

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

FACULTAD TECNOLÓGICA


PROYECTO CURRICULAR DE TECNOLOGÍA E INGENIERÍA MECÁNICA

FORMATO PARA LA PRESENTACIÓN DE PROYECTOS DE GRADO


N° DE RADICACIÓN: _____

INFORMACIÓN PERSONAL

Autor 1:

Nombres:	José Leonardo	
Apellidos:	Romero Vargas	
Código	20061275031	
e-mail:	Joseleonardovargas6@gmail.com	
Teléfono:	2303026	
Celular:	3006297907	

Autor 2:

Nombre:	Gabriel Mauricio	
Apellidos:	Rincón Cortes	
Código:	20082275029	
e-mail:	gabrielmrc@gmail.com	

Teléfono:	4244278
Celular:	3003395631

INFORMACIÓN DEL PROYECTO

Título del Proyecto: Evaluación y comparación mediante pruebas de desgaste abrasivo de uniones soldadas usando el proceso MIG y TIG en acero inoxidable AISI 304.

Modalidad (Trabajo De Grado):	Proyectos científicos y comunitarios
Tipo de Proyecto:	Proyecto de innovación y desarrollo tecnológico
Línea de Investigación de la Facultad:	Apoyo Tecnológico Empresarial
Línea de Investigación del Proyecto Curricular:	Materiales y Procesos
Grupo de Investigación:	Progresos en Materiales de Ingeniería PEMI
Semillero de Investigación:	Progresos en Mate riales de Ingeniería PEMI
Proyecto de Investigación:	
Áreas del Conocimiento que involucra:	

INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA

Tutor:	Ing. Jhony Dueñas
Vo. Bo.:	
Institución:	
Línea De Investigación:	
Formulación Proyecto De Grado:	
Vo. Bo.:	

TABLA DE CONTENIDO

1.	Estado del arte.....	6
2.	Planteamiento del problema.....	10
3.	Justificación.....	11
4.	Objetivos.....	12
4.1	Objetivo Generales.....	12
4.2	Objetivos específicos.....	12
5.	Marco Teórico.....	13
5.1.	Generalidades	13
5.1.1.	Desgaste.....	13
5.1.1.1.	Desgaste Abrasivo.....	13
5.1.1.1.2.	Clasificación del desgaste Abrasivo.....	14
5.1.1.1.3	Descripción del Ensayo ASTM G65.....	16
5.2	Ensayos Destructivos.....	16
5.2.1.	Propiedades Fundamentales De Los Metales.....	16
5.2.2.	Pruebas Mecánicas Principales.....	17
5.2.2.1.	Ensayo De Tensión.....	17
5.2.2.2.	Ensayo De Dureza.....	17
5.2.2.2.1.	Ensayo De Dureza Rockwell.....	17
5.2.2.2.2.	Ensayo De Dureza Brinell.....	17
5.2.2.2.3.	Ensayo De Dureza Vickers.....	18
5.2.2.3.	Ensayo De Impacto.....	18
6.	Metodología.....	19
6.1.	Fase 1: Documentación Y Selección De Parámetros Iniciales.....	19
6.2.	Fase 2: Experimentación 1: Determinación De Las Propiedades Mecánicas En Uniones Soldadas Mediante Procesos Mig Y Tig.....	19
6.3.	Fase 3: Experimentación 2: Análisis Micro Estructural En Uniones Soldadas Mediante Procesos Mig Y Tig.....	19
6.4.	Fase 4: Determinar La Resistencia Al Desgaste Abrasivo En Uniones Soldadas Mediante Procesos Tig Y Mig.....	19
6.5.	Fase 5: Análisis Y Elaboración De Documento.....	20
7.	Cronograma.....	21
8.	Presupuesto.....	22
9.	Bibliografía.....	25

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Distribuidor de Pasta (calavera)	6
Figura 2. Alabes Móviles de la Turbina Francis	6
Figura 3. Comportamiento al desgaste de los electrodos analizados	8
Figura 4. Desgaste por "scratching"	14
Figura 5. Abrasión a 2 y 3 cuerpos.....	14
Figura 6. Interacción entre partículas y superficies	15
Figura 7. Esquema de ensayo de desgaste abrasivo	16
Figura 8. Maquina ensayo de desgaste abrasivo	20

1. ESTADO DEL ARTE

El desgaste en la industria es un hecho bastante familiar, toda herramienta y maquinaria la experimenta en mayor o menor medida ya sea por abrasión, corrosión, erosión, fatiga etc. Su incidencia puede ser leve o severa, implicando costos adicionales significativos en algunos casos; las piezas afectadas van desde rodillos, tornillos transportadores, molinos, ejes, válvulas, tuberías, tolvas, cangilones, hélices etc.

Uno de los casos más recurrentes en la industria es la abrasión, un tipo de desgaste originado por el movimiento relativo de dos o más piezas en contacto generando desprendimiento de material, de esta forma provoca un deterioro progresivo que llega a afectar la integridad de las piezas que por lo general llegan a ser desechadas.

Por tal motivo, y evaluando el balance costo-beneficio, nace la necesidad de recuperar esas piezas que por su importancia representan elevados costos de reposición. Es así, que se ha desarrollado la soldadura de mantenimiento, una forma de recuperar dichas piezas defectuosas, mediante el aporte de material que sirve a su vez como recubrimiento para incrementar la vida útil de la pieza ante el ambiente abrasivo.

Un caso particular se expone en el proyecto de grado “Recuperación por recubrimientos duros de un distribuidor de pasta para prensas de extrusión de consumibles de soldadura desgastado por abrasión”¹, en donde la empresa West Arco muestra su interés en alargar la vida útil de su distribuidor de pasta usado en la prensa para la extrusión de electrodos revestidos (ver figura 1), mediante la aplicación de recubrimientos duros empleando el proceso SMAW con electrodos en base a hierro, cromo y carbón que ofrecen mejor resistencia a la abrasión en alta presión gracias a la formación de carburos de cromo.

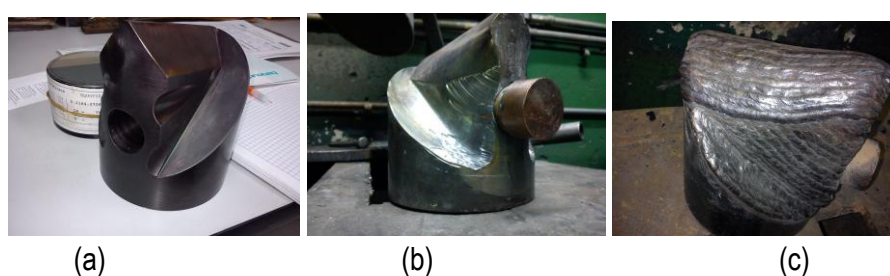


Figura 1. Distribuidor de Pasta (calavera). (a) Pieza original. (b) Pieza Desgastada. (c) Pieza Reconstruida. Imagen tomada del artículo referenciado a pie de página, p 57.

¹ Wilches Borrás Cristhian Camilo. (2012). RECUPERACIÓN POR RECUBRIMIENTOS Duros DE UN DISTRIBUIDOR DE PASTA PARA PRENSAS DE EXTRUSIÓN DE CONSUMIBLES DE SOLDADURA, DESGASTADO POR ABRASIÓN. Tesis (Ingeniero Mecánico). Universidad Libre. Facultad Ingeniería. Colombia-Bogotá. [Consultado 4 mayo de 2013]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10901/6385>

Algunas conclusiones realizadas las pruebas fueron: la aplicación del recubrimiento incremento en 3,6 veces la vida útil del distribuidor de pasta y en un 80 % la dureza del mismo, el aumento o sobre espesor (de 2.2 mm) en las regiones más afectadas no impidió el funcionamiento normal de la maquinaria, por lo tanto la recuperación del distribuidor es económica y funcionalmente viable.

Por otro lado, la central hidroeléctrica Agoyán² (Ecuador) produce 156 MW gracias a sus dos turbinas tipo Francis de eje vertical (ver figura 2), las cuales presenta un continuo deterioro en el perfil hidrodinámico de los álabes móviles de la turbina debido a diversos agentes, entre ellos sedimentos provenientes del río Pastaza. Dichas piezas son cambiadas cada seis años y su reposición debe ser previsto con tres años de anticipación, tiempo destinado en la fabricación e importación de los álabes.



Figura 2. Alabes Móviles de la Turbina Francis Imagen tomada del artículo referenciado a pie de página. p.1

Es así, que la central hidroeléctrica ha encaminado sus esfuerzos en la recuperación de los álabes móviles que se han acumulado en los patios. Por lo tanto, se elaboró un plan de trabajo que toma en cuenta el estudio de factores como material base, proceso de soldeo, material de aporte, tratamientos térmicos y otros; Entre sus conclusiones podemos nombrar las siguientes: la reducción en los costos ya que disminuyeron en un 65% con respecto a los nuevos, el material de base y aporte son los mismos (acero inoxidable martensítico ASTM A743 Gr CA6NM), se recomendada el proceso Mig por su mejor control en el aporte de calor produciendo una menor distorsión en los álabes.

Los anteriores casos son solo algunos ejemplos donde se manifiesta la importancia de reconstruir ciertas piezas que son imprescindibles para el correcto desempeño de la maquina o herramienta que estemos tratando. En la actualidad son varias las empresas que ofrecen electrodos destinados para tal fin, mejorando en muchos casos la resistencia a la abrasión y dirigido a una

² Zhañay Zhañay Kleber Alejandro. (2011). PROCEDIMIENTO DE RECONSTRUCCIÓN POR SOLDADURA DE ÁLABES MÓVILES DE LA TURBINA FRANCIS DE EJE VERTICAL DE LA CENTRAL HIDROELECTRICA AGOYÁN. Tesis (Ingeniero Mecánico). Universidad Politécnica Salesiana. Ecuador-Quito. [Consultado 6 mayo de 2013]. Disponible en: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/1027>

amplia gama de sectores industriales como el minero, de transporte, alimentos, petroquímico etc. Tal es el caso de Indura y su línea de “electrodos para recubrimiento y reparación de piezas”³.

Estudios como “Comportamiento al desgaste abrasivo evaluado bajo norma ASTM G65 de depósitos de soldadura aplicados sobre sustratos de acero ASTM A36”⁴, buscan evaluar y comparar en un acero empleado habitualmente la resistencia ante el desgaste abrasivo de los cordones depositados por distintos electrodos comerciales, en donde son tomadas en cuenta variables como el número de pasadas y los niveles de precalentamiento de la soldadura, como se muestran en la siguiente figura.

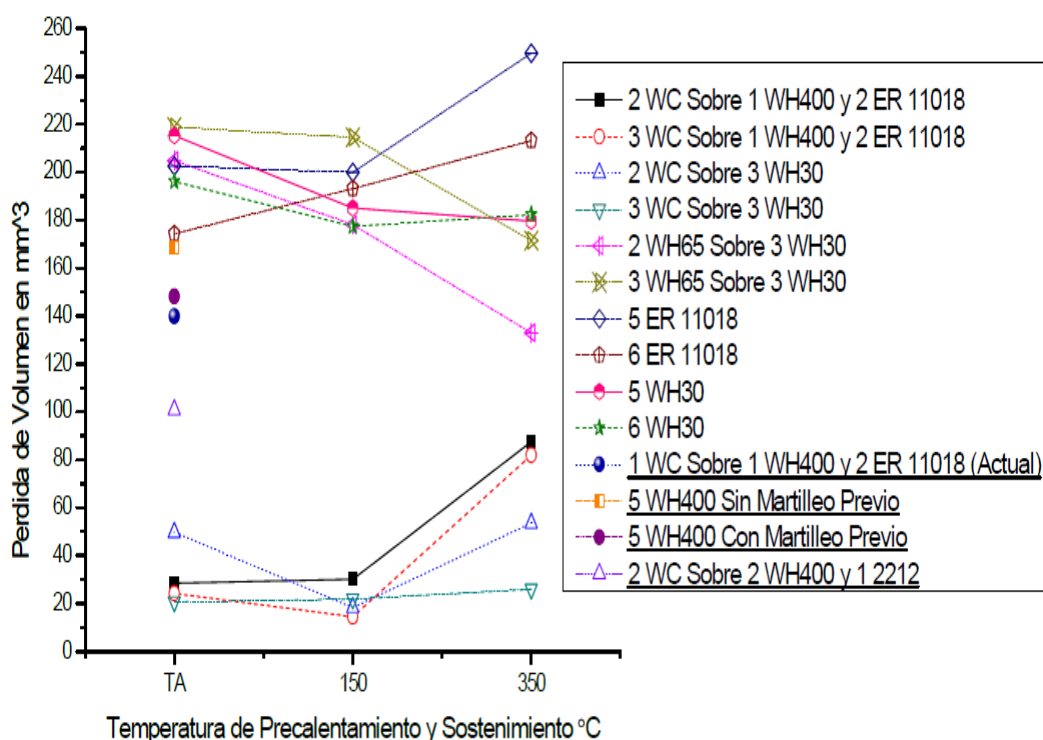


Figura 3 Comportamiento al desgaste de los electrodos analizados, tomando en consideración la temperatura de precalentamiento y de sostenimiento. Los números que están antes de cada electrodo indican el número de pases del mismo. Imagen tomada del artículo referenciado a pie de página, p 57.

Sus conclusiones son claras: La temperatura de precalentamiento no ejerció influencia significativa en el comportamiento al desgaste de los depósitos y el número de pases empleado

³ Barra Echeverría Mauricio., Núñez Solís Eduardo., José Miguel Huerta Ibáñez. MANUAL DE MANTENIMIENTO, Manual Para La Recuperación Y Protección Antidesgaste De Piezas. (2010).Indura S.A. Cerrillos-Chile. . [Consultado Mayo 2013].Disponible en: http://www.indura.net/ file/file_1774_manualmantenimientoindura.pdf

⁴ Espejo E., Pérez J. (2010). COMPORTAMIENTO AL DESGASTE ABRASIVO EVALUADO BAJO NORMA ASTM G 65 DE DEPÓSITOS DE SOLDADURA APLICADOS SOBRE SUSTRATOS DE ACERO ASTM A-36. Magister en Ingeniera. Universidad Nacional de Colombia. Colombia-Bogotá. [Consultado mayo de 2013].Disponible en: http://iberomet2010.260mb.com/pdfcongreso/t2/T2_46_Espejo-Perez_n2.pdf

influye en la resistencia al desgaste, para el caso del West Crome aumentándola de una manera significativa.

Según lo anterior, cabe resaltar que el número de pasadas o cordones con las que se realiza una soldadura reflejan cambios sobre la resistencia a la abrasión, pero dichos cambios no fueron significativos en todos los electrodos utilizados. Por otro lado, algunas empresas fabricantes de electrodos exponen en sus manuales cambios de dureza con respecto al número de capas empleadas, dicha información solo es disponible para cierta clase de electrodos.

Si para un mismo proceso de soldeo el número de pasadas tiene en ciertos casos una influencia sobre las propiedades de la soldadura, para procesos distintos de soldeo en donde la microestructura final de la soldadura y por lo tanto las propiedades de la misma están estrechamente relacionadas con variables como el aporte de calor, tipo de protección empleada, velocidades de avance entre otras características propias de cada proceso, surge la pregunta ¿el tipo de proceso empleado influye en la resistencia a la abrasión?.

Existen investigaciones que comparan las propiedades obtenidas en las soldadura empleando distintos procesos, por ejemplo “Experimental Investigación for Welding Aspects of AISI 304 & 316 by Taguchi Technique for the Process of TIG & MIG Welding”⁵ ; investigación que evalúa y compara entre los procesos de soldeo diversas características tales como resistencia, dureza, ductilidad, de grano estructura, módulo de elasticidad, resistencia a la tracción punto de rotura y zona afecta por el calor. Sus aportes son los siguientes:

- La resistencia a la fluencia y rotura de las probetas soldadas mediante el proceso TIG ofrecen una mayor resistencia que las unidas mediante el proceso MIG.
- El porcentaje de elongación en la muestra TIG es de un 40,5%, mientras que pieza soldada con MIG es de 47,8%, concluyendo que la soldadura MIG es más dúctil que la TIG.
- Tomando en cuenta la resistencia a la corrosión del acero inoxidable AISI 304, ambos procesos dan excelentes resultados.
- El tamaño de grano encontrado en ambos casos son de 5 a 6 en la matriz.

Los autores recomienda para futuras investigaciones, realizar las mismas evaluaciones en otros materiales inoxidables dada la importancia de estos en la industria y compararlos con otros procesos para así reconocer y recomendar el mejor con un mínimo costo y máximo beneficio para las organizaciones.

⁵ Suresh Kumar L., Verma S.M., RadhakrishnaPrasad P., Kiran Kumar P., Siva Shanker T. International Journal of Engineering Trend and technology. Experimental Investigation For Welding Aspects Of AISI 304 & 316 By Taguchi Technique For The Process Of TIG & MIG. Welding Volume2Issue2. (2011). [Consultado Mayo 2013]. Disponible en: <http://www.ijettjournal.org/volume-2/issue2/IJETT-V2I2P205.pdf>

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El desgaste por abrasión es un problema que afecta distintos sectores industriales como el minero, el petroquímico, cementero, alimentos etc. Debido al deterioro de piezas importantes que comprometen el normal funcionamiento de las máquinas y herramientas que se estén empleando, y dado que es un hecho recurrente termina por estropearlas; razón por la cual nace la necesidad (evaluando el balance costo-beneficio) de reconstruir o reparar dicha piezas en las que el tiempo y costo de reposición son bastantes significativos.

Es así que en la actualidad existe diversos métodos para la reconstrucción de piezas, siendo el más empleado el proceso de soldadura ya que no solo permite la recuperación de esta, también puede brindar la posibilidad de un recargue o sobre espesor en las zonas más afectadas de la misma, además, ofrece la alternativa de aplicar recubrimientos duros que en su mayoría son a base de carburos de cromo dotando a los cordones resultantes de una mejor dureza y resistencia al desgaste.

Varias empresas fabrican electrodos destinados al recubrimiento y recuperación de piezas, y ciertas investigaciones demuestran que la resistencia a la abrasión cambia de un electrodo a otro; incluso usando el mismo electrodo se observan cambios en la prueba de abrasión con solo variar el número de pasadas en los cordones de soldadura. Sin embargo existe poca información que compare dicha resistencia con diversos procesos de soldadura usados actualmente en la industria, ya que cada proceso influye de manera particular sobre las características microestructurales de la soldadura y cuyos cambios son reflejados de una u otra manera sobre las propiedades mecánicas de las mismas.

Por tal motivo, el objetivo de este trabajo es evaluar y comparar la resistencia a la abrasión de uniones soldadas mediante los procesos MIG y TIG por sus iniciales en inglés, en piezas de acero inoxidable austenítico AISI 304, dada la importancia de este material en la industria ya sea energética, naval, química, petroquímica, de alimentos etc.

3. JUSTIFICACION

La investigación es una de las características relevantes de las instituciones de educación superior. En el caso de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas y de la Facultad Tecnológica, la investigación se consolida como un eje articulador del desarrollo de los programas de formación y en especial de la relación universidad-empresa, mediante el establecimiento de líneas de investigación. Específicamente, la línea Apoyo Tecnológico Empresarial pretende apoyar el desarrollo de la industria nacional, por ello una de las líneas de investigación, definidas como propietarias por el Proyecto Curricular de Mecánica, corresponde a Materiales y Procesos.

En este sentido el presente trabajo se justifica en la necesidad de dar continuidad a las investigaciones realizadas y aportar al trabajo *del Proyecto de Investigación* y Semillero de investigación Progresos en Materiales de Ingeniería PEMI, ofreciendo conocimientos actualizados en relación con el estudio de la resistencia a la abrasión en uniones soldadas del acero inoxidable austenítico AISI 304 fabricado mediante los procesos MIG y TIG Dado que el Estado del Arte realizado, expone la poca información existente acerca de la resistencia a la abrasión entre distintos procesos de soldadura y en especial en juntas soldadas de acero inoxidable austenítico AISI 304.

4. OBJETIVO GENERAL

Evaluar el comportamiento abrasivo de las uniones soldadas mediante el proceso MIG y TIG en el acero inoxidable austenítico AISI 304, conforme a la norma ASTM G65.

4.1 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Caracterizar mecánicamente las uniones soldadas mediante los procesos MIG y TIG por medio de ensayos de dureza, tenacidad y tensión.
- Identificar mediante análisis metalográfico la microestructura y tamaño de grano en el cordón de soldadura, zona afectada por el calor y metal base.
- Determinar la resistencia a la abrasión conforme a la norma ASTM G65 de las uniones soldadas por medio de procesos MIG Y TIG.
- Relacionar la resistencia a la abrasión con las propiedades mecánicas y la microestructura evaluadas.

5. MARCO TEÓRICO

5.1 GENERALIDADES.

La Tribología: Ciencia que estudia relación entre el desgaste, la fricción y la lubricación.

5.1.1. DESGATE

El desgaste es el daño de la superficie o la remoción de material de una o ambas superficies sólidas en movimiento relativo, ya sea por deslizamiento, rodamiento o impacto. Esto no genera fallas violentas, sin embargo produce:

- ❖ Reducción de la eficiencia de operación.
- ❖ Pérdida de potencia por fricción.
- ❖ Aumento de consumo de energía.
- ❖ Incremento del consumo de lubricantes.
- ❖ Reemplazo de componentes desgastados.
- ❖ Disminución de la vida útil del equipo

La importancia relativa de los diferentes tipos de desgaste en la planta productiva, ha sido estimada por Eyre⁶, siendo de:

- ❖ Abrasión. 50%
- ❖ Adhesión 15%
- ❖ Erosión. 8%
- ❖ Microoscilatorio 8%
- ❖ Corrosión 5%

Se considera que en los equipos agrícolas, de la industria cementera y alimenticia; la principal causa del mecanismo del desgaste es la abrasión.

5.1.1.1. DESGASTE ABRASIVO

Cuando permanecen atrapadas partículas duras entre las superficies que se deslizan; provocan el desprendimiento de material en forma de viruta y la formación de surcos, como se muestra en la figura 4. Las partículas pueden ser por la contaminación en la interface cuando las asperezas duras de un material penetran a otro con menor dureza, generando el desprendimiento de

⁶ Vite M., Aguilar J., Carrillo N. INSTITUTO DE INVESTIGACIONES EN MATERIALES. Instituto Politécnico Nacional. México. [Consultado mayo de 2013]. Disponible en: <http://proton.ucting.udg.mx/somi/memorias/METROLOGIA/Met-11.pdf>

material; este proceso es similar al maquinado de materiales, donde las asperezas funcionan como herramienta de corte, solo que a nivel microscópico.

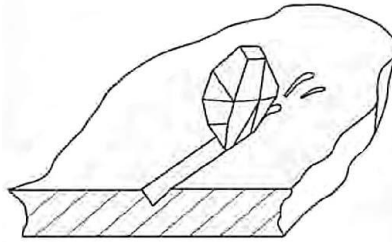


Figura 4: Desgaste por "scratching"

Fuente: BUDINSKI. K. Guide to friction, Wear and Erosion Testing. U.S.A. ASTM International, 2007. p.5.

5.1.1.1.1. CLASIFICACION DEL DESGASTE ABRASIVO

El desgaste abrasivo se puede clasificar de acuerdo a su tipo de contacto entre las superficies; como abrasión de dos o tres cuerpos y erosión.

El desgaste abrasivo de dos cuerpos se produce cuando las asperezas de una superficie dura, presionan sobre otra más suave; al estar en movimiento relativo se genera el daño en ésta última, ya sea por deformación o por desprendimiento de material; como ejemplo se tiene el de un taladro penetrando una roca.

El desgaste abrasivo de tres cuerpos, se produce cuando existen partículas duras presentes entre ambas superficies, las cuales se encargan de transmitir las cargas entre las superficies, generando el mismo tipo de daño. Como ejemplo, se puede citar el desgaste sufrido por las mandíbulas de una trituradora al quebrar la roca, o la presencia de partículas contaminantes en un aceite que sirve para lubricar las superficies en contacto deslizante. (Ver figura 5).

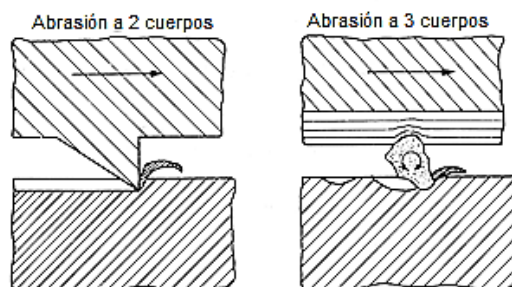


Figura 5: Abrasión a 2 y 3 cuerpos

Fuente: ZUM, K. Microstructure and wear of materials. Amsterdam: Elsevier Science, 1987. p84.

El desgaste abrasivo en la industria minera se clasifica en tres categorías de acuerdo al esfuerzo de trabajo al que son sometidas las superficies en contacto. La primera se conoce como abrasión de bajo esfuerzo, donde las partículas básicamente se deslizan sobre una superficie, sin sufrir grandes impactos, esto se presenta en rampas para el transporte de minerales; en tanto que la siguiente categoría, la abrasión de alto esfuerzo, resulta cuando el material de gran dureza es retenido entre dos superficies con el fin de triturarlo, como es el caso de las trituradoras empleadas para reducir el tamaño de rocas o minerales. Por último, la abrasión severa, se considera dentro del grupo de alto esfuerzo, en la cual se puede observar a simple vista las ranuras o surcos, así como desplazamiento del material que se produce por la intensidad del proceso.

Los mecanismos que se presentan durante la abrasión son la fractura, fatiga y fusión, los cuales explican el fenómeno de remoción de material de la superficie.

En la figura 6 se muestran los mecanismos que son posibles cuando una punta abrasiva atraviesa una superficie.

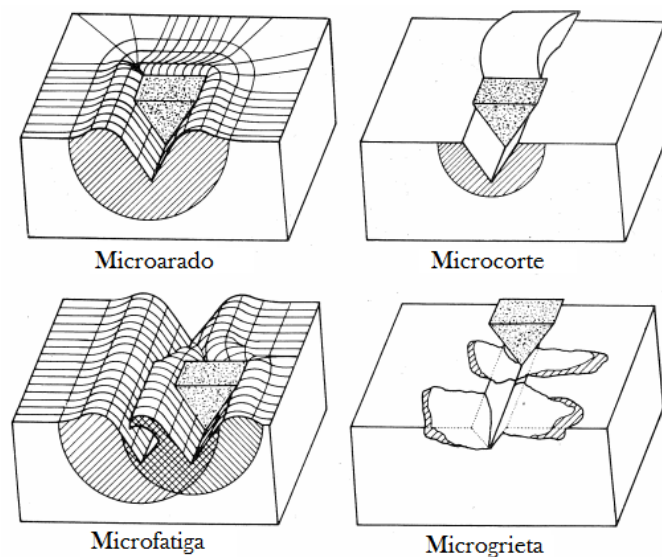


Figura 6: Interacción entre partículas y superficies

Fuente: ZUM, K. Microstructure and wear of materials. Amsterdam: Elsevier Science, 1987. p.96.

El mecanismo de microarado, consiste en desplazar material hacia las orillas formando un surco sin provocar la pérdida de material o partículas de desgaste debido al uso de cargas ligeras, el daño ocurre cerca de la superficie del material por el trabajo en frío, formando una dislocación. La forma más severa de desgaste para materiales dúctiles es el corte; durante este proceso, la punta del abrasivo remueve una viruta, como lo hace un herramienta de corte.

5.1.1.2 DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO ASTM G65⁷

La prueba de abrasión de arena seca sobre disco de caucho involucra la abrasión de una probeta estándar con partículas de tamaño y composición controladas. El abrasivo es introducido entre la probeta y un disco giratorio recubierto con una capa de caucho de una dureza específica. La probeta es presionada contra el disco mediante una fuerza predeterminada aplicada con una palanca mientras que un flujo controlado de partículas abrasivas desgasta la superficie de la probeta. La rotación del disco es tal, que su cara de contacto se mueve en dirección del flujo de arena.

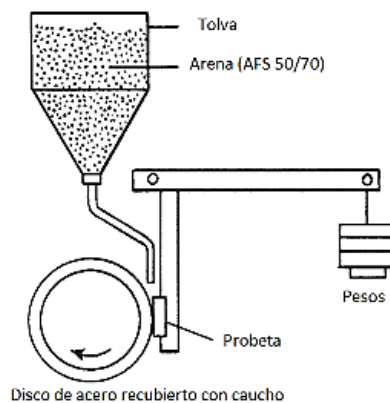


Figura 7: Esquema de ensayo de desgaste abrasivo

Fuente: ASTM International. Standard Test Method for Measuring Abrasion Using the Dry Sand/Rubber Wheel Apparatus. U.S.A: ASTM International. 2004. 12p. (ASTM G65-04).

5.2. ENSAYOS DESTRUCTIVOS

Este tipo de pruebas siempre ha sido necesario para comprobar si las características de un material cumplen con lo especificado durante el diseño. Debe observarse que estas pruebas no se pueden aplicar a todas las partes o componentes, ya que serían destruidos y perderían su utilidad.

5.2.1. PROPIEDADES FUNDAMENTALES DE LOS METALES

COHESION: Es la resistencia que oponen los átomos a separarse unos de otros.

ELASTICIDAD: Es la capacidad que tienen los materiales de recuperar su forma original, cuando cesa la causa que los deforma.

PLASTICIDAD: Es la capacidad que tienen los materiales de sufrir deformaciones permanentes sin que se fracturen.

⁷ Tomado del párrafo 4.1 de la norma ASTM G65-04.

5.2.2. PRUEBAS MECANICAS PRINCIPALES

5.2.2.1. Ensayo De Tensión

Este ensayo es la forma básica de obtener información sobre el comportamiento mecánico de los materiales, mediante un equipo de ensayo se deforma una muestra o probeta del material a estudiar, aplicando la fuerza axial en sentido del eje de la muestra, a medida que se está deformando la muestra se va registrando la fuerza (carga), llegando generalmente hasta la fractura de la pieza; así el resultado inmediato es una curva de carga frente a alargamiento, que transformados en tensión y deformación en función de la geometría de la probeta ensayada, aportando una información más general del comportamiento estructural de esta.

5.2.2.2. Ensayo De Dureza

El ensayo de dureza determina la resistencia que oponen los materiales a ser penetrados o rayados por cuerpos más duros.

En las uniones soldadas se determina la dureza en la mayoría de los casos en la zona afectada por el calor (ZAC) para evitar riesgos de fisuraciones generadas por las altas temperaturas que se dan y por los enfriamientos rápidos que puedan ocurrir; es por esto que se realizan los ensayos de dureza en la zona más frágil o crítica con el fin de poder programar los correspondientes controles teniendo como uno de los más usados el precalentamiento de las piezas.

5.2.2.2.1. Ensayo De Dureza Rockwell

Este ensayo consiste en utilizar un indentador esférico el cual realiza una precarga la cual genera el valor de partida para la medición, luego en una segunda carga que está entre 60Kg y 140Kg, generando una precarga, una carga y una descarga; esta relación indica la dureza del material, el cual se da midiendo la profundidad de penetración y realizando la medición según el durómetro y la escala de medición.

5.2.2.2.2. Ensayo De Dureza Brinell

Este ensayo se realiza para materiales blandos y consiste en presionar un indentador que tiene una bola de acero templado o de carburo la cual lleva una carga que está entre 500Kg a 3000Kg dependiendo de lo duro que sea el material. El diámetro de la huella dejada por la esfera del indentador tiene relación inversa con la dureza del material (a mayor diámetro de la huella es menor la dureza y a mayor diámetro de la huella la dureza es mayor).

5.2.2.2.3. *Ensayo De Dureza Vickers*

Para este tipo de ensayo se emplea un indentador de diamante de forma piramidal con un ángulo base de 136° y está basado en el principio de calcular el valor de dureza según la fuerza de aplicación sobre la superficie del material; la huella que queda después de realizar la carga es de forma cuadrada, de la cual se miden sus diagonales a través de un microscopio, estos datos se promedian y así a través de una fórmula se da el resultado.

5.2.2.3. ENSAYO DE IMPACTO

El Impacto Charpy consiste en determinar el comportamiento de los materiales bajo impacto al golpear con una masa de valor conocido y una probeta previamente preparada y ubicada en el soporte de la máquina de ensayo. Este ensayo permite conocer cuál podría ser el comportamiento de los materiales cuando están sometidos a condiciones extremas de servicio.

6. METODOLOGÍA

Para llevar a cabo la evaluación y comparación del desgaste en uniones soldadas mediante el proceso MIG y TIG en el acero inoxidable austenítico AISI 304, el proyecto se dividirá en cinco fases descritas a continuación.

6.1. FASE 1: DOCUMENTACION Y SELECCIÓN DE PARÁMETROS INICIALES

La primera fase del proyecto está enfocada en obtener una mayor documentación a cerca de las normas que regulan los ensayos de dureza, tensión e impacto como son la ASTM E384, ASTM E8, ASTM E23 correspondientemente; y así relacionar dichas pruebas con el desgaste abrasivo según la norma ASTM G65.

6.2. FASE 2: EXPERIMENTACIÓN 1: DETERMINACION DE LAS PROPIEDADES MECANICAS EN UNIONES SOLDADAS MEDIANTE PROCESOS MIG Y TIG

Para el estudio estadístico se diseñara el experimento teniendo en cuenta el número de probetas a fabricaran, manteniendo en todas ellas los mismos parámetros como voltaje, amperaje, y diámetro del electrodo.

Posteriormente se realizarán pruebas de dureza, tensión e impacto para determinar las propiedades mecánicas de los cordones y así caracterizar cada uno de ellos según el proceso de soldadura empleado.

6.3. FASE 3: EXPERIMENTACIÓN 2: ANALISIS MICRO ESTRUCTURAL EN UNIONES SOLDADAS MEDIANTE PROCESOS MIG Y TIG

Se desarrollara un análisis metalográfico de las muestras para identificar las características en la estructura como la penetración en la soldadura, el crecimiento de grano en cada pasada, además de su forma, tamaño, orientación; y así identificar la influencia de los proceso MIG y TIG sobre la micro estructura de la unión. Estas muestras solo servirán para este fin, ya que son pruebas de tipo destructivo.

6.4. FASE 4: DETERMINAR LA RESISTENSIA AL DESGASTE ABRASIVO EN UNIONES SOLDADAS MEDIANTE PROCESOS TIG Y MIG.

En esta fase está contemplado el objetivo central de este proyecto el cual consiste en realizar las pruebas de desgaste abrasivo sobre las muestras soldadas, dichos ensayos se llevaran a cabo de acuerdo a la norma ASTM G65, empleando el equipo de rueda de caucho-arena seca, la cual

se muestra en la figura 8, ubicada en el laboratorio de resistencia de materiales de la Universidad Distrital, sede tecnológica.



Figura 8: Maquina ensayo de desgaste abrasivo

Fuente: Cruz Malagon Eduar., González Alfaro Francisco. (2012). ESTUDIO COMPARATIVO DEL COMPORTAMIENTO ANTIDESGASTE DEL ACERO TEMPLADO AISI/SAE 4140 Y EL ACERO MAXDUR 450. Universidad Distrital Francisco José De Caldas. Colombia. Bogotá. p. 24.

6.5. FASE 5: ANÁLISIS Y ELABORACIÓN DE DOCUMENTO

Por último se relacionan las propiedades mecánicas como dureza, tenacidad y resistencia a la tracción con la micro estructura correspondiente a cada uno de los cordones evaluados; de este modo se compara dichos resultados con los obtenidos en las pruebas de abrasión. También se elaborará el documento escrito que sustente el trabajo realizado.

FASE	ACTIVIDAD	7. CRO											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
DOCUMENTACION Y SELECCIÓN DE PARÁMETROS INICIALES	Documentación												
	Evaluación y selección de parámetros iniciales para los procesos de soldeo												
	Elaboración del documento reporte												
DETERMINACION DE LAS PROPIEDADES MECANICAS EN UNIONES SOLDADAS	Fabricación de las uniones soldadas mediante los procesos TIG y MIG												
	Preparación o mecanizado de las muestras para los ensayos												
	Determinación dureza												
	Ensayo de tensión												
	Prueba de Impacto												
	Elaboración del documento reporte												
	ANALISIS MICRO ESTRUCTURAL EN UNIONES SOLDADAS	Preparación de probetas para las tomas metalográficas											
Toma de imágenes metalográficas													
Elaboración del documento reporte													
DETERMINAR LA RESISTENCIA AL DESGASTE ABRASIVO EN UNIONES SOLDADAS MEDIANTE PROCESOS TIG Y MIG	Realización del ensayo abrasión en las uniones soldadas												
	Elaboración del documento reporte												
ANÁLISIS Y ELABORACIÓN DE DOCUMENTO	Interpretación y análisis de los resultados obtenidos en las pruebas												
	Elaboración del documento final												

8. PRESUPUESTO PARA EL PROYECTO

TABLA 1			
Presupuesto General Proyecto			
Duración estimada en meses		5	
Semanas		21	
Descripción		Costo asociado	Fuentes de financiación
Recurso Humano Asociado		\$ 20.525.358	
2	Autores del proyecto	\$ 19.063.800	Personal
1	Director o tutor (interno)	\$ 476.595	Institucional
1	Apoyo técnico	\$ 127.092	Personal
6	Apoyo administrativo	\$ 381.276	Institucional
1	Asesor	\$ 476.595	Institucional
Software o equipo de apoyo		\$ 3.335.000	Personal
Gastos Generales		\$ 1.610.000	Personal
Diseño Prototipo		\$ 888.000	Personal
Condiciones específicas		\$ 750.000	Institucional
Subtotal		\$ 27.108.358	
5%	Imprevistos	\$ 1.355.418	
Total presupuestado		\$ 28.463.776	

TABLA 2				
Descripción	Cantidad de personas	Dedicación semanal	Valor Hora	Costo personal
	Número	Horas	Pesos	Pesos
Autores del proyecto	2	15	\$ 20.000	\$ 12.600.000
Director o tutor (interno)	1	0,5	\$ 30.000	\$ 315.000
Director o tutor (externo)				\$ 0
Profesor (responsable interno)				\$ 0
Apoyo técnico	1	0,2	\$ 20.000	\$ 84.000
Apoyo administrativo	6	0,2	\$ 10.000	\$ 252.000
Asesor	1	0,5	\$ 30.000	\$ 315.000
				\$ 13.566.000
Carga Prestacional			51,30%	\$ 6.959.358
				\$ 20.525.358

TABLA 3					
Prototipo	Detalle	Unidad de medida	Cantidad	Valor unitario	Total
Material 1	Platina Acero AISI 304 de 1/4 "	Metros	3,5	\$ 60.000	\$ 210.000
Material 2	Argón	Botella	1	\$ 180.000	\$ 180.000
Material 3	MIG ER 308 - 0.035"	Kilogramos	1	\$ 40.000	\$ 40.000
Material 4	Arena silica ASTM C 109	Libras	50	\$ 8.000	\$ 400.000
Material 5	Reactivos Químicos	Global	1	\$ 20.000	\$ 20.000
Material 6	Lijas	Hoja	30	\$ 1.000	\$ 30.000
Material 7	Paños	Unidad	4	\$ 2.000	\$ 8.000
Material 8				\$	-
General Prototipo					\$ 888.000

TABLA 4					
Generales	Detalle	Unidad de medida	Cant	Valor unitario	Total
Fotocopias	Varios	Hoja	1000	\$ 100	\$ 100.000
Libros	Documentación Técnica	Unidad	5	\$ 47.000	\$ 235.000
Horas de taller	Mecanizado de piezas	Horas	10	\$ 15.000	\$ 150.000
Horas de laboratorio	Resistencia de Materiales	Horas	10	\$ 25.000	\$ 250.000
	Metalografía	Horas	8	\$ 25.000	\$ 200.000
	Soldadura	Horas	6	\$ 25.000	\$ 150.000
	T.T y Preparación de probetas	Horas	4	\$ 25.000	\$ 100.000
Impresión documentos	Impresiones, anillado	Hojas	500	\$ 250	\$ 125.000
Suministros de oficina	Bolígrafos, papelería etc.				\$ 50.000
Transportes					\$ 250.000
Gastos Generales asociados al proyecto					\$ 1.610.000

TABLA 5					
Software	Detalle	Costo referencia	% Uso	Costo Uso	Total
Licencia 1	Microsoft Office	\$ 280.000	15%	\$ 42.000	\$ 210.000
Computador	Toshiba Satellite	\$ 1.100.000	100%	\$ 1.100.000	\$ 1.100.000
Suministros de computador	USB, Impresora	\$ 350.000	100%	\$ 350.000	\$ 1.750.000
Internet	ETB	\$ 55.000	100%	\$ 55.000	\$ 275.000
Costos de licencias, conexión y computador					\$ 3.335.000

TABLA 6					
Condiciones específicas	Detalle	Referencia	% Uso	Costo Uso	Total
Ensayos de laboratorio	Ensayo de tensión	150.000	100	150.000	150.000
Ensayos de laboratorio	Ensayo de Impacto	150.000	100	150.000	150.000
Ensayos de laboratorio	Ensayo de Dureza	150.000	100	150.000	150.000
Ensayos de laboratorio	Ensayo de abrasión	150.000	100	150.000	150.000
Ensayos de laboratorio	Microscopio Electrónico	150.000	100	150.000	150.000
Costos especiales al proyecto					\$ 750.000,000

9. BIBLIOGRAFÍA

Almeida Maldonado Steeven Leonardo. (2009). SOLDADURA FUERTE DE ACERO INOXIDABLE AUSTENITICO. Tesis (Ingeniero Mecánico). Escuela Politécnica Nacional. Facultad de Ingeniería Mecánica. Quito-Ecuador. [Consultado 4 octubre de 2010]. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/1615/1/CD-2309.pdf>

Almeida Maldonado Steeven Leonardo. (2009). SOLDADURA FUERTE DE ACERO INOXIDABLE AUSTENITICO. Tesis (Ingeniero Mecánico). Escuela Politécnica Nacional. Facultad de Ingeniería Mecánica. Quito-Ecuador. [Consultado 6 mayo de 2013]. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/1615/1/CD-2309.pdf>

Wilches Borrás Cristhian Camilo. (2012). RECUPERACIÓN POR RECUBRIMIENTOS DUROS DE UN DISTRIBUIDOR DE PASTA PARA PRENSAS DE EXTRUSIÓN DE CONSUMIBLES DE SOLDADURA, DESGASTADO POR ABRASIÓN. Tesis (Ingeniero Mecánico). Universidad Libre. Facultad Ingeniería. Colombia-Bogotá. [Consultado 4 mayo de 2013]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10901/6385>

Rodríguez Hernández Julian. (2001). PROPAGACION DE GRIETAS EN UN ACERO INOXIDABLE DEL TIPO AISI 304 RECUBIERTO CON UNA ALEACION RESISTENTE AL DESGASTE. Tesis (Maestro En Ciencias De la Ingeniera Mecánica Con Especialidad En Materiales). Universidad Autónoma De Nuevo León. México- San Nicolás de Los Garza. [Consultado 6 mayo de 2013]. Disponible en: <http://eprints.uanl.mx/2225/1/1020145363.PDF>

Zhañay Zhañay Kleber Alejandro. (2011). PROCEDIMIENTO DE RECONSTRUCCIÓN POR SOLDADURA DE ÁLABES MÓVILES DE LA TURBINA FRANCIS DE EJE VERTICAL DE LA CENTRAL HIDROELECTRICA AGOYÁN. Tesis (Ingeniero Mecánico). Universidad Politécnica Salesiana. Ecuador-Quito. [Consultado 6 mayo de 2013]. Disponible en: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/1027>

Renedo Rouco Jordi. (2011). COMPORTAMIENTO AL DESGASTE POR DESLIZAMIENTO EN ACEROS INOXIDABLES: FERRÍTICO, AUSTENÍTICO, DÚPLEX Y MARTENSÍTICO. Tesis (Maestría). Universidad Politecnica de Catalunya. España-Barcelona. [Consultado 6 mayo de 2013]. Disponible en: <http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/9210/1/PFC%20Jordi%20Renedo.pdf>

Coello J., V. Miguel., Ferrer C., Calatayud A., Matinez A. Ensayos De Rozamiento Plano Sobre Aceros Inoxidables Austeníticos Con Diferente Acabado Superficial. Determinación De Las Condiciones De Adhesión En El Rozamiento. Revista De Metalurgia, 44(6), Septiembre-Octubre, 2008. [Consultado Mayo 2013]. Disponible en: <http://revistademetalurgia.revistas.csic.es/index.php/revistademetalurgia/article/view/139/137>

Ibarra Echeverria Mauricio., Núñez Solís Eduardo., José Miguel Huerta Ibáñez. MANUAL DE MANTENIMIENTO, Manual Para La Recuperación Y Protección Antidesgaste De Piezas. (2010). Indura S.A. Cerrillos-Chile. . [Consultado Mayo 2013]. Disponible en: http://www.indura.net/file/file_1774_manualmantenimientoindura.pdf

Suresh Kumar L., Verma S.M., Radhakrishna Prasad P., Kiran Kumar P., Siva Shanker T. International Journal of Engineering Trend and Technology. Experimental Investigation For Welding Aspects Of AISI 304 & 316 By Taguchi Technique For The Process Of TIG & MIG. Welding Volume 2 Issue 2. (2011). [Consultado Mayo 2013]. Disponible en: <http://www.ijettjournal.org/volume-2/issue2/IJETT-V2I2P205.pdf>

Massetti Andres., Gualco Agustin., Svoboda Hernán.(2008). EFECTO DE LA CARGA Y LA VELOCIDAD EN LA RESISTENCIA AL DESGASTE DEL ACERO PARA HERRAMIENTAS DEPOSITADOS POR SOLDADURA. Universidad de Buenos Aires. Argentina-Buenos Aires. [Consultado Mayo 2013]. Disponible en: <http://www.materiales-sam.org.ar/sitio/biblioteca/CONAMET-SAM2008/pdfs/h2.pdf>

Espejo E., Pérez J. (2010). COMPORTAMIENTO AL DESGASTE ABRASIVO EVALUADO BAJO NORMA ASTM G 65 DE DEPÓSITOS DE SOLDADURA APLICADOS SOBRE SUSTRATOS DE ACERO ASTM A-36. Magister en Ingeniería. Universidad Nacional de Colombia. Colombia-Bogotá. [Consultado mayo de 2013]. Disponible en: http://iberomet2010.260mb.com/pdfcongreso/t2/T2_46_Espejo-Perez_n2.pdf

Pérez Cepeda Jaime Andrés. (2011). INFLUENCIA DE LA MICROESTRUCTURA EN EL COMPORTAMIENTO A DESGASTE ABRASIVO EVALUADO BAJO NORMA ASTM G 65 DE DEPÓSITOS DE SOLDADURA ANTIDESGASTE APLICADOS SOBRESUSTRATOS DE ACERO DE BAJA ALEACIÓN Y BAJO CARBONO. Magister en Ingeniería. Universidad Nacional de Colombia. Colombia-Bogotá. . [Consultado mayo de 2013]. Disponible en: <http://www.bdigital.unal.edu.co/4312/1/291457.2011.pdf>

Vite M., Aguilar J., Carrilo N. INSTITUTO DE INVESTIGACIONES EN MATERIALES. Instituto Politécnico Nacional. México. [Consultado mayo de 2013]. Disponible en: <http://proton.ucting.udg.mx/somi/memorias/METROLOGIA/Met-11.pdf>

Cruz Malagon Eduar., González Alfaro Francisco. (2012). ESTUDIO COMPARATIVO DEL COMPORTAMIENTO ANTIDESGASTE DEL ACERO TEMPLADO AISI/SAE 4140 Y EL ACERO MAXDUR 450. Universidad Distrital Francisco José De Caldas. Colombia. Bogotá.

ASTM International. Standard Test Method for Measuring Abrasion Using the Dry Sand/Rubber Wheel Apparatus. ASTM G65-04. United States: ASTM International, 2004.

