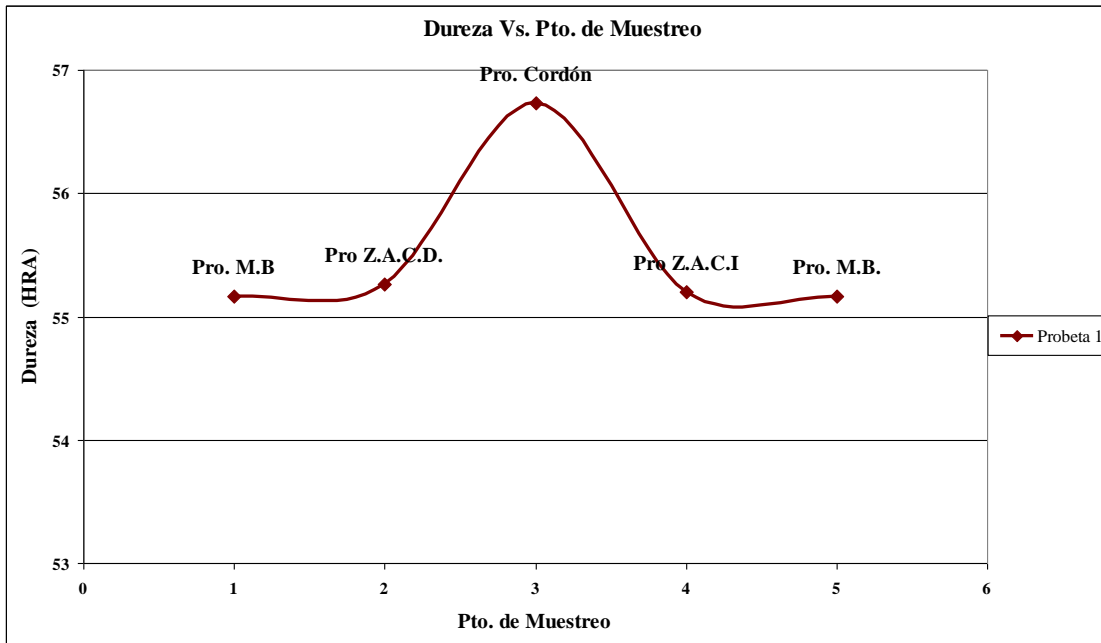


Figura 4.35: Dureza Promedio en cada zona de la probeta 1 de acero AISI 1045 soldada bajo la condición 1

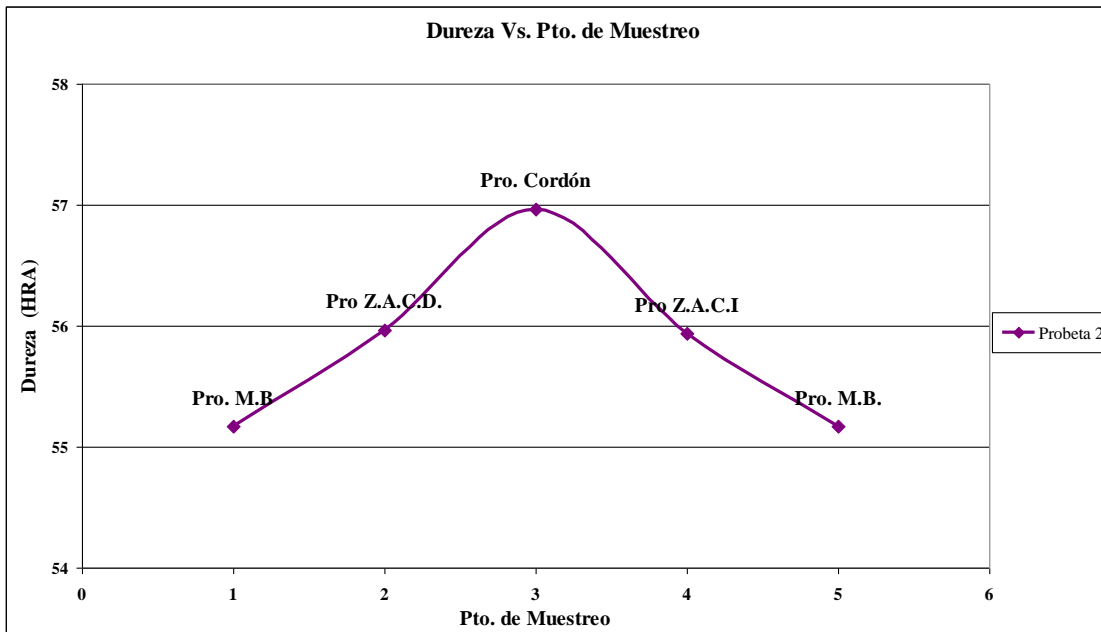


Figura 4.36: Dureza Promedio en cada zona de la probeta 2 de acero AISI 1045 soldada bajo la condición 1

En la tabla 4.35 se presentan los valores de dureza promedio para cada uno de los ensayos así como también un promedio entre estos para de esta manera obtener los valores promedio de las durezas en cada zona para el acero AISI 1045 soldado bajo la condición 1, las cuales se pueden observar en la Figura 4.37

Tabla 4.35: Dureza promedio del acero AISI 1045 soldado bajo la condición 1.

N° de Probetas	Dureza Rockwell A				
	M.B.	Z.A.C.D.	CORDÓN.	Z.A.C.I.	M.B.
1	55,17	55,27	56,73	55,2	55,17
2	55,17	55,97	56,97	55,93	55,17
Promedio	55,167	55,617	56,850	55,567	55,167

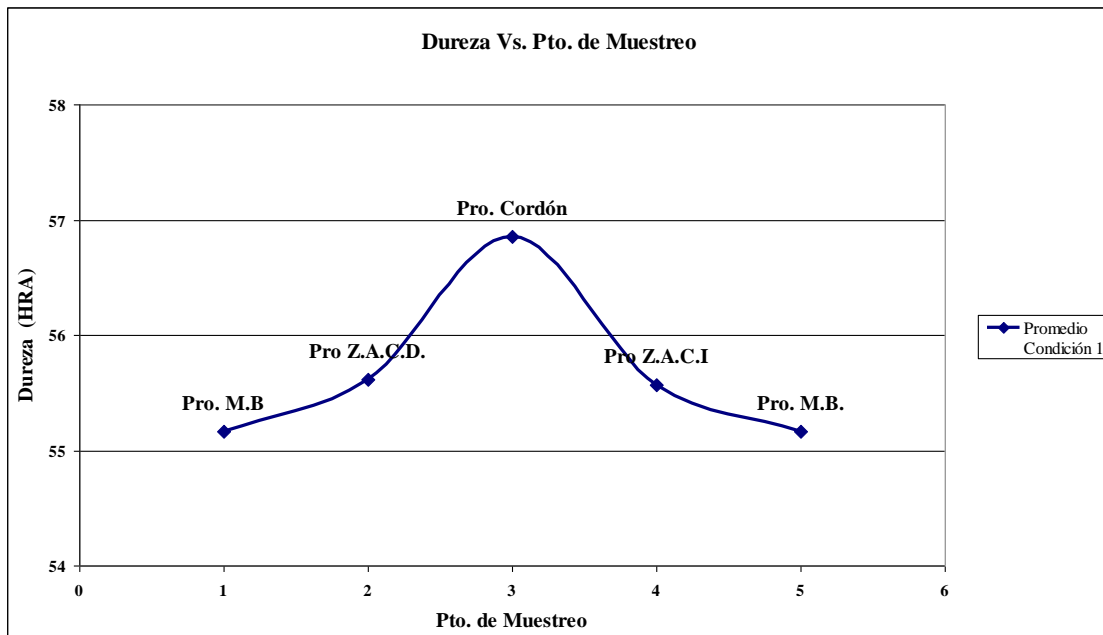


Figura 4.37: Dureza Promedio del acero AISI 1045 soldado bajo la condición 1

Al Observar la figura N° 4.37 y los valores de dureza presentados en la tabla N° 4.35, se puede constatar el incremento del valor de la dureza a medida que se va acercando la medición a la zona del cordón de soldadura, esto permite aseverar que el

calentamiento sufrido tanto por el material base como por el de aporte producto del proceso de soldadura genera un aumento de esta propiedad, que se refleja de manera gradual en el material final (la junta soldada).

❖ ACERO AISI 1045 SOLDADO BAJO LA CONDICIÓN 2

En las tablas 4.36, 4.37 y 4.38 se presentan los valores de dureza obtenidos al ensayar la muestra de acero AISI 1045 soldada bajo la condición 2.

Tabla 4.36: Dureza del acero AISI 1045 en el cordón de soldadura.

N° de Probetas	Dureza Rockwell A			
	1	2	3	Promedio
1	59,6	61,8	60	60,467
2	59,6	62,5	61,2	61,100

Tabla 4.37: Dureza del acero AISI 1045 en la zona afectada por el calor del lado derecho.

N° de Probetas	Dureza Rockwell A			
	1	2	3	Promedio
1	55,6	57,3	56,4	56,433
2	57,3	56,7	55,5	56,500

Tabla 4.38: Dureza del acero AISI 1045 en la zona afectada por el calor del lado izquierdo.

N° de Probetas	Dureza Rockwell A			
	1	2	3	Promedio
1	56,1	57,3	55,6	56,333
2	56,4	55,8	57,3	56,500

En las figuras 4.38 y 4.39 se pueden observar los valores promedios de dureza (HRA) en cada una de las zonas de las probetas ensayadas.

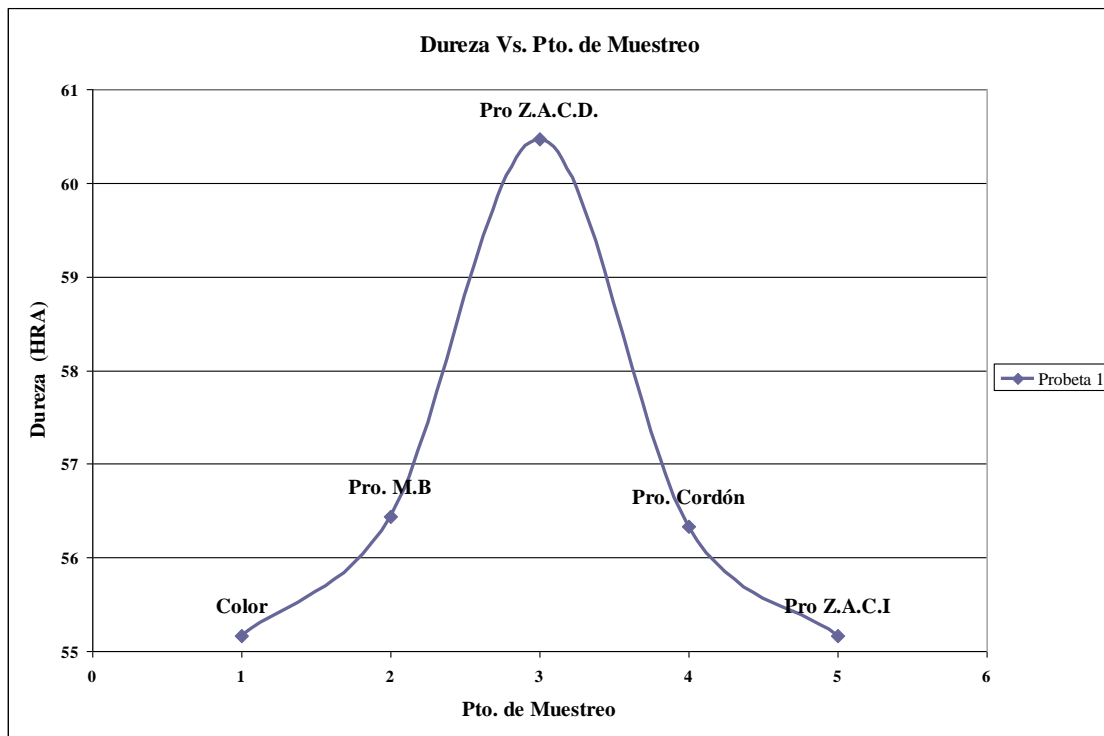


Figura 4.38: Dureza Promedio en cada zona de la probeta 1 de acero AISI 1045 soldada bajo la condición 2

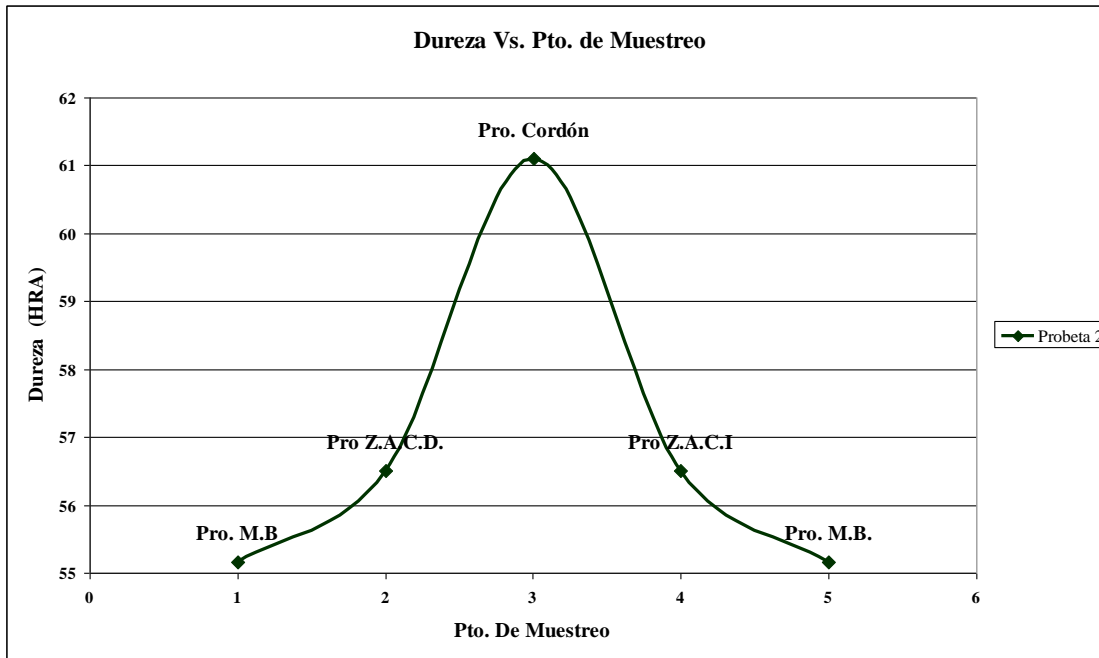


Figura 4.39: Dureza Promedio en cada zona de la probeta 2 de acero AISI 1045 soldada bajo la condición 2

En la tabla 4.39 se presentan los valores de dureza promedio para cada uno de los ensayos así como también un promedio entre estos, para de esta manera obtener los valores promedio de las durezas en cada zona para el acero AISI 1045 soldado bajo la condición 2, las cuales se pueden observar en la Figura 4.40

Tabla 4.39: Dureza promedio del acero AISI 1045 soldado bajo la condición 2.

N° de probetas	Dureza Rockwell A				
	M.B.	Z.A.C.D.	CORDÓN.	Z.A.C.I.	M.B.
1	55,17	56,43	60,47	56,3	55,17
2	55,17	56,5	61,1	56,5	55,17
Promedio	55,167	56,467	60,783	56,417	55,167

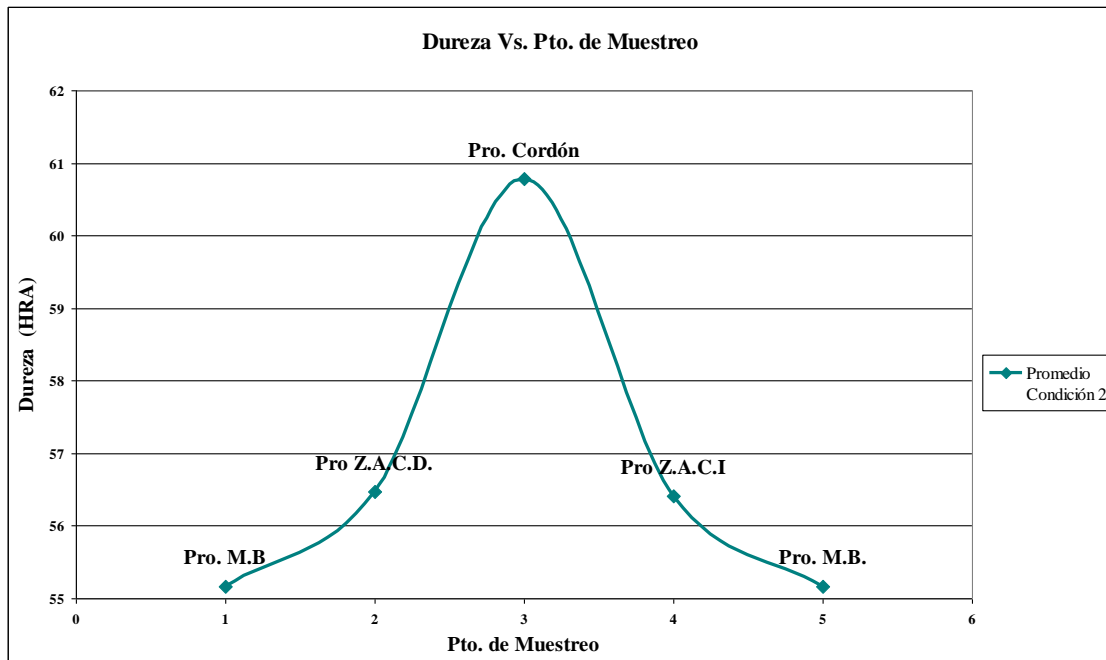


Figura 4.40: Dureza Promedio del acero AISI 1045 soldado bajo la condición 2

Al Observar la figura N° 4.40 y los valores de dureza presentados en la tabla N° 4.39, se puede constatar, al igual que en la condición 1, el incremento del valor de la dureza a medida que se va acercando la medición a la zona del cordón de soldadura, esto permite aseverar que el calentamiento sufrido tanto por el material base como por el de aporte producto del proceso de soldadura genera un aumento de esta propiedad, que se refleja de manera gradual en el material final (la junta soldada).

De igual manera si comparamos las figuras N° 4.37 y 4.40 y además de ello realizamos el mismo análisis comparativo de las tablas N° 4.35 y 4.39 podemos observar que existe un ligero aumento de la dureza para la condición 2 (192 Amp.), este aumento se atribuye al mayor calentamiento a los que son sometidos el material base y el material de aporte al realizar la unión a una mayor intensidad de corriente; este aumento de la, dureza entre ambas condiciones, es de aproximadamente 6,47%

4.3 ENSAYO METALOGRAFICO

A continuación expondremos las diferentes micrografías a las que se sometieron los aceros en sus diferentes estados, las probetas fueron atacadas con el reactivo Nital (ácido nítrico) al 4% de concentración, la mayoría de las imágenes se tomaron a un aumento de 100X, 200X, 400X y 1000 X.

4.3.1 MICROSCOPIA DEL ACERO

4.3.1.1 ACERO 1010

En La figura 4.41 podemos observar la microestructura teórica ó referencial de un acero AISI 1010, obtenida del ASM METALS HANDBOOK VOL. 9, en esta figura se pueden observar claramente la matriz ferrítica, presentándose en los límites de grano de esta pequeñas trazas de perlita (la cual es una mezcla mecánica de ferrita + cementita ternaria).

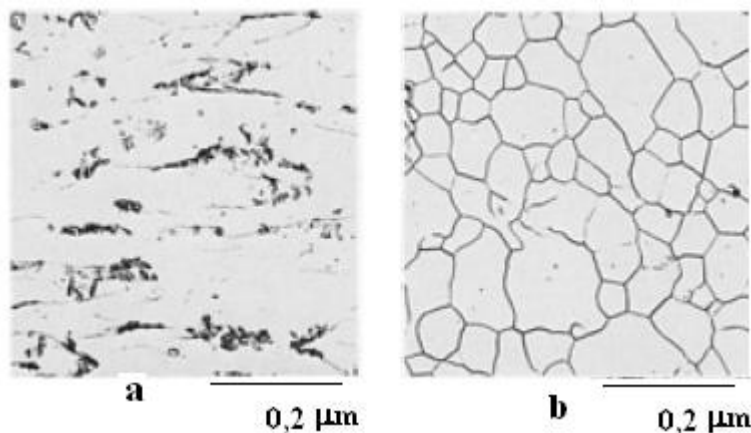


Figura 4.41 Microscopia del material base acero AISI 1010 a 400X, a) Pulido muy pobre; b) Luego de realizar un pulido 2mm debajo de los mostrado en la figura a).

En la figura 4.42 se muestra la microestructura del acero AISI 1010, obtenida durante los ensayos realizados en la investigación. En la misma pueden apreciar la estructura característica de un acero de bajo contenido de carbono como es la matriz de constituida casi en su totalidad por granos de ferrita, los cuales son delimitados por pequeñas secciones de constitución perlítica; la figura 4.42 c) permite apreciar la estructura antes mencionada de una mejor manera.

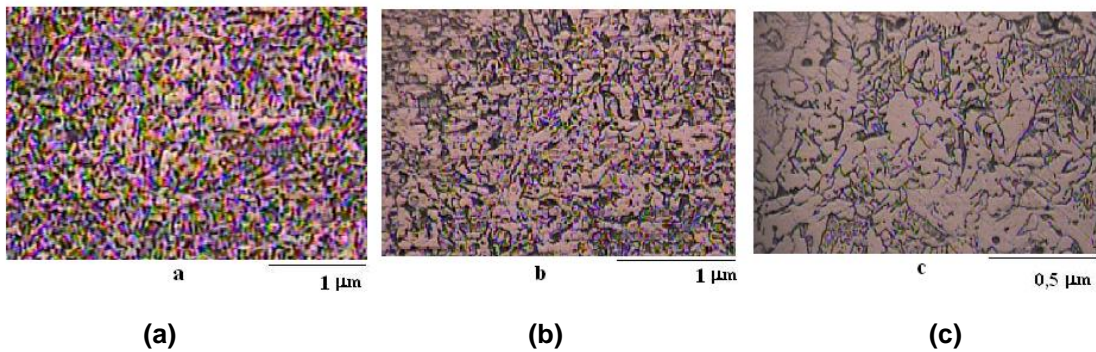


Figura 4.42 Microscopia del material base acero AISI 1010 en: a) 100X. b) 200X c) 400X

A continuación la Figura 4.43 muestra una micrografía del cordón de soldadura para el acero AISI 1010 soldado bajo la condición 1

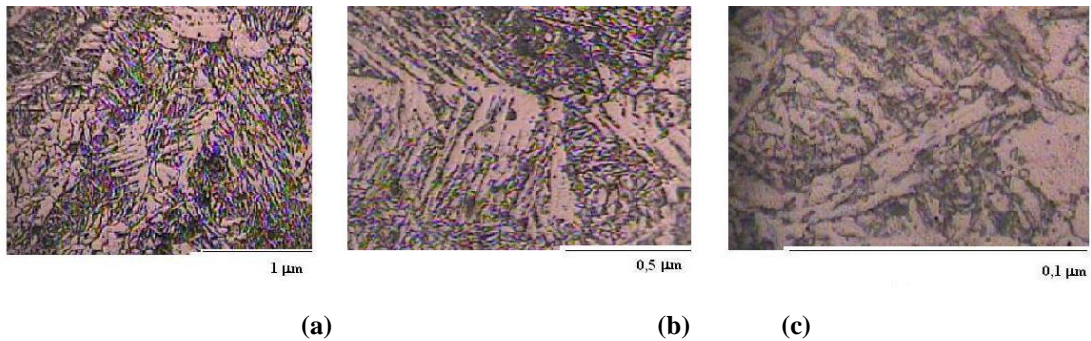


Figura 4.43 Microscopia del acero AISI 1010 en el cordón de soldadura para la condición 1 (130Amp) : a) a 200X. b) a 400X c) a 1000X

En la figura 4.43 se observan granos equiaxiales de ferrita alargada (zonas claras) y pequeñas trazas de perlita (zonas oscuras) alrededor de estos; esta estructura se corresponde con la estructura de un acero de bajo carbono cuando sufre un proceso de normalizado.

A continuación la Figura 4.44 se muestra una micrografía del cordón de soldadura para el acero AISI 1010 soldado bajo la condición 2

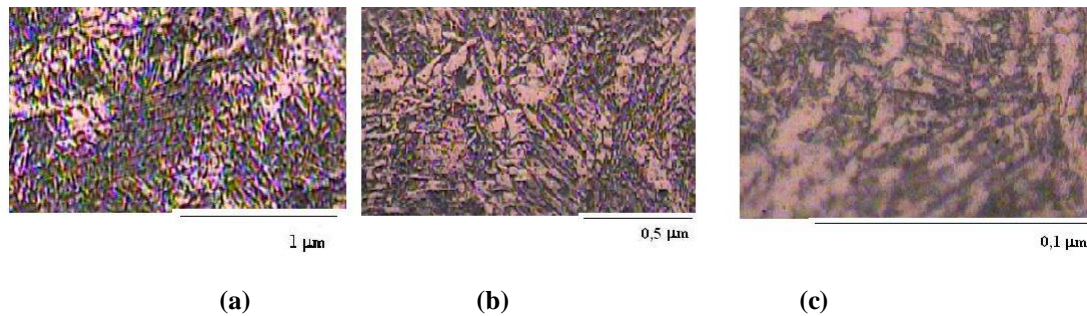


Figura 4.44: Microscopia del acero AISI 1010 en el cordón de soldadura para la condición 2 (160Amp) : a) a 200X. b) a 400X c) a 1000X

En la figura 4.44 al igual que en la figura N° 4.43 se observan granos equiaxiales de ferrita alargada (zonas claras), pero trazas de perlita (zonas oscuras) se presentan en una mayor proporción alrededor de estos, esto producto del aumento de la temperatura durante el proceso de soldadura y la intensidad de corriente empleada; esta estructura se corresponde con la estructura de un acero de bajo carbono cuando sufre un proceso de normalizado.

En la Figura 4.45 se puede apreciar el resultado microscópico de observar la Zona Afectada por el calor, después del realizar el proceso de soldadura bajo la condición 1.

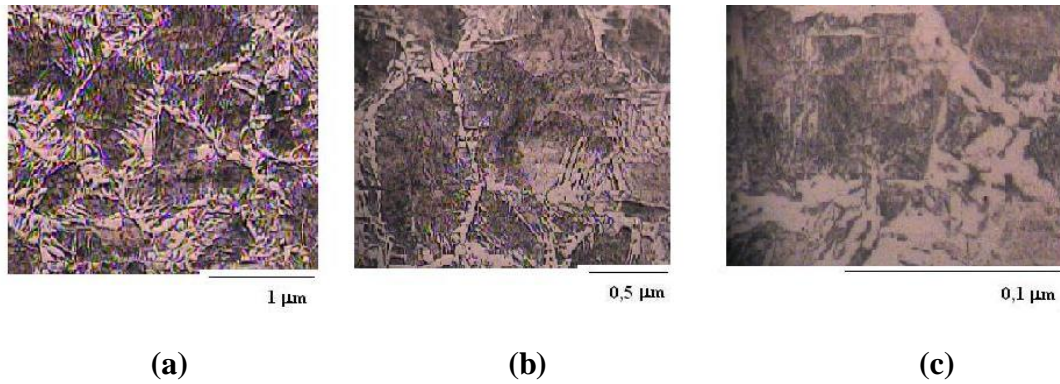


Figura 4.45 Microscopia del acero AISI 1010 en la Zona Afectada por el Calor para la condición 1 (130Amp): a) a 200X. b) a 400X c) a 1000X

Al observar la figura 4.45 se puede apreciar la zona afectada por el calor, en la que se distinguen claramente los granos de ferrita (zonas claras) y los granos de perlita (zonas oscuras) la proporción de ambas estructuras se ha prácticamente equiparado debido a las temperaturas alcanzadas en el proceso de soldadura, lo que ha generado un crecimiento del grano de perlita y un alargamiento en el grano ferrítico.

En la Figura 4.46 se puede apreciar el resultado microscópico de observar la Zona Afectada por el calor, después del realizar el proceso de soldadura bajo la condición 2.

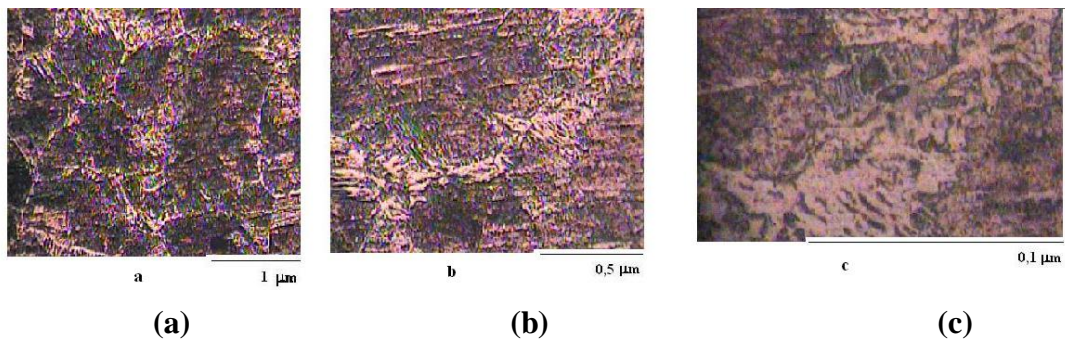


Figura 4.46 Microscopia del acero AISI 1010 en la Zona Afectada por el Calor para la condición 2 (160Amp): a) a 200X. b) a 400X c) a 1000X

Al observar la figura 4.46, al igual que en la figura N° 4.45, se pueden distinguir los granos de ferrita (zonas claras) y los granos de perlita (zonas oscuras) la proporción de ambas estructuras se ha prácticamente equiparado debido a las temperaturas alcanzadas en el proceso de soldadura, lo que ha generado un crecimiento del grano de perlita y un alargamiento en el grano ferrítico; es importante resaltar que para esta segunda condición el crecimiento de grano se ha dado de una manera un poco más pronunciada.

4.3.1.2 ACERO AISI 1045

En la figura 4.47 podemos observar la microestructura teórica ó referencial de un acero AISI 1045, obtenida del ASM METALS HANDBOOK VOL. 9, en esta figura se puede notar como la estructura se constituye por una estructura ferrítica (partes claras) y por perlita laminar (partes oscuras) en una proporción 60% y 40% respectivamente, la presencia de una mayor cantidad de perlita en comparación con el acero AISI 1010 obedece al mayor porcentaje de carbono presente en este material.

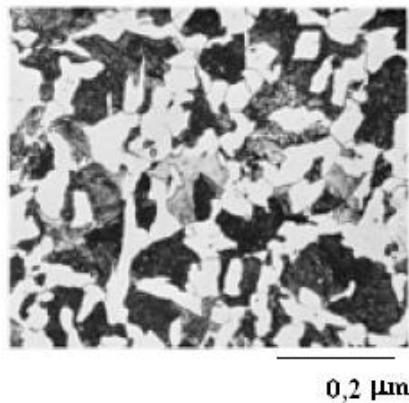


Figura 4.47 Microscopia de referencia para el acero AISI 1045 a 400X

En la figura 4.47 se muestra la microestructura del acero AISI 1045, obtenida durante los ensayos realizados en la investigación. En la misma se puede apreciar la

estructura característica de un acero de mediano porcentaje de carbono como es la matriz constituida por ferrita (zonas claras) y la presencia en una cantidad significativa de perlita (zonas oscuras), de esta manera al observar la figura N° 4.48 y comparar con la figura N° 4.47 queda en evidencia que el material empleado en la investigación se corresponde con el de un acero AISI 1045; la figura 4.48 c) permite apreciar la estructura antes mencionada de una mejor manera.

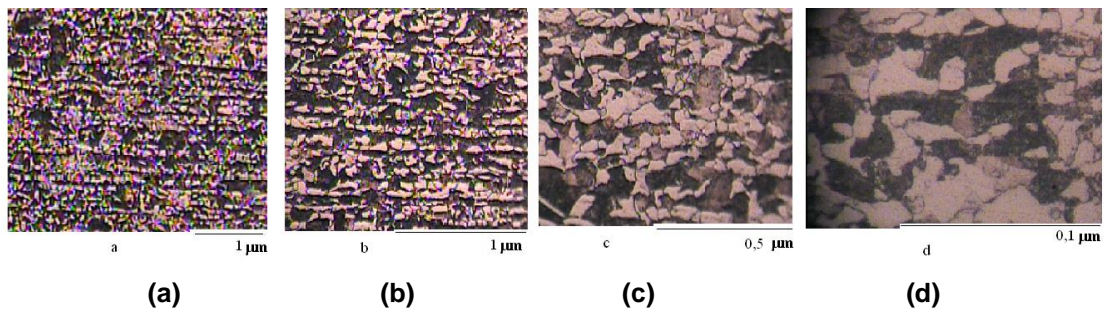


Figura 4.48 Microscopia del metal base, acero AISI 1045: a) 100X. b) 200X; c) 400X y d) 1000X

En la figura N° 4.49 se representa la microscopia del cordón de soldadura en el acero AISI 1045, para la condición 1, a diferentes niveles de amplificación.

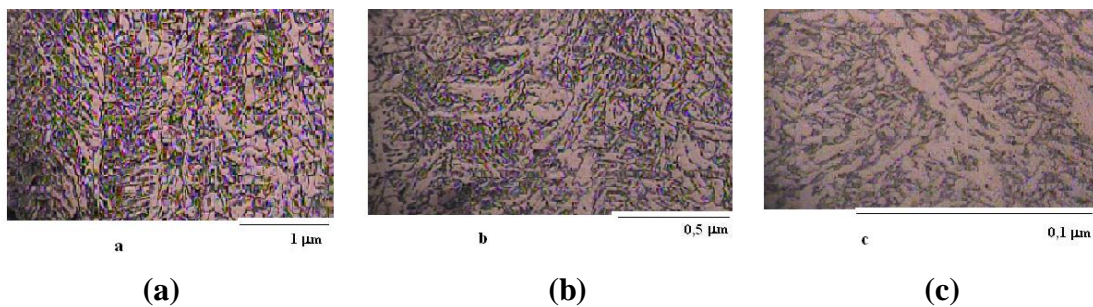


Figura 4.49: Microscopia del acero AISI 1045 en el cordón de soldadura para la condición 1 (160Amp): a) a 200X. b) a 400X c) a 1000X

Al observar la figura 4.49 se puede distinguir claramente una estructura en la que los granos de ferrita (zonas claras) se han alargado producto del calentamiento al

que fueron sometidos, y mínimas cantidades de perlita (Zonas oscuras) delimitando dichos granos. Es de resaltar que a pesar de que el material base es un material de mediano contenido de carbono la zona del cordón de soldadura no presenta una gran concentración de perlita, esto se debe a que el material de aporte posee un porcentaje de carbono muy inferior al del metal base y además de ello es el predominante en el cordón de soldadura.

En la figura N° 4.50 se representa la microscopía del cordón de soldadura en el acero AISI 1045, para la condición 2, a diferentes niveles de amplificación.

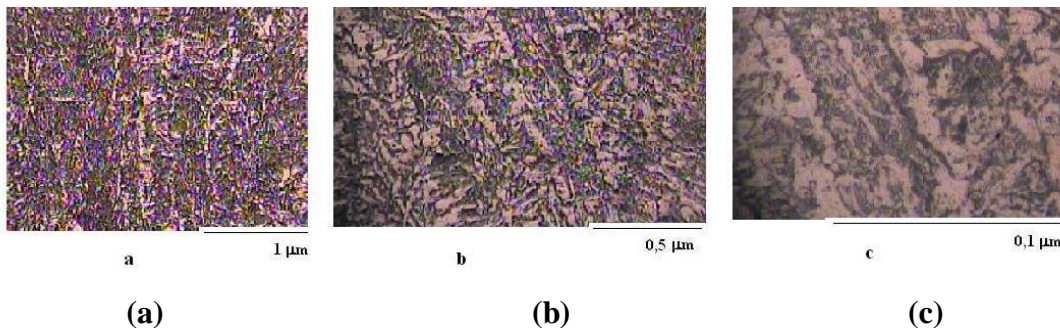


Figura 4.50: Microscopía del acero AISI 1045 en el cordón de soldadura para la condición 2 (192Amp): a) a 200X. b) a 400X c) a 1000X

Al observar la figura 4.50 se puede distinguir claramente una estructura en la que los granos de ferrita (zonas claras) se han alargado producto del calentamiento al que fueron sometidos, y mínimas cantidades de perlita (Zonas oscuras) delimitando dichos granos. Es importante mencionar que no se observan diferencias significativas en cuanto a la estructura presentada en el cordón de soldadura al trabajar bajo la condición 2 con respecto a la condición 1, siendo lo más resaltante el hecho de que se detallan un poco más las zonas donde hay granos de perlita.

En la Figura 4.51 se puede apreciar el resultado microscópico de observar la Zona Afectada por el calor del acero AISI 1045, después del realizar el proceso de soldadura bajo la condición 1.

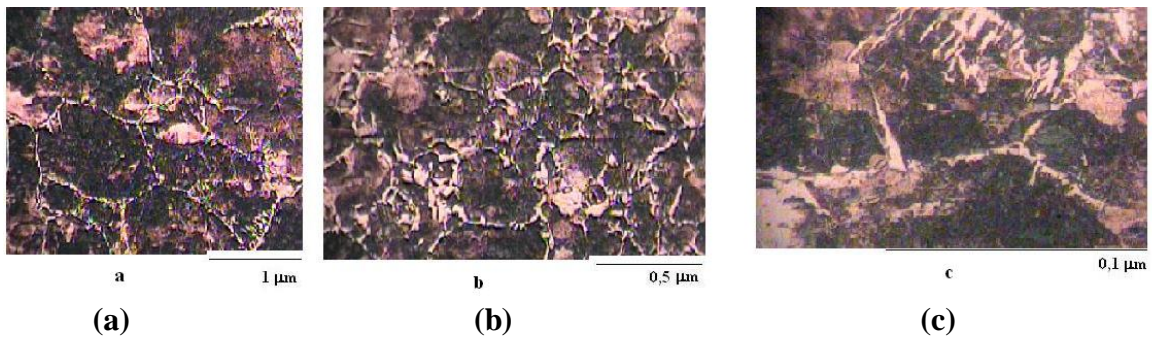


Figura 4.51 Microscopia del acero AISI 1045 en la Zona Afectada por el Calor para la condición 1(160Amp): a) a 200X. b) a 400X c) a 1000X

Al detallar la figura N° 4.51 se puede observar como se ha generado un crecimiento de granos considerable, en el que la perlita(Zonas oscuras) pareciera ocupar la mayor cantidad de espacio en la estructura, sin embargo la cantidad e ferrita(zonas claras) no ha desaparecido sino que se ha visto disminuida debido a la lenta velocidad de enfriamiento por la que atravesó el material depuse de haber sido soldado; este crecimiento de grano es producto del aumento de la temperatura posiblemente muy cercanos o superiores a la temperatura de austenización el material.

En la Figura 4.52 se presenta el resultado microscópico de observar la Zona Afectada por el calor del acero AISI 1045, después del realizar el proceso de soldadura bajo la condición 2

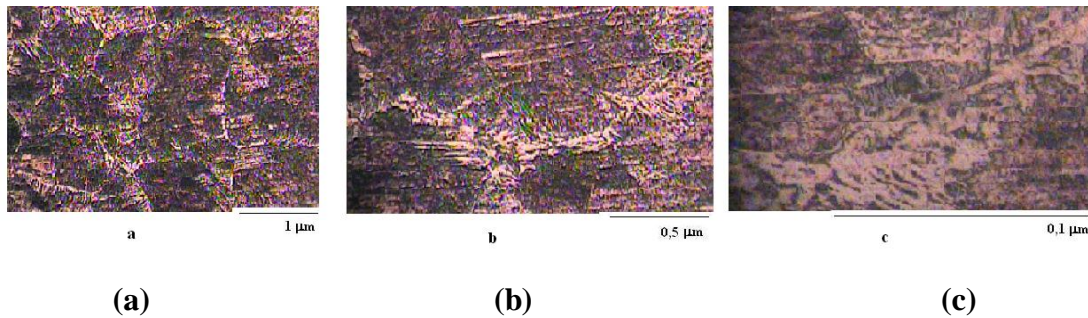


Figura 4.52 Microscopia del acero AISI 1045 en la Zona Afectada por el Calor para la condición 2(192Amp): a) a 200X. b) a 400X c) a 1000X

Al igual que en la figura N° 4.51, en esta figura se observa como se ha generado un crecimiento de granos considerable, en el que la perlita (Zonas oscuras) pareciera ocupar la mayor cantidad de espacio en la estructura, sin embargo la cantidad de ferrita (zonas claras) no ha desaparecido sino que se ha visto disminuida debido a la lenta velocidad de enfriamiento por la que atravesó el material después de haber sido soldado; este crecimiento de grano es producto del aumento de la temperatura posiblemente muy cercanos o superiores a la temperatura de austenización del material. Para esta condición el tamaño de los granos de perlita se ha hecho mayor en comparación con la condición 1, debido a que al realizar la soldadura con una intensidad mayor la temperatura alcanzada en dicho proceso se incrementa, lo que hace que la velocidad de enfriamiento se disminuya aún más.

4.3.1.3 ACERO AISI 1045 (NUEVOS ENSAYOS)

En la figura N° 4.53 se representa la microscopia del cordón de soldadura en el acero AISI 1045, para la condición A, a diferentes niveles de amplificación.

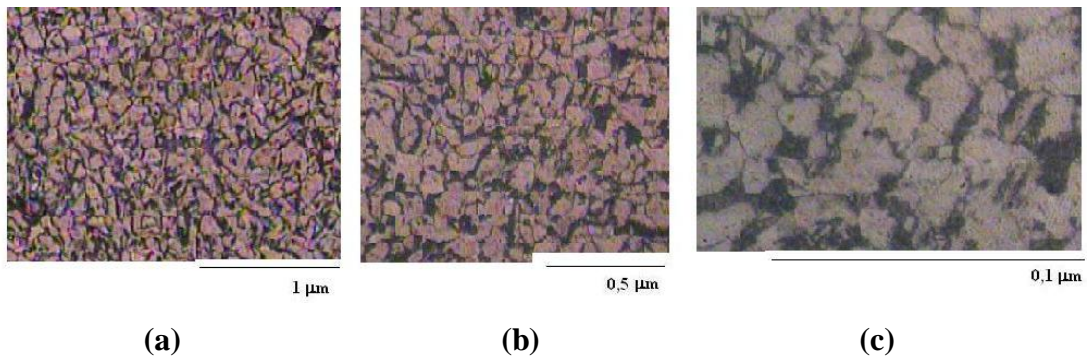


Figura 4.53: Microscopia del acero AISI 1045 en el cordón de soldadura para la condición A (160Amp): a) a 200X. b) a 400X c) a 1000X

Al observar la figura 4.53 se puede distinguir claramente una estructura en la que los granos de ferrita (zonas claras) los cuales presentan una forma semi alargada y además de estas están presentes mínimas cantidades de perlita (Zonas oscuras) delimitando dichos granos. Al igual que como se hizo en la figura N° 4.49 se puede resaltar que a pesar de que el material base es un material de mediano contenido de carbono la zona del cordón de soldadura no presenta una gran concentración de perlita, esto se debe a que el material de aporte posee un porcentaje de carbono muy inferior al del metal base y además de ello es el predominante en el cordón de soldadura, sin embargo en esta oportunidad los granos de ferrita no se presentan tan alargados y al contrario se ven un poco más gruesos.

En la figura N° 4.54 se representa la microscopia del cordón de soldadura en el acero AISI 1045, para la condición B, a diferentes niveles de amplificación.

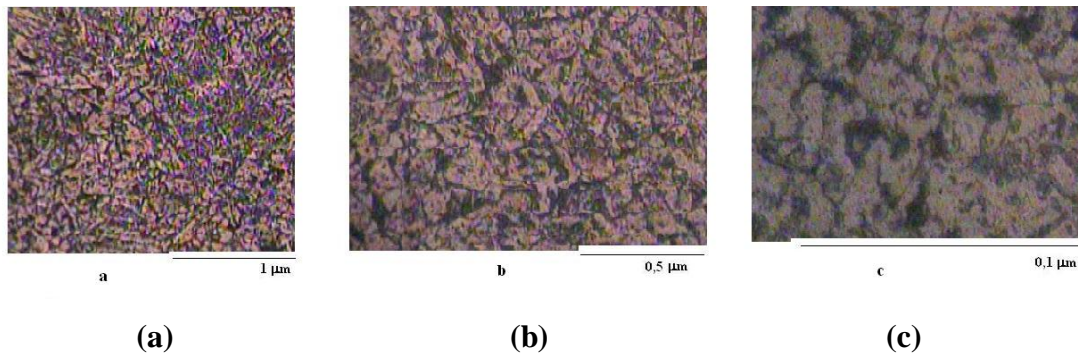


Figura 4.54: Microscopia del acero AISI 1045 en el cordón de soldadura para la condición B (192Amp): a) a 200X. b) a 400X c) a 1000X

Al observar la figura 4.54 se puede distinguir claramente una estructura en la que los granos de ferrita (zonas claras) se han alargado ligeramente, producto del calentamiento al que fueron sometidos, y además están presentes ligeras cantidades de perlita (Zonas oscuras) delimitando dichos granos. Es importante mencionar que no se observan diferencias significativas en cuanto a la estructura presentada en el cordón de soldadura al trabajar bajo la condición 2 con respecto a la condición 1, siendo lo mas resaltante el hecho de que se detallan un poco mas las zonas donde hay granos de perlita.

En la Figura 4.55 se puede apreciar el resultado microscópico de observar la Zona Afectada por el calor del acero AISI 1045, después del realizar el proceso de soldadura bajo la condición A

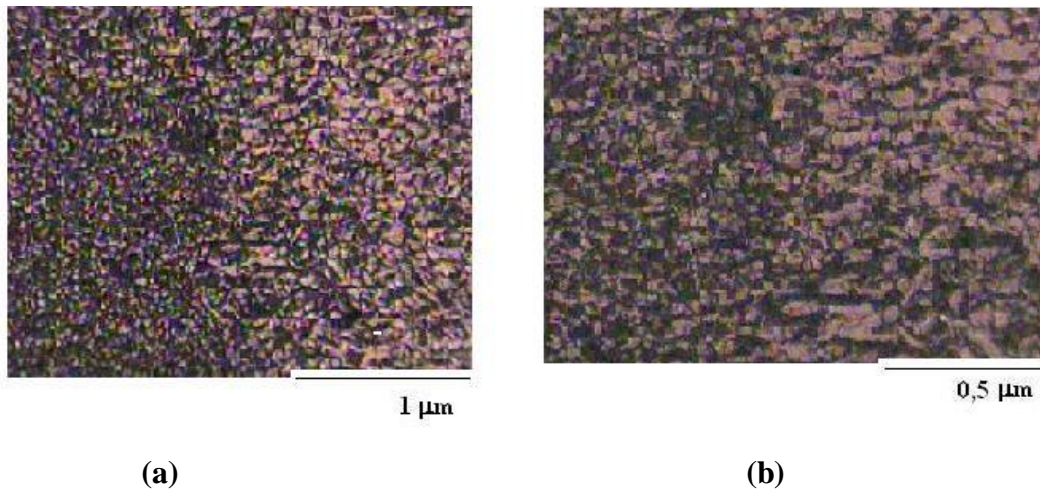


Figura 4.55 Microscopia del acero AISI 1045 en la Zona Afectada por el Calor para la condición A (160Amp): a) a 200X. b) a 400X

Al detallar la figura N° 4.55 se puede observar como se ha generado un crecimiento de granos ligero, en el que la perlita (Zonas oscuras) y la ferrita (zonas claras) han pasado a tener una presencia casi similar dentro de la estructura del material. Este aumento en la cantidad de ferrita es el producto del calentamiento del material y su posterior enfriamiento a una velocidad baja.

En la Figura 4.55 se presenta el resultado microscópico de observar la Zona Afectada por el calor del acero AISI 1045, después del realizar el proceso de soldadura bajo la condición B.

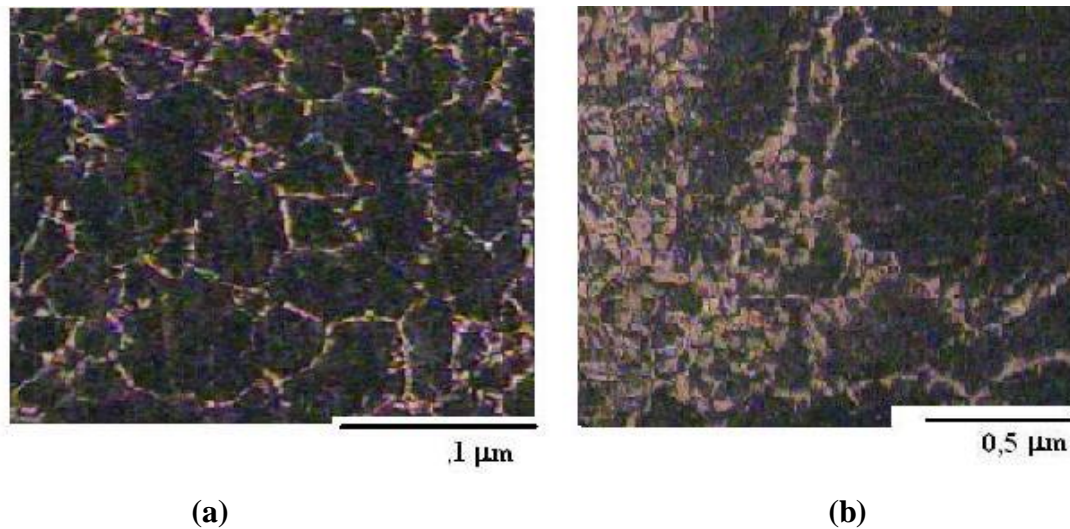


Figura 4.56 Microscopia del acero AISI 1045 en la Zona Afectada por el Calor para la condición 2 (192Amp): a) a 200X. b) a 400X

En esta figura se observa como se ha generado un crecimiento de granos considerable, en el que la perlita (Zonas oscuras) pareciera ocupar la mayor cantidad de espacio en la estructura, sin embargo la cantidad de ferrita (zonas claras) no ha desaparecido sino que se ha visto disminuida debido a la lenta velocidad de enfriamiento por la que atravesó el material después de haber sido soldado; este crecimiento de grano es producto del aumento de la temperatura posiblemente muy cercanos o superiores a la temperatura de austenización del material. Para esta condición el tamaño de los granos de perlita se ha hecho mayor en comparación con la condición A, debido a que al realizar la soldadura con una intensidad mayor la temperatura alcanzada en dicho proceso se incrementa, lo que hace que la velocidad de enfriamiento se disminuya aún más.

Los resultados metalográficos para las probetas de acero AISI 1045 obtenidos en los primeros ensayos realizados, identificados como ensayos bajo condiciones 1 y 2, y los obtenidos en los segundos ensayos, identificados como ensayos bajo condiciones A y B, no presentaron diferencias significativas entre sí, por el contrario se observó un

comportamiento similar en ambos casos, produciéndose en la zona afectada por el calor un crecimiento de granos significativo en el que la ferrita aumento su presencia de manera considerable producto del calentamiento habido en los procesos de soldadura y el enfriamiento del material a una velocidad lenta, por su parte en los cordones de soldadura las estructuras fueron similares entre las condiciones 1 y A y las condiciones 2 y B.

4.3.2 MACROSCOPIA DEL ACERO

4.3.2.1 ACERO 1010

En la figura 4.57 se puede observar la vista lateral de la probeta de acero AISI 1010 soldada bajo la condición 132 Amp en la misma se puede apreciar falta de penetración y mordedura de borde, las cuales pueden ser producto de una corriente de soldadura insuficiente lo que ocasiona una penetración incorrecta en la ranura.

Por otro lado en la figura 4.58 se observa para la misma condición salpicaduras en la superficie externa de la probeta, las cuales son imperfecciones consistentes en esferuelas de metal fundido depositadas aleatoriamente; es de hacer notar que dichas salpicaduras no alteran el comportamiento mecánico de la junta.



Figura 4.57 Probeta Acero AISI 1010 soldada bajo la condición de 132 Amp.

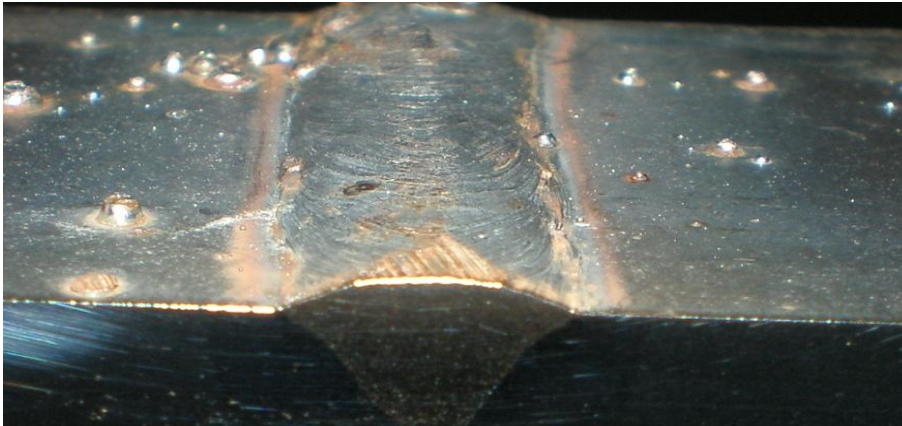


Figura 4.58 Probeta Acero AISI 1010 soldada bajo la condición de 132 Amp.

La figura 4.59 muestra la probeta de acero AISI 1010 soldada bajo la condición 160 Amp. en la misma se observan salpicaduras.

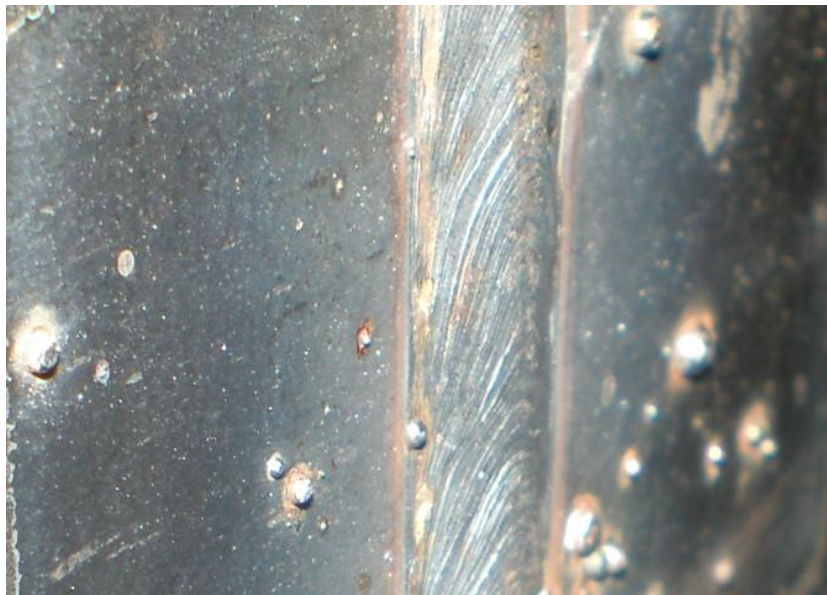


Figura 4.59 Probeta Acero AISI 1010 soldada bajo la condición de 160 Amp.

En la figura 4.60 se puede observar la vista lateral de la probeta de acero AISI 1045 soldada bajo la condición 160 Amp en la misma se puede apreciar falta de penetración, mordedura de borde y concavidad externa; dicha concavidad es producida por poco depósito de material de aporte en el relleno del cordón

Por otro lado en la figura 4.61 se observa para la probeta de acero AISI 1045 soldada bajo la condición 192 Amp, falta de penetración.



Figura 4.60 Probeta Acero AISI 1045 soldada bajo la condición de 160 Amp.

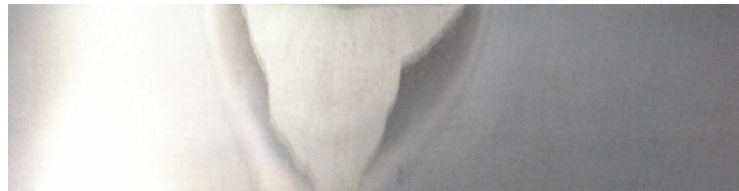


Figura 4.61 Probeta Acero AISI 1045 soldada bajo la condición de 192 Amp.

CAPÍTULO V

Conclusiones y recomendaciones

5.1 Conclusiones

1. Se puede observar en los ensayos de tracción para la caracterización de los materiales AISI 1010 y AISI 1045, que las curvas de esfuerzo vs. Porcentaje de Deformación realizadas para las seis (6) probetas por material, muestran un comportamiento semejante entre sí, en cuanto a plasticidad y elasticidad de los materiales en el estado de entrega de los mismos.
2. Para los ensayos de tracción, durante el proceso de caracterización, en el acero AISI 1010 se obtuvieron los siguientes resultados promedios Esfuerzo de Fluencia 309 MPa, Esfuerzo Máximo 413 MPa y Esfuerzo de Ruptura 324 MPa y para el acero AISI 1045 se obtuvo los resultados promedios de Esfuerzo de Fluencia 438 MPa, Esfuerzo Máximo 691 MPa y Esfuerzo de Ruptura 574 MPa., estos valores reflejan semejanzas con los teóricos específicos para cada material, asegurando así su condición de aceros AISI 1010 y 1045.
3. Las microestructuras de los aceros en el estado de entrega cumplen de manera exacta con las estructuras teóricas reales de dichos materiales, esto lo podemos

comprobar mediante fotografías realizadas a diferentes escalas de amplitud, a la estructura de los aceros en los ensayos experimentales comparadas con datos teóricos extraídos del METALS HANDBOOK VOLUMEN 1 PROPERTIES AND SELECTION OF METALS 8th EDITION

4. Para ambos aceros se obtuvo un valor experimental promedio de dureza siendo el AISI 1010 45,3 HRa y AISI 1045 55,2 HRa, estos valores son semejantes a los teóricos de los materiales estudiados, dichos datos son: 46 HRa y 54 HRa respectivamente. Lo que confirma su dureza teórica en su estado de entrega.
5. Se determinó que los valores de dureza máximo en cada probeta se concentraron en el cordón de soldadura y se aprecia que a ambos lados del cordón a medida en que se aleja del centro de la soldadura, el perfil de dureza disminuye.
6. Se determinó que la intensidad del corriente y voltaje óptimos para realizar soldadura M.I.G. en láminas de acero AISI 1010 de 6 mm de espesor, a tope con un bisel de 60° y empleando como material de aporte alambre liso ER70S-6 de 0,9 mm de espesor, son de 160 Amp y 24,2 V.
7. Los mejores resultados conseguidos al realizar soldadura M.I.G. en láminas de acero AISI 1045 de 10 mm de espesor, a tope con un bisel de 60° y empleando como material de aporte alambre liso ER70S-6 de 0,9 mm de espesor, fueron los obtenidos al emplear una intensidad de corriente de 192 Amp y un voltaje de 28,8 V.
8. Se determinó que al realizar soldadura M.I.G. en acero AISI 1045 utilizando como material de aporte el alambre ER70S-6, se obtienen resultados en los que se evidencia un rompimiento de las juntas en la zona del cordón de soldadura.

9. Las propiedades mecánicas asociadas al acero AISI 1010 luego de realizado el proceso de soldadura fueron: Condición de 132 Amp.: Esfuerzo de Fluencia 305 MPa, Esfuerzo Máximo 441 MPa, Esfuerzo de Ruptura 363 MPa, Dureza en el cordón de soldadura 57 HRa y en la zona afectada por el calor 49 HRa. Condición de 160 Amp.: Esfuerzo de Fluencia 312 MPa, Esfuerzo Máximo 475 MPa, Esfuerzo de Ruptura 376 MPa, Dureza en el cordón de soldadura 57 HRa y en la zona afectada por el calor 49 HRa

10. Las propiedades mecánicas asociadas al acero AISI 1045 luego de realizado el proceso de soldadura fueron: Condición de 160 Amp.: Esfuerzo de Fluencia 438 MPa, Esfuerzo Máximo 646 MPa, Esfuerzo de Ruptura 587 MPa, Dureza en el cordón de soldadura 57 HRa y en la zona afectada por el calor 55 HRa. Condición de 192 Amp., Esfuerzo de Fluencia 439 MPa, Esfuerzo Máximo 662 MPa, Esfuerzo de Ruptura 606 MPa, Dureza en el cordón de soldadura 61 HRa y en la zona afectada por el calor 57 HRa

11. Se observó en las juntas soldadas de acero AISI 1010 bajo la condición de 132 Amp. la presencia de salpicaduras, mordeduras de borde y falta de penetración; mientras en la condición de 160 Amp. se observó salpicaduras.

12. Se observó en las juntas soldadas de acero AISI 145 bajo la condición de 160 Amp. la presencia de salpicaduras, concavidades y falta de penetración; mientras en la condición de 192 Amp. se observó salpicaduras y falta de penetración. Luego en los segundos ensayos realizados, bajo las mismas condiciones de amperaje, se observaron salpicaduras en ambos casos.

5.2 Recomendaciones

1. Se recomienda realizar este estudio con una máquina automática para así ayudar a minimizar el error humano al momento de realizar la soldadura.
2. Se recomienda realizar el proceso de soldadura en ambientes aislados para evitar las posibles corrientes de aire que originan inestabilidad en el arco eléctrico.
3. Se recomienda estudiar el comportamiento de las juntas soldadas, bajo el proceso M.I.G. utilizando laminas de menor espesor en el acero AISI 1045.
4. Se recomienda evaluar el comportamiento de las juntas de acero AISI 1045 soldadas, bajo otro proceso de soldadura que ofrezca la posibilidad de trabajar con otro material de aporte que contenga mayor porcentaje de carbono.
5. Se recomienda realizar un estudio a un acero que contenga mayor porcentaje de carbono que el acero AISI 1045 aplicando el método M.I.G. a fin de comparar los resultados con los obtenidos en esta investigación.

Índice de Figuras

	Páginas
2.1 Proceso de soldadura de los metales.....	23
2.2 Elementos presentes en la soldadura por arco eléctrico.....	24
2.3 Proceso de soldadura por arco eléctrico.....	25
2.4 Materiales presentes en el proceso de soldadura por arco eléctrico.....	27
2.5 Elementos de la soldadura por arco en atmósfera inerte y con electrodo no consumible o refractario a)vista lateral del proceso de soldadura, b) vista frontal del proceso de soldadura.....	28
2.6 Elementos de la soldadura por arco en atmósfera inerte y con electrodo consumible.....	29
2.7 Partes de un equipo de soldadura MIG/MAG.....	40
3.1 Esquema del procedimiento experimental llevado a cabo.....	47
3.2 Esquema de diseño de juntas soldadas de acero AISI 1045, dimensiones en mm.....	51
3.3 Esquema de diseño de juntas soldadas de acero AISI 1010, dimensiones en mm.....	51
3.4 Esquema de la distribución del material para caracterización, dimensiones en mm.....	54

3.5 Esquema de la distribución del material soldado, láminas de 160x250mm.....	55
3.6 Esquema de la distribución del material soldado, láminas de 205x250mm.....	56
3.7 Probeta de tracción según ASTM 8M-04, dimensiones en mm.....	57
3.8 Probeta de tracción según AWS B4.0-ENGL 1998, dimensiones en mm	57
3.9 Máquina de ensayos universales HOYTOM, modelo DI-CP/V2 100 Ton.....	59
3.10 Control de velocidad de la Máquina de ensayos universales HOYTOM, modelo DI-CP/V2.....	59
3.11 Máquina de ensayos universales GALDABINI 20Ton.	60
3.12 Desbastadora de Cinta marca WILHELM SIMON KG	62
3.13 Microscopio óptico marca UNION	62
3.14 Representación de las zonas en las que se dejó la huella para evaluar la dureza.....	64
3.15 Durómetro marca ZWICK/ ZHU empleado	65
4.1 Gráficas Esfuerzo Vs. %Deformación de las probetas de caracterización Acero AISI 1010.....	69
4.2 Gráficas Esfuerzo Vs. %Deformación de las probetas de caracterización Acero AISI 1045.....	72
4.3 Gráficas Esfuerzo Vs. %Deformación de las probetas de Acero AISI 1010 soldadas bajo la condición de 132 Amp.....	74
4.4 Esfuerzo de Fluencia vs. Número de Ensayo del Acero AISI 1010 soldadas bajo la condición de 132 Amp.	75
4.5 Esfuerzo Máximo vs. Número de Ensayo Acero AISI 1010 soldadas bajo la condición de 132 Amp.	76
4.6 Esfuerzo de Ruptura vs. Número de Ensayo Acero AISI 1010 soldadas bajo la condición de 132 Amp.	76
4.7 Gráficas Esfuerzo Vs. %Deformación de las probetas de Acero AISI 1010 soldadas bajo la condición de 160 Amp.	77
4.8 Esfuerzo de Fluencia vs. Número de Ensayo del Acero AISI 1010 soldadas bajo la condición de 160 Amp.	79
4.9 Esfuerzo Máximo vs. Número de Ensayo del Acero AISI 1010 soldadas bajo	

la condición de 160 Amp.	79
4.10 Esfuerzo de Ruptura vs. Número de Ensayo del Acero AISI 1010 soldadas bajo la condición de 160 Amp.	80
4.11 Gráficas Esfuerzo Vs. %Deformación de las probetas de Acero AISI 1045 soldadas bajo la condición de 160 Amp.	81
4.12 Esfuerzo de Fluencia vs. Número de Ensayo del Acero AISI 1045 soldadas bajo la condición de 160 Amp.	83
4.13 Esfuerzo Máximo vs. Número de Ensayo del Acero AISI 1045 soldadas bajo la condición de 160 Amp.	83
4.14 Esfuerzo de Ruptura vs. Número de Ensayo del Acero AISI 1045 soldadas bajo la condición de 160 Amp.	84
4.15 Gráficas Esfuerzo Vs. %Deformación de las probetas de Acero AISI 1045 soldadas bajo la condición de 192 Amp.	85
4.16 Esfuerzo de Fluencia vs. Número de Ensayo del acero AISI 1045 soldadas bajo la condición de 192 Amp.	86
4.17 Esfuerzo Máximo vs. Número de Ensayo del acero AISI 1045 soldadas bajo la condición de 192 Amp.	87
4.18 Esfuerzo de Ruptura vs. Número de Ensayo del acero AISI 1045 soldadas bajo la condición de 192 Amp.	87
4.19 Gráficas Esfuerzo Vs. %Deformación de las probetas de Acero AISI 1045 soldadas bajo la condición A.....	89
4.20 Esfuerzo de Fluencia vs. Número de Ensayo del Acero AISI 1045soldadas bajo la condición A.....	90
4.21 Esfuerzo Máximo vs. Número de Ensayo del Acero AISI 1045soldadas bajo la condición A.....	91
4.22 Esfuerzo de Ruptura vs. Número de Ensayo del Acero AISI 1045soldadas bajo la condición A.....	91
4.23 Gráficas Esfuerzo Vs. %Deformación de las probetas de Acero AISI 1045 soldadas bajo la condición B.....	92
4.24 Esfuerzo de Fluencia vs. Número de Ensayo del Acero AISI 1045soldadas	

bajo la condición B.....	95
4.25 Esfuerzo Máximo vs. Número de Ensayo del Acero AISI 1045 soldadas bajo la condición B.....	95
4.26 Esfuerzo de Ruptura vs. Número de Ensayo del Acero AISI 1045 soldadas bajo la condición B.....	96
4.27 Dureza del material AISI 1010.....	97
4.28 Dureza del material AISI 1045.....	98
4.29 Dureza Promedio en cada zona de la probeta 1 de acero AISI 1010 soldada bajo la condición 1.....	100
4.30 Dureza Promedio en cada zona de la probeta 2 de acero AISI 1010 soldada bajo la condición 1.....	101
4.31 Dureza Promedio del acero AISI 1010 soldado bajo la condición 1.....	102
4.32 Dureza Promedio en cada zona de la probeta 1 de acero AISI 1010 soldada bajo la condición 2.....	104
4.33 Dureza Promedio en cada zona de la probeta 2 de acero AISI 1010 soldada bajo la condición 2.....	104
4.34 Dureza Promedio del acero AISI 1010 soldado bajo la condición 2.....	105
4.35 Dureza Promedio en cada zona de la probeta 1 de acero AISI 1045 soldada bajo la condición 1.....	108
4.36 Dureza Promedio en cada zona de la probeta 2 de acero AISI 1045 soldada bajo la condición 1.....	108
4.37 Dureza Promedio del acero AISI 1045 soldado bajo la condición 1.....	109
4.38 Dureza Promedio en cada zona de la probeta 1 de acero AISI 1045 soldada bajo la condición 2.....	111
4.39 Dureza Promedio en cada zona de la probeta 2 de acero AISI 1045 soldada bajo la condición 2.....	112
4.40 Dureza Promedio del acero AISI 104 soldado bajo la condición 2.....	113
4.41 Microscopia del material base acero AISI 1010 en: a) 100X. b) 200X c) 400X.....	114
4.42 Microscopia a 400X del cordón de soldadura: a) acero 1010 soldado	160

Amp. b) acero 1010 soldado 190 Amp.	115
4.43 Microscopia de la zona afectada por el calor en el acero 1010 soldado con una intensidad de corriente de 160 Amp. : a) zona afectada 200X. b) Zona afectada 400X.....	115
4.44 Microscopia del metal base, acero AISI 1045: a) 400X. b) 1000X.....	116
4.45 Microscopia del acero AISI 1045 del cordón de soldadura: a) 400X y 160 Amp b) 1000X y 160 Amp. c) 400X y 190 Amp. d) 1000X y 190 Amp.....	117
4.46 Microscopia del acero AISI 1045 en la zona afectada por el calor: a) 400X y 160 Amp. b) 1000X y 160 Amp. c) 400X y 190 Amp. d) 1000X y 190 Amp..	117
4.47 Microscopia del acero en la zona de fusión del material base junto con el material de aporte: a) acero AISI 1010 a 160Amp b) acero AISI 1010 a 190 Amp c) acero AISI 1045 a 160 Amp. d) acero AISI 1045 a 190 Amp.	118
4.48 Microscopia del metal base, acero AISI 1045: a) 100X. b) 200X; c) 400X y d) 1000X	119
4.49 Microscopia del acero AISI 1045 en el cordón de soldadura para la condición 1 (160Amp): a) a 200X. b) a 400X c) a 1000X	119
4.50 Microscopia del acero AISI 1045 en el cordón de soldadura para la condición 2 (192Amp): a) a 200X. b) a 400X c) a 1000X	120
4.51 Microscopia del acero AISI 1045 en la Zona Afectada por el Calor para la condición 1(160Amp): a) a 200X. b) a 400X c) a 1000X	121
4.52 Microscopia del acero AISI 1045 en la Zona Afectada por el Calor para la condición 2(192Amp): a) a 200X. b) a 400X c) a 1000X	122
4.53 Microscopia del acero AISI 1045 en el cordón de soldadura para la condición A (160Amp): a) a 200X. b) a 400X c) a 1000X	123
4.54 Microscopia del acero AISI 1045 en el cordón de soldadura para la condición B (192Amp): a) a 200X. b) a 400X c) a 1000X	124
4.55 Microscopia del acero AISI 1045 en la Zona Afectada por el Calor para la condición A (160Amp): a) a 200X. b) a 400X	125
4.56 Microscopia del acero AISI 1045 en la Zona Afectada por el Calor para la condición 2 (192Amp): a) a 200X. b) a 400X	126

4.57 Probeta Acero AISI 1010 soldada bajo la condición de 132 Amp.....	127
4.58 Probeta Acero AISI 1010 soldada bajo la condición de 132 Amp	128
4.59 Probeta Acero AISI 1010 soldada bajo la condición de 160 Amp	128
4.60 Probeta Acero AISI 1045 soldada bajo la condición de 160 Amp.....	129
4.61 Probeta Acero AISI 1045 soldada bajo la condición de 192 Amp.....	129

Índice de tablas

	Páginas
2.1 Composición química del acero AISI 1010.....	12
2.2 Propiedades mecánicas del acero AISI 1010.....	13
2.3 Composición química del acero AISI 1045.....	14
2.4 Propiedades mecánicas del acero AISI 1045.....	15
3.1 Población y muestra en estudio.....	44
3.2 Composición química del material de aporte según AWS.....	45
3.3 Ubicación de los equipos y maquinarias empleadas.....	48
3.4 Obtención del material base y el material de aporte.....	49
3.5 Dimensiones de las láminas empleadas en el proceso de soldadura.....	50
3.6 Características de las máquinas de soldadura empleadas.....	51
3.7 Valores límites de intensidad de corriente establecidos para cada material.....	52
3.8 Intensidades de trabajo.....	52
3.9 Voltaje de trabajo.....	53
3.10 Escalas de durezas Rockwell según ASTM E 18-03.....	64
3.11 Resumen de ensayos programados para muestras de acero AISI 1010 soldado.....	66
3.12 Resumen de ensayos programados para muestras de acero AISI 1045	

soldado.....	66
4.1 Dimensiones de las probetas de tracción de acero AISI 1010 para caracterización.....	68
4.2 Propiedades mecánicas teóricas del acero AISI 1010.....	68
4.3 Esfuerzos , % de elongación, y % de reducción de área del acero AISI 1010 para la caracterización del material.....	70
4.4 Dimensiones de las probetas de tracción de acero AISI 1045 para caracterización.....	71
4.5 Propiedades mecánicas teóricas del acero AISI 1045.....	71
4.6 Esfuerzos, % de elongación, y % de reducción de área del acero AISI 1045 para la caracterización del material	72
4.7 Condiciones de trabajo empleadas en el Acero AISI 1010	73
4.8 Dimensiones de las probetas de tracción de acero AISI 1010 soldadas en la condición 1	74
4.9 Esfuerzos, % de elongación, y % de reducción de área del acero AISI 1010 soldado bajo la condición 1, para los ensayos de tracción.....	75
4. 10 Dimensiones de las probetas de tracción de acero AISI 1010 soldadas en la condición 2.....	77
4.11 Esfuerzos, % de elongación, y % de reducción de área del acero AISI 1010 soldado bajo la condición 2, para los ensayos de tracción.....	78
4.12 Condiciones 1 y 2 de trabajo empleadas en el Acero AISI 1045.....	80
4.13 Dimensiones de las probetas de tracción de acero AISI 1045 soldadas en la condición 1.....	81
4.14 Esfuerzos, % de elongación, y % de reducción de área del acero AISI 1045 soldado bajo la condición 1, para los ensayos de tracción.....	82
4.15 Dimensiones de las probetas de tracción de acero AISI 1045 soldadas en la condición 2.....	84
4.16 Esfuerzos, % de elongación, y % de reducción de área del acero AISI 1045 soldado bajo la condición 2, para los ensayos de tracción.....	85
4.17 Condiciones A y B de trabajo empleadas en el Acero AISI 1045.....	88

4.18 Dimensiones de las probetas de tracción de acero AISI 1045 soldadas en la condición A.....	88
4.19 Esfuerzos, % de elongación, y % de reducción de área del acero AISI 1045 soldado bajo la condición A, para los ensayos de tracción.....	90
4.20 Dimensiones de las probetas de tracción de acero AISI 1045 soldadas en la condición B	92
4.21 Esfuerzos, % de elongación, y % de reducción de área del acero AISI 1045 soldado bajo la condición B, para los ensayos de tracción.....	93
4.22 Dureza del acero AISI 1010 en caracterización.....	97
4.23 Dureza del acero AISI 1045 en caracterización.....	98
4.24 Dureza del acero AISI 1010 en el cordón de soldadura bajo la condición 1...	99
4.25 Dureza del acero AISI 1010 en la zona afectada por el calor del lado derecho bajo la condición 1.....	99
4.26 Dureza del acero AISI 1010 en la zona afectada por el calor del lado izquierdo bajo la condición 1.....	100
4.27 Dureza promedio del acero AISI 1010 soldado bajo la condición 1.....	101
4.28 Dureza del acero AISI 1010 en el cordón de soldadura bajo la condición 2...	103
4.29 Dureza del acero AISI 1010 en la zona afectada por el calor del lado derecho bajo la condición 2.....	103
4.30 Dureza del acero AISI 1010 en la zona afectada por el calor del lado izquierdo bajo la condición 2	103
4.31 Dureza promedio del acero AISI 1010 soldado bajo la condición 2.....	105
4.32 Dureza del acero AISI 1045 en el cordón de soldadura.....	106
4.33 Dureza del acero AISI 1045 en la zona afectada por el calor del lado derecho.....	107
4.34 Dureza del acero AISI 1045 en la zona afectada por el calor del lado izquierdo.....	107
4.35 Dureza promedio del acero AISI 1045 soldado bajo la condición 1.....	109
4.36 Dureza del acero AISI 1045 en el cordón de soldadura.....	110
4.37 Dureza del acero AISI 1045 en la zona afectada por el calor del lado	

derecho.....	110
4.38 Dureza del acero AISI 1045 en la zona afectada por el calor del lado izquierdo.....	111
4.39 Dureza promedio del acero AISI 1045 soldado bajo la condición 2.....	112

Índice general

	Páginas
Índice de tablas	
Índice de figuras	
Capítulo 1. Planteamiento del problema	
1.1 Situación Problemática.....	1
1.2 Objetivos.....	3
1.2.1 Objetivo General.....	3
1.2.2 Objetivos Específicos.....	3
1.3 Justificación.....	3
1.4 Alcance.....	4
1.5 Limitaciones.....	5
1.6 Antecedentes.....	5
Capítulo 2. Marco Teórico	
2.1 Fundamentos Teóricos.....	8
2.1.1 El Acero	8
2.1.2 Soldadura.....	20
2.1.3 Clasificación de los tipos de Soldadura.....	22
2.1.4 Soldadura tipo MIG	29
Capítulo 3. Marco Metodológico	

3.1 Nivel de la Investigación	42
3.2 Diseño de la Investigación	42
3.3 Población y Muestra	44
3.4 Materiales, equipos y herramientas a utilizar	44
3.4.1 Materiales	45
3.4.2 Equipos y Herramientas	45
3.5 Procedimiento Experimental	47
3.5.1 Ubicación de máquinas y equipos a utilizar	48
3.5.2 Obtención del Material Base y el Material de Aporte	49
3.5.3 Corte y Biselado de Láminas a soldar	49
3.5.4 Proceso de Soldadura	50
3.5.5 Realización de probetas para estudios	53
3.5.6 Realización de los ensayos	58
3.5.7 Resumen de los ensayos programados	65
Capítulo 4. Resultados Obtenidos	
4.1 Ensayo de tracción.....	67
4.1.1 Caracterización del material.....	67
4.1.2 Material soldado	73
4.2 Ensayo de dureza.....	96
4.2.1 Caracterización del material.....	96
4.2.2 Material soldado.....	99
4.3 Ensayo Metalográfico.....	114
4.3.1 Microscopia del acero	114
4.3.2 Macroscopía del acero	127
Capítulo 5.	
5.1 Conclusiones.....	130
5.2 Recomendaciones.....	133
Bibliografía.....	134