

UNIVERSIDAD DISTRITAL “FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS” - FACULTAD TECNOLÓGICA		
PROYECTO CURRICULAR DE TECNOLOGÍA E INGENIERÍA MECÁNICA		
FORMATO DE PROYECTOS DE GRADO		
Nº DE RADICACIÓN: _____		
INFORMACIÓN EJECUTORES		
Ejecutor 1		
Nombre (s):	Wenceslao	
Apellido (s):	Moya Hilarión	
Código:	20151375406	
E-mail:	wencesmh89@hotmail.com	
Teléfono fijo:		
Celular:	3133003278	
Ejecutor 2		
Nombre (s):	Luis Alejandro	
Apellido (s):	Álvarez Pérez	
Código:	20171375015	
E-mail:	luisalvarez0110@hotmail.com	
Teléfono fijo:		
Celular:	3105581100	
INFORMACIÓN DEL PROYECTO		
Título del Proyecto:	INFLUENCIA DE UN TRATAMIENTO Q&P “TEMPLE Y PARTICIONAMIENTO” EN LA RESISTENCIA A LA TENSIÓN EN UN ACERO CON UN PORCENTAJE MAYOR AL 1% DE MANGANESO	
Duración (estimada):	8 MESES	
Tipo de Proyecto: (Marqué con una “x”)	Innovación y Desarrollo Tecnológico	X
	Prestación y Servicios Tecnológicos	
	Otro	
Modalidad del Trabajo de Grado:	Investigación innovación	
Línea de Investigación de la Facultad*:	Desarrollo tecnológico local e institucional.	
Línea de Investigación del Proyecto Curricular**:	Materiales y procesos de manufactura	
Grupo de Investigación:		
Proyecto de Investigación:		
Áreas del conocimiento que involucra:	Metalografía, ciencia de materiales, resistencia de materiales, tratamientos térmicos.	
INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA		
Director: (Vo. Bo.)	ING. CARLOS ARTURO BOHORQUEZ	
Formulación Proyecto de Grado: (Profesor): (Vo. Bo.)	ING. CARLOS ARTURO BOHORQUEZ	

**INFLUENCIA DE UN TRATAMIENTO Q&P “TEMPLE Y
PARTICIONAMIENTO” EN LA RESISTENCIA A LA TENSIÓN EN UN
ACERO CON UN PORCENTAJE MAYOR AL 1% DE MANGANESO**

WENCESLAO MOYA HILARION

COD: 20151375406

LUIS ALEJANDRO ALVAREZ

COD: 20171375015

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

FACULTAD TECNOLÓGICA

INGENIERÍA MECÁNICA

BOGOTÁ D.C.

2018

**INFLUENCIA DE UN TRATAMIENTO Q&P “TEMPLE Y
PARTICIONAMIENTO” EN LA RESISTENCIA A LA TENSIÓN EN UN
ACERO CON UN PORCENTAJE MAYOR AL 1% DE MANGANESO**

PROYECTO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO

WENCESLAO MOYA HILARION

COD: 20151375406

LUIS ALEJANDRO ALVAREZ

COD: 20171375015

PRESENTADO A:

PROYECTO CURRICULAR INGENIERÍA MECÁNICA

CONTENIDO

ÍNDICE DE FIGURAS	4
ÍNDICE DE TABLAS.....	4
RESUMEN	5
0 INTRODUCCIÓN.....	6
1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	7
1.1 ESTADO DEL ARTE.....	128
1.2 JUSTIFICACIÓN.....	184
2 OBJETIVOS	206
2.1 OBJETIVO GENERAL.....	206
2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	20
3 MARCO TEORICO	20
4 METODOLOGÍA.....	28
5 CRONOGRAMA.....	30
6 PRESUPUESTO Y MEDIOS DE FINANCIACIÓN	31
7 BIBLIOGRAFÍA.....	340

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Microestructura de acero de Q & P	11
Figura 2. Temperaturas y estados en un temple ordinario	17
Figura 3. Formación de bainita.	20

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Cronograma de actividades propuesta del proyecto.	25
Tabla 2 Costos de recurso humano	27
Tabla 3 Costos de Materiales y mano de obra	27
Tabla 4 Costos de los ensayos en las probetas	28
Tabla 5 Costos varios	28
Tabla 6 Costos de herramientas informáticas	28
Tabla 7 Costo total del proyecto.	29

RESUMEN

Se procura estudiar el comportamiento del acero ASTM A572 sometido a un temple y particionamiento también conocido a nivel mundial como *Q&P* (quenching & partitioning) el cual es un tratamiento térmico relativamente nuevo y consiste en crear nuevas microestructuras que contienen austenita retenida consolidada en la partición y/o difusión del carbono en martensita; en otras palabras generar una alta resistencia al material de estudio.

Para ello se procederá a cortar y mecanizar el material con el fin de elaborar las probetas bajo la norma ASTM E-8, posteriormente someteremos el acero al tratamiento térmico de temple y particionamiento, para asimismo hacer la prueba de tensión como lo dice la norma, seguidamente se hará el análisis de resultados y someteremos las probetas después de la ensayo de tensión a las respectivas pruebas de dureza y micrografía y así determinar la influencia del tratamiento en la resistencia a la tensión con el fin de obtener datos para consecutivamente clasificar y demostrar en tablas y gráficos los cuales caractericen y detallen muy puntualmente las propiedades del ASTM A572 sometido a *Q&P*.

Para ello se presenta la introducción en el presente documento, donde se hace directamente resistencia al uso y elaboración del acero en mención y las propiedades obtenidas cuando lo sometemos al *Q&P* y así lograr una visión integral de las soluciones que se dan al problema propuesto bajo unos objetivos específicos planteados y sujetos al marco teórico que revela el uso y aplicación del ASTM A572 posteriormente se empleara y presentara una metodología, consecuente con un cronograma de actividades y unos costos ligados a la investigación.

0 INTRODUCCIÓN

En el transcurso de la historia de la humanidad, el ser humano siempre ha tenido la necesidad de herramientas, bien sea de trabajo o de uso doméstico; y el material predilecto para todo tipo de trabajo diseño y posterior ejecución, ha sido el acero que por sus buenas propiedades y diversidad de tipos de este material se considera insignia en el mundo de los materiales, convirtiéndose en el material de uso por excelencia en gran cantidad de aplicaciones por sus diferentes cualidades que proporcionan un grado de seguridad en sus diversas aplicaciones, en cuanto a su obtención se podría afirmar que este material es fácil encontrar a nivel de minería en el sector primarios, su posterior transformación industrial se puede ver establecida en el sector secundario de la industria en el que se encuentran gran cantidad de aplicaciones y productos diferentes a los que se les puede dar diversos oficios y con los que se puede obtener gran cantidad de beneficios en aplicaciones que involucran conceptos de ingenierías como lo son ingeniería mecánica, ingeniería civil y afines.

En Colombia tan solo en el año 2017 se consumieron alrededor de 1.8 millones de toneladas de acero, la mayoría utilizados en la parte de construcciones civiles y como aceros estructurales estableciendo un alto grado de importancia en el desarrollo interno del país lo que refleja un efecto alto el PIB nacional ¹“La industria siderúrgica genera más de 40,000 empleos directos e indirectos, provee \$1,6 billones a encadenamientos de proveedores, de los cuales 989.000 millones son proveedores nacionales, y paga más de 180.000 millones de impuestos.”

Dado a estas condiciones se han aumentado los requerimientos y el mejoramiento de los materiales para lo cual se plantean una serie de tratamientos que eleven porcentualmente las cualidades de los aceros, para cubrir las diferentes actividades, trabajos o esfuerzos a los que se van a someter, uno de estos tratamientos es el tratamiento térmico el cual expone el material a temperaturas altas casi de fundición buscando cambiar propiedades y estados estructurales pasando por enfriamientos controlados a temperaturas pre

¹ Revista Dinero/Economía/Industria del acero y la siderurgia en Colombia proyecciones 2017.

establecidas en materiales como Quench (aceites lubricantes con altas condiciones) para temple intermedio entre fluidos como agua y aire en búsqueda de sus mejoras internas en sus cualidades.

Este documento busca establecer los mejoramientos físicos, con un porcentaje mayor al 1% de manganeso, tratado por medio del Q&P, comparándolo con aceros comunes de la misma referencia a condiciones normales, apoyados de información externa documental, trabajos de investigación, proyectos de mejora estructural que guie el proceso en busca de un incremento a sus condiciones de trabajo, parametrizando el trabajo a realizar, el cual por medio de análisis metalográficos muestre resultados de cambio estructurales en busca de la optimización del material.

1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

A nivel industrial el mejoramiento micro-estructural de los elementos ha llevado a la ingeniería a buscar y analizar diferentes procedimientos de conformación de materiales promoviendo la optimización de estos, por medio del estudio de estas aplicaciones se han catalogado diferentes generaciones de los aceros. La generación 1 ó GEN1, estos fueron desarrollados a partir de aceros suaves con adiciones de elementos de aleación, estos aceros de baja aleación y alta resistencia (HSLA), con la desventaja de aumentar su resistencia con un menor alargamiento total, lo cual los condicionaba en algunas aplicaciones. Se pasó a la generación 2 ó GEN2, aceros de plasticidad inducida los cuales solucionaron el déficit de la GEN1, ocasionaron un aumento en el coste y esto los alejo de los usos por parte de la industria. Pasando a la generación 3 ó GEN3, que brinda los beneficios entre los procedimientos más comunes en la rama metalúrgica se encuentran los tratamientos térmicos, dada su capacidad de aumentar la resistencia de los materiales brindando gran versatilidad a los materiales sometidos bajo este procedimiento.

Debido a que algunos aceros estructurales carecen de durezas y al mismo tiempo de tenacidad en su conformación, se ha optado por desarrollar varias

alternativas para los tratamientos térmicos con las que se busca explotar a un más las cualidades físicas y químicas de los materiales, aumentando los esfuerzos a tensión aumentando sus condiciones para obtener mayor resistencia a la rotura ocasionada por sobre esfuerzos.

El método Q&P (quenching & partitioning), fue diseñado como un experimento cuyo objetivo era buscar el mejoramiento de la estructura de los materiales en búsqueda de generar mayores alternativas en aceros de tercera generación GEN3, con una alto benefició económico y estructural.

1.1 ESTADO DEL ARTE

1.1.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LOS MECANISMOS IMPLICADOS DURANTE EL ENFRIAMIENTO Y PROCESO DE PARTICIONAMIENTO EN ACEROS

M.J. Santofimia, L. Zhao, y J. Sietsma

Uno de los procedimientos más innovadores para crear microestructuras compuestas de martensita y conservadas austenita es el llamado proceso de temple y particionamiento (Q & P). Este proceso comienza con una total o parcial austenización, seguida de un enfriamiento de la microestructura a una temperatura (temperatura de enfriamiento) debajo de la temperatura de inicio de martensita (M_s) pero por encima de la temperatura de acabado martensítico (M_f) para formar una fracción controlada de martensita. Esta microestructura es luego sometido a un tratamiento al mismo o más alto temperatura (temperatura de división) para lograr la difusión del carbono supersaturado en martensita a la austenita vecina.

Finalmente, el material se enfría a temperatura ambiente y la austenita que ha sido suficientemente carbono enriquecido permanece meta estable a temperatura ambiente, mientras que el resto se transforma en martensita.²

² M.J. SANTOFIMIA, L. ZHAO, and J. SIETSMA., Overview of Mechanisms Involved During the Quenching and Partitioning Process in Steels., The Author(s) 2011. This article is published with open access at Springerlink.com.

La temperatura de enfriamiento determina la fracción de martensita que se somete a la partición de carbono a la austenita cercana durante el paso de partición. Una temperatura de temple muy por encima de la temperatura de M_f conduce a la formación de una fracción elevada de martensita, que deja una pequeña fracción de austenita disponible para el enriquecimiento de carbono. Por el contrario, un Temperatura de temple cercana a la temperatura de M_s produce una pequeña fracción de martensita, por lo que el carbono disponible para la partición podría no ser suficiente para la estabilización de la austenita. Esta ventaja conduce a la determinación de una temperatura óptima de enfriamiento para un máximo en la fracción de volumen retenido austenita.³

1.1.2 PROPIEDADES MECÁNICAS DEL ACERO EN PLACA DE ALTO-SILICIO PRODUCIDO POR EL PROCESO DE ENFRIAMIENTO Y DIVISIÓN

Seung Chan Hong, Jae Cheon Ahn, Sang Yong Nam, Seog Ju Kim, Hee Choon Yang, John g. Speer y David K. Matlock

Para identificar las condiciones de proceso de temple y particionamiento (Q & P) atractivas para medidas de propiedades mecánicas, la transformación las características del acero fueron examinadas. Para predecir el componentes de microestructura después de temple y particionamiento (Q & P), un método simple tiene desarrollo, suponiendo que las reacciones competitivas son evitadas y todas las particiones de carbono de martensita a austenita. Los componentes calculados de la microestructura indican una temperatura de enfriamiento "óptima" donde la austenita retenida se espera que la fracción sea un máximo. Basado en este método, la temperatura de enfriamiento óptima calculada para obtener el cantidad máxima de austenita retenida en el acero utilizado en este estudio es 223°C después de la austenización completa. Si la austenita inicial fracción se reduce al 50% por recocido intercrítico antes del enfriamiento, la temperatura óptima de enfriamiento aumenta a 244°C. En base a este resultado, se realizaron tratamientos de calor Q & P con variaciones de la temperatura de particionamiento, particionamiento tiempo, temperatura, austenización y

³ M.J. SANTOFIMIA, L. ZHAO, and J. SIETSMAN., Overview of Mechanisms Involved During the Quenching and Partitioning Process in Steels., The Author(s) 2011. This article is published with open access at Springerlink.com.

temperatura intercrítica. El particionamiento se realizó a una temperatura en rango de 350°C a 530°C por tiempos que van desde 30 s hasta 1000 s. La temperatura de austenización fue variada desde 930°C do hasta 1200°C, y la temperatura intercrítica fue variada de 780°C a 860°C.⁴

1.1.3 ACEROS PLANOS AVANZADOS DE ALTA RESISTENCIA

Jorge Madias, 02 May 2014.

Para superar esta situación, que limita el desarrollo de partes de formas complejas, que reemplacen a conjuntos soldados simplificando el proceso de fabricación y alivianado los automóviles, se han desarrollado los llamados aceros avanzados de alta resistencia (AHSS, por sus iniciales en inglés).

Ocupan el primer lugar, por su amplia aplicación, incluso fuera del campo automotriz, los aceros bifásicos (dual phase o DP), de estructura ferrítico martensítica, a los que hemos dedicado un artículo previo. También se han desarrollado los aceros con plasticidad inducida por la transformación (TRIP) o plasticidad inducida por maclado (TWIP) y los aceros de temple y particionado (Q&P).

En los aceros al carbono con efecto TRIP y Q&P, se procura tener en la chapa que se presenta para el conformado una estructura con ferrita, bainita y austenita retenida. Esta microestructura se obtiene con aceros de 0,15%-0,20% C, 1,2%-1,5% Mn y 1%-1,5% Si. En algunos casos se reemplaza Si en forma parcial o total con Al y/o P. Se necesita silicio para inhibir la indeseable precipitación de carburo de hierro (Fe₃C). Al no formarse Fe₃C, la austenita retenida se enriquece en carbono durante su transformación isotérmica a bainita. En el rango del 0,5% al 1,5%, la adición de silicio da como resultado un alargamiento creciente y uniforme, que facilita el conformado debido a la cantidad creciente de austenita retenida. En los aceros laminados en caliente, el silicio tiene en el

⁴ Seung Chan Hong, Jae Cheon Ahn, Sang Yong Nam, Seog Ju Kim, Hee Choon Yang, John G. Speer, and David K. Matlock., Mechanical Properties of High-Si Plate Steel Produced by the Quenching and Partitioning Process., METALS AND MATERIALS International, Vol. 13, No. 6 (2007), pp. 439~445.

ambiente un efecto favorable importante: promover la formación de algo de ferrita “equiaxiada”⁵ a alta temperatura.⁶

1.1.4 TEMPLADO Y PARTICIONAMIENTO DE TRATAMIENTO TÉRMICO DE ACERO

Li Wang • John G. Speer

La microestructura de los aceros Q & P comerciales está compuesta principalmente de martensita (50-80%) formada durante el enfriamiento, y ferrita (20-40%) formada a partir de la fase austenítica durante el enfriamiento lento, así como la austenita retenida dispersa (5-10%) estabilizado por enriquecimiento de carbono durante la partición.

Se pueden usar fracciones reducidas de ferrita a mayor resistencia productos. Ejemplo de micrografías tomadas con un microscopio electrónico de barrido y un microscopio óptico de luz se puede ver en la figura;

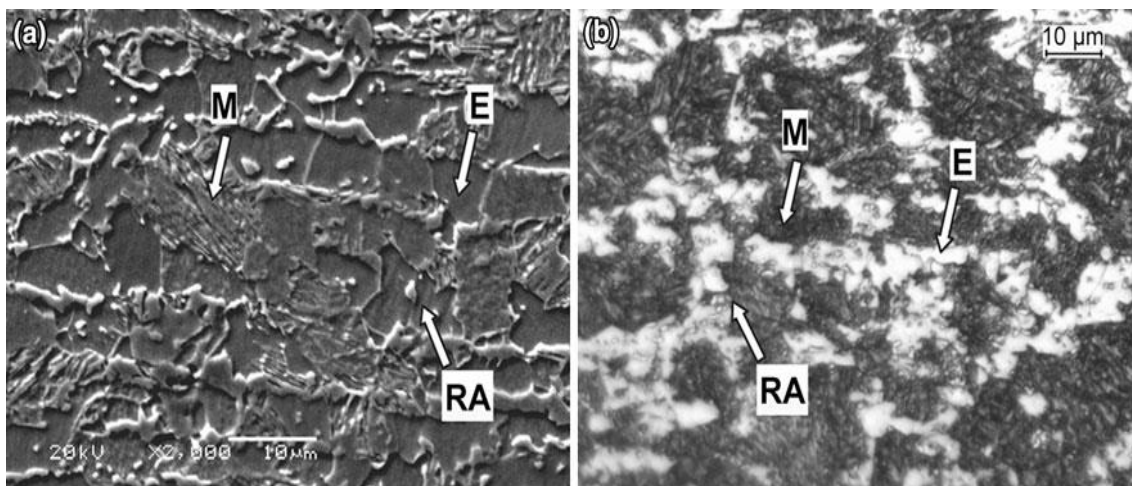


Figura 1. Microestructura de acero de Q & P obtenida mediante (a) microscopía electrónica de barrido y (b) microscopía óptica de luz. M martensita, ferrita F, RA conserva austenita.

Pequeños nódulos de retención austenita se encuentran, y las películas de austenita también están presentes en la martensita de malla. La fina

⁵ EQUIAXIADA: es un tipo de aleación metálica que provee mejores propiedades mecánicas o mejor resistencia a la corrosión que los acero. Los aceros micro-aleados difieren de otros aceros en que no son fabricados para cumplir una composición química específica sino para cumplir con propiedades mecánicas específicas.

⁶ Jorge Madías, Gerente de empresa Metallon, Argentina., Aceros planos avanzados de alta resistencia., All content following this page was uploaded by Jorge Madías on 02 May 2014.

microestructura de Q & P es generalmente no se resuelve bien con microscopía óptica de luz.

En cuanto a propiedades mecánicas la austenita retenida meta-estable enriquecida en carbono se considera beneficiosa porque explota durante la deformación, es decir, el fenómeno se desplaza, puede contribuir al endurecimiento del trabajo, la conformabilidad, y tenacidad a la fractura. Durante la deformación, la austenita dispersa retenida se transforma progresivamente en martensita más dura, que crea una alta tasa de endurecimiento del trabajo, incluso en niveles de tensión más altos. Se muestra una curva de tensión-esfuerzo típica en algunos casos se puede ver con una resistencia a la tracción de 980 MPa (142 ksi) o más, la elongación total del acero Q & P es aproximadamente un 20% mayor.⁷

1.1.5 CONTROLAR EL ENDURECIMIENTO DE LA MARTENSITA PARA AUMENTAR LA RESISTENCIA /EQUILIBRIO DE DUCTILIDAD EN ACEROS TEMPLADOS Y DIVIDIDOS

K.O. Findley B, J. Hidalgo A, R.M. Huizenga A, M.J. Santofimia

Una alta tasa de endurecimiento por deformación a bajas deformaciones tiene un efecto similar a un alto límite elástico; ambos resultan en alcanzar el criterio de inestabilidad en valores de deformación más bajos, es decir, menor ductilidad. Por lo tanto, es ventajoso para la ductilidad para mantener altas tasas de endurecimiento por deformación a gran tensión valores. La estabilidad de la austenita retenida influye directamente en el endurecimiento por deformación tasa en función de la tensión, que a su vez afecta el alargamiento uniforme eso se puede lograr la alta tasa inicial de endurecimiento del trabajo en la martensita es también un factor importante en la austenita-martensita compuesta microestructuras pero aún no se ha considerado en gran detalle.

Microestructuras que contienen mezclas de austenita y martensita puede ser producido a través del proceso de enfriamiento y división (Q & P). El proceso se realiza austenizando primero y luego apagando a una temperatura por debajo de

⁷ Li Wang / John G. Speer., Templado y Particionamiento de Tratamiento Térmico de Acero., Metallograf. Microstruct. Anal. (2013) 2:268–281.

la temperatura de inicio martensita para formar una mezcla de microestructura de austenita-martensita. Entonces, un paso de espera en la temperatura de enfriamiento o una temperatura ligeramente elevada permite partición de carbono de martensita a austenita y estabilización de la austenita restante antes de un enfriamiento final. La microestructura resultante consiste en austenita, martensita que se formó durante la inicial apagar y luego se templaron en la etapa de partición, y martensita que se formó durante el enfriamiento final. Partición de carbono para la austenita es fundamental para estabilizar la austenita antes del enfriamiento final y también para proporcionar una mayor estabilización contra la formación mecánica de martensita durante la deformación plástica. Desde la estabilidad austenita es un factor que controla el alargamiento uniforme, gran parte de la investigación en el proceso de Q & P se ha centrado en la optimización de la fracción y la estabilidad de austenita retenida a través de variaciones en el enfriamiento y la partición paso de temperaturas y tiempos.

Templar después del enfriamiento final es otra ruta que puede modificar la microestructura austenita-martensita. La mayor parte del trabajo sobre templado de aceros Q & P se ha realizado en aleaciones con adiciones de micro-aleaciones para obtener un reforzamiento del precipitado durante la etapa de atemperado; eso se propone que estos carburos también se puedan usar para controlar la distribución de carbono. Templado también puede cambiar el comportamiento de deformación y la resistencia de los micro-constituyentes, especialmente la martensita. Cambios en la fuerza de la martensita y austenita se espera que provocara cambios en el comportamiento de flujo compuesto. Además, templado podría promover la difusión de carbono de la martensita a la austenita así como la descomposición de la austenita en ferrita y carburos. Estos y otros cambios en la microestructura pueden tener efectos prominentes en la deformación y comportamiento de flujo.⁸

⁸ K.O. Findley b, □, J. Hidalgo a , R.M. Huizenga a , M.J. Santofimia a a Department of aterials Science and Engineering, Delft University of Technology/ Controlar el endurecimiento de la martensita para aumentar la resistencia /equilibrio de ductilidad en aceros templados y divididos.

1.2 JUSTIFICACIÓN

El estudio de nuevas tecnologías y el conocimiento de los avances industriales en el mundo, ha promovido una necesidad de ampliar el margen de posibilidades para obtener mejores resultados.

Por medio de este trabajo se busca explicar el proceso de temple y particionamiento (Q&P), mostrando los beneficio que se pueden dar al aplicar este procedimiento realizando una comparación en diferentes etapas, utilizando un acero con un porcentaje mayor al 1% de Manganeso, como elemento de análisis para el proceso temple y particionamiento (Q&P), al mismo tiempo que se analizara en tiempo de particionamiento para determinar las mejores ventajas expuestas por el (Q&P).

Los aceros Gen3, son un avance significativo en la ingeniería mecánica, y dada su importancia el conocimiento que se puede obtener del proceso de temple y particionamiento (Q&P), genera una motivación para realizar este trabajo que más que fines educativos busca crear una competencia elevada en los conocimientos adquiridos para ser desarrollados en la industria Colombiana, la cual se encuentra buscando mejores alternativas para realizar proyectos, a su vez que se busca aumentar una disminución en costos de producción si perder la calidad de los materiales que se usan en los procesos.

La capacidad de consolidación de estos aceros es importante, lo que favorece la distribución de las deformaciones y, por lo tanto, le asegura una buena estampación, así como ciertas características sobre piezas, en particular el límite elástico, mucho más altas que sobre el metal plano. Este gran potencial de consolidación y una alta resistencia mecánica generan una buena capacidad de absorción de energía, lo que predispone el uso de este tipo de aceros para piezas de estructura y refuerzo. A su vez, esta gama de aceros es sometida a un importante efecto BH que les proporciona una mayor resistencia y, por lo tanto, permite aligerar las piezas y aumentar su capacidad de absorción. Estos aceros se adaptan sobre todo a piezas de estructura y seguridad debido a su fuerte

capacidad de absorción de energía y su buena resistencia a la fatiga, como son largueros, traviesas, refuerzos de par central, etc.⁹

⁹ <http://www.revistaautocrash.com/acero-se-niega-desaparecer>.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Establecer la influencia del proceso de temple y particionamiento (Q&P), en un acero austenizado con un porcentaje mayor al 1% de Manganeso, en la resistencia a la tensión del material.

2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- 2.2.1 Establecer la secuencia de tiempo y temperatura para realizar el tratamiento térmico a un acero austenizado parcialmente.*
- 2.2.2 Fabricar pruebas de tensión según norma ASTM E-8 (Métodos de Prueba Estándar para Tensión en Materiales Metálicos).*
- 2.2.3 Analizar muestras del acero como micrografía óptica y SEM, dureza y microdureza si es posible.*
- 2.2.4 Determinar la influencia del tiempo de particionamiento y la temperatura de temple en la resistencia a la tensión de un acero con porcentaje mayor al 1% de Manganeso.*

3 MARCO TEORICO

El proceso que se va a trabajar se conoce como temple y revenido el cual es una operación que se realiza calentando a una temperatura por encima del punto de transformación A_{c3} o A_{c1} , enfriando con tal velocidad que se produzca un considerable aumento de la dureza, superficialmente o hasta el núcleo de la pieza, lo que se debe en general a la formación de martensita.

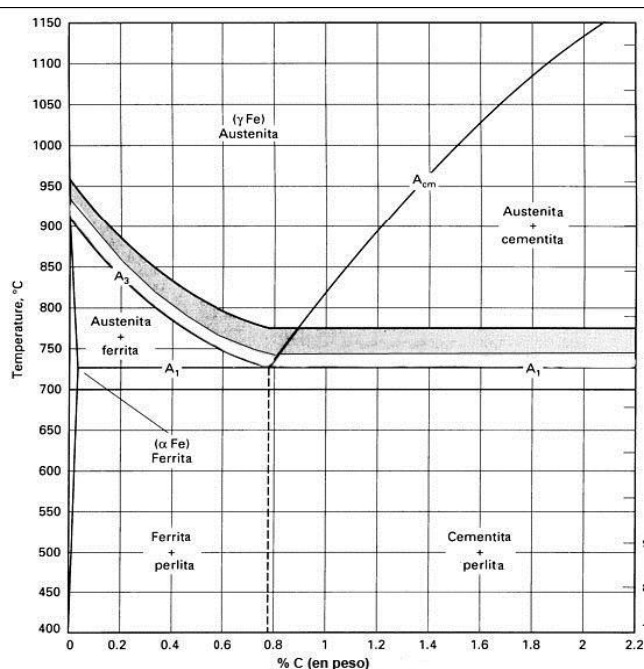


Figura 2. Temperaturas y estados en un temple ordinario

En la figura se expone el curso de la temperatura en el temple ordinario. Después del calentamiento, se austeniza la estructura del acero a una temperatura superior a A_{c3} . En el enfriamiento rápido posterior se transforma la austenita en martensita. La formación de martensita está influida, además por la temperatura de temple, el tiempo de mantenimiento a ella y la forma de enfriamiento. Si la temperatura de temple es demasiado alta, se forma una martensita de agujas gruesas como consecuencia de la falta de gérmenes y lo mismo ocurre si el tiempo de mantenimiento es demasiado largo.

La velocidad de enfriamiento depende del tipo de acero y en todos los casos, ha de ser superior a la velocidad crítica. Este enfriamiento brusco aumenta las tensiones térmicas y de transformaciones engendradas en el acero, y en las piezas de forma complicada existe el peligro de fisura en el acero. Inmediatamente después del temple, se aplicará un revenido a temperatura de unos 200°C , que no afecta sensiblemente a la dureza, pero alivia las tensiones de temple. A la vez el acero se hace menos sensible al envejecimiento, porque

parte de la austenita residual se transforma en martensita y bainitas, y la martensita tetragonal, en cúbica.¹⁰

3.1 LA AUSTENITA

La austenita es el constituyente más denso de los aceros y está formado por una solución sólida por inserción de carbono en hierro gamma. La cantidad de carbono disuelto, varía de 0.8 al 2 % C que es la máxima solubilidad a la temperatura de 1130 °C. La austenita no es estable a la temperatura ambiente pero existen algunos aceros al cromo-níquel denominados austeníticos cuya estructura es austenita a temperatura ambiente. La austenita está formada por cristales cúbicos centrados en las caras, con una dureza de 300 Brinell, una resistencia a la tracción de 100 kg/mm² y un alargamiento del 30 %, no es magnética.¹¹

3.2 LA MARTENSITA

La martensita es una solución sólida sobresaturada de carbono en hierro alfa. Se obtiene por enfriamiento muy rápido de los aceros, una vez elevada su temperatura lo suficiente para conseguir su constitución austenítica. La martensita se presenta en forma de agujas y cristaliza en la red tetragonal en lugar de cristalizar en la red cúbica centrada, que es la del hierro alfa, debido a la deformación que produce en su red cristalina la inserción de los átomos de carbono.

La dureza de la martensita puede atribuirse precisamente a la tensión que produce en sus cristales esta deformación de la misma manera que los metales

¹⁰ Metalografía y Tratamientos Térmicos/ TEMPLE Y REVENIDO

¹¹ <https://www.ecured.cu/Austenita/> Sandvik Coromant (2006). Guía Técnica de Mecanizado. AB Sandvik Coromant 2005.10.

deformados en frío deben a los granos deformados y en tensión el aumento de dureza que experimentan. Después de la cementita es el constituyente más duro de los aceros.

3.3 LA CEMENTITA

La cementita es el componente más duro de los aceros al carbono. Es un compuesto inter-metálico, no es una solución sólida de carbono en el hierro, como la ferrita o la austenita. Cada átomo de carbono que no solubiliza la ferrita forma un carburo de hierro que se conoce como cementita (Fe_3C). Su cristalografía ortorrómbica es un poco más compleja, con 12 átomos de hierro y cuatro de carbono por celda elemental. Lo más importante es su gran dureza por encima de los 68 HRC y su carácter frágil. La cementita puede encontrarse formando diferentes microestructuras dependiendo del porcentaje de carbono del acero. Inicialmente cuando el porcentaje de carbono es bajo, la cementita comienza aparecer en los límites de grano combinado con la ferrita en forma de láminas alternas (perlita). Si vamos aumentando el porcentaje de carbono de nuestra aleación, empiezan a crecer los granos de perlita, hasta el 0.77% de carbono, donde todo es perlita. Según vamos añadiendo carbono continúa apareciendo cementita (Fe_3C) en los límites de grano, y su concentración va aumentando, reduciéndose la concentración de perlita, quedando la perlita sobre una matriz de cementita.¹²

3.4 LA PERLITA

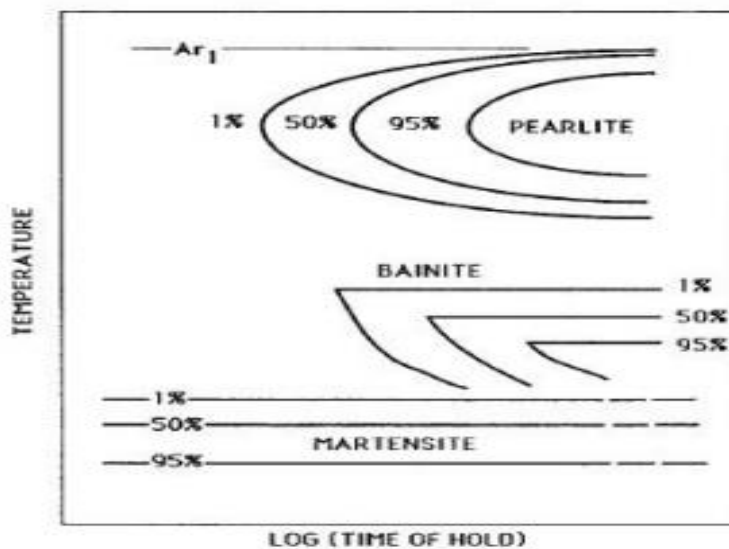
La perlita es un constituyente compuesto por el 86,5% de ferrita y el 13,5% de cementita. Como la fase mayoritaria es la ferrita, las propiedades estarán más próximas a las de la ferrita: dureza 200 brinell, resistencia: 80kg/mm², alargamiento: 15% y resiliencia: 10kg/mm². Se le da este nombre porque tiene la apariencia de una perla al observarse microscópicamente a pocos aumentos. La perlita aparece en granos denominados "colonias"; dentro de cada colonia las

¹² <https://laboratoriodeforja2.wordpress.com/cementita/>

capas están orientadas esencialmente en la misma dirección y esta dirección varía de una colonia a otra. Las capas delgadas claras son de ferrita, y la cementita aparece como capas delgadas más oscuras. La mayoría de las capas de cementita son tan delgadas que los límites de fases adyacentes no se distinguen.¹³

3.5 LA BAINITA

Producto de transformación de la austenita a temperatura intermedia, a temperaturas entre aquellas donde ocurre la transformación eutectoide de la austenita a la perlita y la transformación de la austenita a la martensita, puede formarse una variedad única de microestructuras en los aceros al carbono. Davenport y Bain¹⁴ mostraron que las microestructuras formadas a tales temperaturas intermedias eran bastante diferentes a aquellas de la perlita y la martensita, y en honor a Edgar Bain, sus colegas la llamaron bainita. La figura es un diagrama tiempo-temperatura-transformación esquemático que muestra claramente el rango de temperaturas intermedias, entre las de perlita y martensita, de la formación de bainita. Los aceros con contenidos de carbono distintos al eutectoide pueden poseer regiones de formación de fases pro-eutectoides a temperaturas mayores que la de la formación de la perlita.



14

Figura 3. Formación de bainita.

¹³ Jaime Carrera Buelta/Perlita/ <https://materiales.wikispaces.com/file/view/Perlita.doc>

¹⁴ Estructura y Propiedades de las Aleaciones-Facultad de Ingeniería-UNLP
Capítulo 4: Bainita

3.6 LA FERRITA

El hierro puro admite muy poco carbono, cantidades casi nula. La ferrita es la solución sólida del carbono dentro de la estructura cristalina del hierro puro. La estructura cristalina del hierro puro hasta los 912°C es el hierro alfa. El hierro alfa apenas admite carbono, sólo 20 ppm (partes por millón) a 20°C., es una solución sólida intersticial de carbono en una red cúbica centrada en el cuerpo de hierro. Admite hasta un 0,021 % C en solución a la temperatura eutectoide. Es el constituyente más blando del acero.¹⁵

3.7 ACEITES TERMICOS

Se emplean casi exclusivamente los aceites minerales; el calor específico, punto de ebullición, calor de evaporación, conductividad térmica y viscosidad, juegan un papel importante. Un aumento en la viscosidad suele ir acompañado de una elevación del punto de ebullición y disminuye el tiempo de la fase vapor, pero suaviza las condiciones de la fase de convección. Si la viscosidad es excesiva, disminuirá la turbulencia que contribuye a la extracción de calor en la fase de ebullición y empeorarán las condiciones de temple.

Los aceites de temple son líquidos traslúcidos cuyo color puede cambiar mucho con el uso, oscureciéndose y haciéndose más espeso. Estas alteraciones se deben principalmente a fenómenos de oxidación por el aire que son acelerados por el calentamiento que producen las piezas incandescentes de acero, que se introducen para templar. También se forma lodo procedente de la cascarilla del acero templado, que puede eliminarse por filtrado y sedimentación. El grafito coloidal proveniente de hornos de atmósfera controlada, se elimina por centrifugación.

Es frecuente la impurificación con trazas de agua por condensación y fugas del sistema de refrigeración. Cuando el contenido de agua supera el 0,5%, se aminora el efecto refrigerante del aceite porque se prolonga la fase vapor y, si se llega a más del 2%, puede producir fisuras. Además, puede producir espumas

¹⁵ <https://www.ecured.cu/Ferrita>

e inflamar el aceite durante el temple. El agua puede eliminarse calentando el aceite a 100° C o con ultracentrífuga. Fundamentalmente se utilizan dos tipos de aceite: para temple en frío, entre 30 y 60°C, y para temple en caliente, entre 100 y 130°C.¹⁶

3.8 METALOGRAFIA

La metalografía es la disciplina que estudia microscópicamente las características estructurales de un metal o de una aleación, buscando microestructura, inclusiones, tratamientos térmicos a los que haya sido sometido, micro rechupes, con el fin de determinar si dicho material cumple con los requisitos para los cuales ha sido diseñado; además podemos hallar la presencia de material fundido, forjado y laminado. Podremos conocer la distribución de fases que componen la aleación y las inclusiones no metálicas, así como la presencia de segregaciones y otras irregularidades. El microscopio es la herramienta más importante del metalurgista tanto desde el punto de vista científico como desde el técnico. Es posible determinar el tamaño de grano, forma y distribución de varias fases e inclusiones que tienen gran efecto sobre las propiedades mecánicas del metal. La microestructura revelará el tratamiento mecánico y térmico del metal y, bajo un conjunto de condiciones dadas, se podrá predecirse su comportamiento esperado.¹⁷

3.9 LAS PROBETAS

Las probetas son los elementos que representen las características mecánicas y metalográficas de las piezas coladas, ya sean de Fundición Gris Laminar o Fundición Esferoidal. Las características mecánicas del material se pueden evaluar en probetas mecanizadas preparadas a partir de: Muestras

¹⁶ Metalografía y Tratamientos Térmicos/ TEMPLE Y REVENIDO

¹⁷ <https://www.feandalucia.ccoo.es/docu/p5sd8732.pdf>

Independientes, Muestras adjuntas a la pieza, Muestras incluidas en la pieza y/o Muestras cortadas de la pieza.

Debido a la tipología y tamaño de las piezas fundidas, siempre y cuando se vaya a evaluar las características mecánicas del material recomendamos aplicar las muestras incluidas en la pieza ya que son las que mejor representan las características de las piezas.¹⁸

¹⁸ <http://www.fumbarri.com/es/recomendaciones-para-la-obtencion-de-muestras-de-piezas-de-fundicion-caracteristicas-mecanicas/>

4 METODOLOGÍA

El modelo metodológico que usaremos en el presente proyecto es secuencial en varias etapas y/o actividades para el debido desarrollo del mismo, con el fin de cumplir a cabalidad los objetivos propuestos tanto el general como los específicos; a continuación, se relacionan:

4.1 ETAPA DE DOCUMENTACIÓN

Es el inicio de la investigación y es crucial debido a que en ella se da el rumbo correcto y se recopila toda la información relacionada con el tratamiento térmico Q&P (temple y particionamiento), simultáneamente todas las características del ASTM 572 grado 50 y cuáles son los parámetros se debe usar para el proceso al cual se someterá bajo la norma ASTM E8 de ensayo de tensión, seguidamente del análisis metalográfico y demás que se describen en los ítems del **estado del arte** y **marco teórico**, toda la información documental hallada y direccionada en nuestro proyecto, se mostrará en detalle en la parte final del mismo, en la **bibliografía**.

4.2 ETAPA DE ANÁLISIS Y SÍNTESIS DE LA INFORMACIÓN.

En esta etapa se toma la información obtenida, se analiza, posteriormente se sintetiza para encontrar varios de los puntos esenciales de la investigación tales como las temperaturas críticas del temple y particionamiento, procesos y cuidados del pre y post-tratamiento, análisis estructural de la metalografía con el fin de definir la presencia de las microestructuras descritas en el **marco teórico** como *Austenita*, *Bainita*, *Cementita*, entre otros; seguidamente entrar a indagar la cantidad de ensayos necesarios para determinar un índice bajo de error y alto en confiabilidad del material para obtener resultados satisfactorios teóricamente y llevarlos a la realidad en las pruebas de tensión, a fin de llegar a concluir los objetivos basados en las indicaciones y experiencias de nuestro tutor del presente proyecto.

4.3 ETAPA DE EJECUCIÓN

Como su nombre lo indica, se ejecutará todo lo que ya se ha planeado hasta el momento, (bajo la información obtenida, analizada y sintetizada),

para establecer la influencia del proceso de temple y particionamiento, en el acero A572 austenizado con un porcentaje mayor al 1% de Manganeso, en la resistencia a la tensión del material se procede primeramente con la obtención del material anteriormente descrito, en la compañía general de aceros, en una lámina de 700 mm x 700 mm con un espesor de 8 mm, a la cual toma una sección de 25 mm x 25 mm con el fin de realizar prueba química para determinar el porcentaje de Manganeso y demás componentes del acero suministrado, acto seguido y después de obtener los resultados de la prueba química se envía a mecanización de las probetas en las cantidades ya estimadas, se hace el tratamiento térmico de acuerdo al procedimiento ya establecido dejando así listas para las pruebas de tensión y metalografía.

4.4 ETAPA DE ENSAYOS.

Es la etapa en la cual las probetas son sometidas a los ensayos de tensión, en forma secuencial para llevar el control de cada una, a continuación, se preparan las muestras y se llevan a la prueba de metalografía, dureza y micro-dureza, para obtener los resultados de dichas pruebas.

4.5 ETAPA DE CONCLUSIONES.

En dicha etapa se recopila la información conseguida en todas las pruebas y se comparan con las previstas teóricamente, asimismo comparar con la información derivada de los medios bibliográficos y tener varios puntos de análisis y llegar a concluir de manera objetiva y eficaz los resultados hallados para determinar las ventajas y desventajas del proceso de temple y particionamiento del material A572 grado 50

4.6 ETAPA DE ENTREGA DEL DOCUMENTO FINAL.

En esta etapa se recopila toda la información para la elaboración del documento final de tesis de grado basados en las normas indicadas por el proyecto curricular de la universidad con el fin de optar el título de Ingeniero Mecánico

5 CRONOGRAMA

El siguiente cronograma está sujeto a las actividades propuestas en el numeral 8., las cuales tendrían modificación previo inconveniente por desarrollo de las actividades propuestas durante el proceso a realizar.

Este empezara a partir del 30 de abril de 2018 con finalización el 20 de agosto de 2018. Dando un tiempo de 4 meses para la ejecución de este proyecto junto con el estudio de sus resultados.

CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES																
MES	MES 2				MES 4				MES 6				MES 8			
ETAPA	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32
OBTENCION DE LA INFORMACIÓN	■															
CLASIFICACIÓN DE LA INFORMACIÓN		■														
REDACCIÓN DEL ANTEPROYECTO			■	■	■											
ENTREGA DEL ANTEPROYECTO					■											
OBTENCIÓN DEL ASTM A572 GRADO 50						■										
PRUEBA QUÍMICA							■									
MECÁNIZACIÓN DE LAS PROBETAS								■								
TRATAMIENTO TÉRMICO DE LAS PROBETAS									■							
ENSAYOS DE TENSIÓN DE LAS PROBETAS										■						
OBTENCIÓN DE RESULTADOS											■					
CONCLUSIONES												■	■			
ENTREGA FINAL DEL PROYECTO														■	■	
SUSTENTACIÓN															■	

Tabla 1 Cronograma de actividades propuesta del proyecto.

6 PRESUPUESTO Y MEDIOS DE FINANCIACIÓN

Este presupuesto tendrá una financiación principal por medio de los integrantes del proyecto quienes aportaran de igual cantidad para cubrir los gastos que se estipulan a continuación, otros medios serán tomados indirectamente para desarrollar los procedimientos propuestos, estos se verán reflejados en las instalaciones de laboratorios de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, facultad Tecnológica, laboratorio de ensayo de materiales.

RECURSOS HUMANOS				
DESCRIPCIÓN	NÚMERO DE PERSONAS	DEDICACIÓN SEMANAL PROMEDIO	VALOR HORA	COSTO TOTAL
Ejecutores del proyecto	2	12	\$ 17.000,00	\$ 4.896.000,00
Director o tutor	1	2	\$ 35.000,00	\$ 768.000,00
Asesorías Varias	2	0,5	\$ 35.000,00	\$ 420.000,00
Caga prestacional 30%				\$ 1.825.200,00
			TOTAL	\$ 7.909.200,00

Tabla 2 Costos de recurso humano

MATERIALES Y MANO DE OBRA					
MATERIALES Y MÉTODOS	DESCRIPCION	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	TOTAL
Lamina ASTM 572	Lamina acero ASTM A 572 (0.7X0.7)	Kilogramos	31,2	\$ 3.886,00	\$ 121.294,00
Servicio de mecanizado	Mecanizado CNC	Horas	14	\$ 85.000,00	\$ 1.190.000,00
Corte de muestra (micrografía)	Corte en sinfín	Horas	2	\$ 4.500,00	\$ 9.000,00
Preparación	Trabajo manual	Según trabajo	20	\$ 8.500,00	\$ 170.000,00
Tratamiento térmico	Servicio de horno	Según trabajo	18	\$ 50.000,00	\$ 900.000,00
Imprevistos (15%)					\$ 358.544,1
TOTAL					\$ 2.748.838,10

Tabla 3 Costos de Materiales y mano de obra

ENSAYO DE LAS PROBETAS					
TIPO DE ENSAYO	DETALLE	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	TOTAL
Análisis Químico	Identificar Composición química del material	ensayo	2	\$ 80.000,00	\$ 160.000,00
Metalografía	Identificación de Microestructura	ensayo	18	\$ 65.000,00	\$ 1.170.000,00
Dureza	Escala Rockwell B	ensayo	18	\$ 27.500,00	\$ 495.000,00
Micro-dureza	Escala Vickers	ensayo	18	\$ 32.000,00	\$ 576.000,00
Tensión	Esfuerzo de fluencia y ultimo	ensayo	20	\$ 65.000,00	\$ 1.300.000,00
Imprevistos (15%)					\$ 555.150,00
Total					\$ 4.256.150,00

Tabla 4 Costos de los ensayos en las probetas

VARIOS					
DESCRIPCIÓN	DETALLE	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	TOTAL
Fotocopias	Documentación	unidades	150	\$ 50,00	\$ 7.500,00
Impresiones	Tesis/toma datos	Unidad	350	\$ 150,00	\$ 52.500,00
Documentos	Papelería	Unidad	70	\$ 1.350,00	\$ 94.500,00
Transporte	Traslados laboratorios/ bibliotecas/Universidades	Pasajes	270	\$ 2.300,00	\$ 621.000,00
Total					\$ 775.500,00

Tabla 5 Costos varios

HERRAMIENTAS INFORMÁTICAS				
DESCRIPCIÓN	DETALLE	COSTO	% USO	COSTO
Licencia	Microsoft office 2010	\$ 175.000,00	85,00%	\$ 148.750,00
Digitación	Personal	\$ 120.000,00	100,00%	\$ 120.000,00
Computador	Personal	\$ 1.350.000,00	100,00%	\$ 1.350.000,00
Internet	Mensualidad	\$ 60.000,00	350,00%	\$ 210.000,00
Total				\$ 1.828.750,00

Tabla 6 Costos de herramientas informáticas

PRESUPUESTO TOTAL		
DESCRIPCIÓN	FUENTE DE FINANCIACIÓN	COSTO
Recurso humano	Personal/institucional	\$ 7.909.200,00
Costo de material y M.O.	Personal/empresarial	\$ 2.748.838,10
Costo de ensayos en las probetas	Personal/institucional	\$ 4.256.150,00
Costos Varios	Personal	\$ 775.500,00
Costo de herramientas Informáticas	Personal	\$ 1.828.750,00
Subtotal		\$ 17.518.438,10
Imprevistos (5%)		\$ 875.921,91
TOTAL PRESUPUESTO		\$ 18.394.360,01

Tabla 7 Costo total del proyecto.

7 BIBLIOGRAFÍA

*Las líneas de investigación de la Facultad Tecnológica son 1. Apoyo tecnológico empresarial. 2. Optimización de procesos industriales. 3. Desarrollo tecnológico local e institucional

**Las líneas investigación del Proyecto Curricular son 1. Diseño en ingeniería mecánica. 2. Conversión de energías y mecánica de fluidos. 3. Materiales y procesos de manufactura. 4. Ecoingeniería. 5. Bioingeniería. 6. Educación y comunicación en ciencia y tecnología