

UNIVERSIDAD DISTRITAL "FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS" - FACULTAD TECNOLÓGICA PROYECTO CURRICULAR DE TECNOLOGÍA E INGENIERÍA MECÁNICA FORMATO DE PROYECTOS DE GRADO		
N° DE RADICACIÓN: _____		
INFORMACIÓN EJECUTORES		
<b>Ejecutor 1</b>		
Nombre (s):	Sebastian	
Apellido (s):	Vásquez Parra	
Código:	20171375007	
E-mail:	svasquezp@correo.udistrital.edu.co	
Teléfono fijo:		
Celular:	3212671256	
<b>Ejecutor 2</b>		
Nombre (s):		
Apellido (s):		
Código:		
E-mail:		
Teléfono fijo:		
Celular:		
INFORMACIÓN DEL PROYECTO		
Título del Proyecto:	Modelamiento matemático del crecimiento de grano austenítico y verificación experimental de su influencia en la dureza de un acero 1020	
Duración (estimada):	4 meses	
Tipo de Proyecto: (Marqué con una "x")	Innovación y Desarrollo Tecnológico	
	Prestación y Servicios Tecnológicos	
	Otro	x
Modalidad del Trabajo de Grado:	Tesis	
Línea de Investigación de la Facultad*:	Optimización de procesos industriales	
Línea de Investigación del Proyecto Curricular**:	Materiales y procesos de manufactura	
Grupo de Investigación:		
Proyecto de Investigación:		
Áreas del conocimiento que involucra:		
INFORMACIÓN PASANTÍA		
Nombre de la empresa:		
Dirección:		
Teléfonos:		
Correo electrónico:		
Página Web:		
INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA		
Director: (Vo. Bo.)		
Proyecto de Pasantía: (Tutor): (Vo. Bo.)		
Formulación Proyecto de Grado: (Profesor): (Vo. Bo.)		

## TABLA DE CONTENIDO

<b>1</b>	<b>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b> .....	<b>5</b>
<b>2.</b>	<b>ESTADO DEL ARTE</b> .....	<b>5</b>
<b>3.</b>	<b>JUSTIFICACIÓN</b> .....	<b>6</b>
<b>4.</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	<b>7</b>
4.1.	OBJETIVO GENERAL .....	7
4.2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	7
<b>5.</b>	<b>MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>7</b>
5.1.	FORMACIÓN DE AUSTENITA DURANTE EL CALENTAMIENTO Y EL REMOJO DE ACERO CON BAJO CONTENIDO DE CARBONO EN EL RANGO DE TEMPERATURAS INTERCRÍTICA .....	7
	• EFECTO DE LA TEMPERATURA DE CALENTAMIENTO .....	10
	• EFECTO DE LA MICROESTRUCTURA INICIAL .....	10
	• EFECTO DE LA TASA DE CALENTAMIENTO .....	11
5.2.	DUREZA .....	11
5.3.	NORMA E 407-99 .....	12
<b>6.</b>	<b>METODOLOGÍA</b> .....	<b>12</b>
6.1.	Obtener los datos experimentales de crecimiento de grano austenítico según la norma E 407-99 “Standard Practice for Microetching Metals and Alloys”. .....	12
6.2.	Plantear un modelo matemático que pueda establecer el crecimiento de grano austenítico y a su vez concuerde con los datos obtenidos experimentalmente: .....	12
6.3.	Definir el margen de error entre el modelo matemático y los datos experimentales para definir su eficacia.....	12
6.4.	Medición de dureza del acero posterior al ensayo E 407-99 con el fin de establecer la influencia positiva o negativa del crecimiento de grano sobre esta propiedad del material. ..	13
<b>7.</b>	<b>CRONOGRAMA</b> .....	<b>14</b>
<b>8.</b>	<b>PRESUPUESTO Y FUENTES DE FINANCIACIÓN</b> .....	<b>15</b>
<b>9.</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>16</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama para acero de 0,12 C a 1,5 Mn que ilustra las etapas de austenización según la temperatura y el tiempo (Speich et al., 1981).....	8
Figura 2. Cinética de la austenización isotérmica a diferentes temperaturas: (a) acero 0.06C-1.5Mn,.....	9

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Cronograma de actividades. ....	14
Tabla 2. Presupuesto.....	15

## **RESUMEN**

El conocimiento y control del crecimiento de grano siempre ha sido un factor importante por tener en cuenta al momento de establecer el cambio en las propiedades mecánicas de los materiales como la dureza, el desarrollo pragmático de un modelo matemático que pueda predecir este fenómeno es el objetivo principal de este trabajo. Este estudio se ha realizado bajo diferentes condiciones de temperatura con variación del tiempo de mantenimiento, así como la velocidad de calentamiento en la zona austenítica.

## **INTRODUCCIÓN**

En la actualidad el acero SAE 1020 es ampliamente utilizado para partes de maquinarias que no estén sometidas a grandes esfuerzos mecánicos como ejes, eslabones para cadenas, pasadores, bujes, tornillería, bridas, piñones de transmisión, clavos y grapas entre muchos otros usos además de pertenecer al grupo de aceros según SAE con mayor resistencia y dureza, disminuyendo su deformabilidad. Obtener un grado de dureza alto puede ser controlado definiendo un tamaño de grano específico durante la obtención y transformación del acero, por lo general todos estos materiales son producidos a partir de lingotes de acero de varios cientos de toneladas donde la intervención de la temperatura en procesos de fabricación como la forja es muy marcada; por lo tanto el conocimiento de los cambios de microestructura que tienen lugar durante el calentamiento del material forman un papel muy significativo en el resultado de las propiedades mecánicas. Tener en cuenta el cambio en el crecimiento de grano durante los intervalos de calentamiento en la zona austenítica del material es una forma efectiva de predecir y definir las propiedades finales que se deseen obtener del material. Con el uso de un modelamiento matemático del crecimiento de grano austenítico en el acero 1020 se puede garantizar el mayor grado de dureza, en específico se puede la mejor versión de un material cuya dureza es tan importante para las aplicaciones que demanda la industria nacional e internacional.

## 1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El crecimiento de grano austenítico depende de la temperatura de calentamiento, el tiempo de sostenimiento y la velocidad de calentamiento, por lo tanto, son variables que se pueden controlar durante el proceso de obtención del acero, el conocimiento de los cambios de microestructura que se presentan durante el calentamiento complejo juegan un papel importante en la obtención de las propiedades mecánicas, sin embargo, obtener los datos de un material en específico para definir una propiedad como la dureza no es una tarea sencilla. Es por esto que un modelamiento matemático de la evolución de grano de austenita durante los intervalos de calentamiento puede establecer la temperatura, el tiempo de sostenimiento y la velocidad de calentamiento para controlar las propiedades mecánicas como la dureza del acero SAE 1020.

## 2. ESTADO DEL ARTE

Muchos modelos empíricos para la predicción de crecimiento de grano de austenita se han propuesto por expertos en el área de materiales y metalúrgicos a lo largo de la historia, con el uso de los datos experimentales proponen una solución matemática que pueda predecir el crecimiento de grano como se muestra a continuación.

Beck sugirió una ecuación empírica algo sencilla para la predicción de crecimiento del grano durante el recocido isotérmico para el aluminio de alta pureza.

$$D = \frac{D_r}{A^n} (t_g + A)^n \quad \text{Ec.1.}$$

$D$  es el tamaño de grano promedio después del período de recocido en. El período de recocido incluye el tiempo para la recristalización completa  $R$  y el tiempo para el crecimiento del grano  $t_g$ .  $D_r$  es el tamaño de grano recristalizado,  $n$  es un parámetro que depende de la temperatura y del material. Fue uno de los primeros modelos planteados que precedieron a los demás autores con unas variaciones adicionales. (Beck, Holzworth, & Hu, 1948)

E. Anelli desarrollo un conjunto de modelos matemáticos integrados para simular la laminación en caliente y el enfriamiento controlado de alambrón y barras. Con el uso de pruebas experimentales en C-Mn y aceros eutectoides seleccionados como representativos de las diversas aplicaciones de alambrón y barras. La recristalización estática y dinámica de austenita, fracción de austenita transformada, microestructuras finales y propiedades mecánicas fueron calculadas con el modelando de fenómenos físicos y usando relaciones cuantitativas entre los parámetros microestructural y cinético y las variables del proceso, es decir, tensión, velocidad de deformación, temperatura y tiempo.

Aplico los modelos para predecir la evolución de la microestructura durante el laminado en caliente y para investigar el efecto de las condiciones de trabajo y los mecanismos de recristalización en la formación de microestructuras heterogéneas austeníticas. Con el estudio realizado por Anelli los modelos de crecimiento de grano que proporciono lograron dar una visión importante del proceso que fue muy beneficiosa en la mejora de la calidad de los productos obtenidos mediante la laminación en caliente. (Anelli, 1992)

Turnbull determino un valor teórico de exponente crecimiento de grano fue de 2,0 para su modelo matemático basado en el de Beck. Y los otros estudios acordaron comúnmente que el crecimiento de grano cambia el valor de exponente con condiciones de calentamiento. (Turnbull, 1951)

Raghunathan realizó un estudio paramétrico para cuantificar el tamaño de grano en dos aleaciones comerciales donde examino los efectos de la temperatura y el tiempo, mostrando que los parámetros de deformación y las microestructuras originales tienen un efecto controlador sobre el tamaño de grano. De esta forma presenta la fórmula cinética del crecimiento de grano:

$$d = d_0 + At^m \exp\left(-\frac{Q}{RT}\right) \quad \text{Ec.2.}$$

(Raghunathan & Sheppard, 1989)

Xu Yaowen, Di Tang, Yong Song y Xiaogang Pan desarrollaron un modelo pragmático para predecir el crecimiento de grano de austenita isotérmica en un acero de doble fase laminado en caliente, se estudiaron diferentes condiciones de calentamiento donde se varió el tiempo de mantenimiento, la temperatura y la velocidad de calentamiento y se hizo un análisis matemático sobre el exponente de tiempo y el tamaño de grano inicial donde se encontró que el exponente de tiempo de la ecuación de Beck varío en un amplio rango cuando la temperatura disminuye. (Yaowen, Tang, Yong, & Pan, 2011)

Dingqian Dong, Fei Chen, y Zhenshan Cui determinaron un modelo matemático para el crecimiento de grano austenítico en un acero de baja aleación donde definieron que la temperatura de calentamiento y el tiempo de mantenimiento son dos factores fundamentales para el comportamiento del crecimiento de grano de austenita, con el uso de modelamiento teóricos anteriores plantean una ecuación exponencial teniendo en cuenta el crecimiento de grano inicial durante el proceso experimental realizado como base de la investigación. (Dong, Chen, & Cui, 2012) Se encontró que la temperatura de calentamiento a 1050 ° C es un punto de inflexión durante el crecimiento del grano de austenita.

### 3. JUSTIFICACIÓN

Se ha establecido que el tamaño de grano está directamente relacionado con las propiedades finales de cada material, es por esta razón que un modelo matemático que pueda predecir el tamaño de grano donde una propiedad como la dureza alcanza los valores más altos para un acero 1020 en este estudio, puede permitir parametrizar las variables que intervienen en el proceso de fabricación del acero y controlar de esta forma sus propiedades finales. El proyecto muestra la posibilidad de proponer modelos matemáticos de crecimiento de grano no solo para garantizar una excelente dureza sino cualquier propiedad que sea pertinente en una aplicación específica con un planteamiento similar, pero con un enfoque diferente.

## 4. OBJETIVOS

### 4.1. OBJETIVO GENERAL

Plantear un modelo matemático aproximado para determinar el tamaño de grano austenítico en un acero 1020 y verificar su influencia en la dureza de dicho material.

### 4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Obtener los datos experimentales de cambio del grano austenítico a temperaturas intercríticas en un acero SAE 1020
- Plantear un modelo matemático que pueda establecer el crecimiento de grano austenítico que concuerde con los datos obtenidos experimentalmente, luego definir el margen de error entre el modelo matemático y los datos experimentales para establecer su eficacia.
- Medición de dureza del acero posterior al ensayo E 407-99 con el fin de establecer la influencia positiva o negativa del crecimiento de grano sobre esta propiedad del material.

## 5. MARCO TEÓRICO

### 5.1. FORMACIÓN DE AUSTENITA DURANTE EL CALENTAMIENTO Y EL REMOJO DE ACERO CON BAJO CONTENIDO DE CARBONO EN EL RANGO DE TEMPERATURAS INTERCRÍTICA

Los factores más importantes para justificar un tratamiento térmico intercrítico, incluyen la nucleación y **el crecimiento de la austenita** y la duración de la transformación “el proceso” por falta de uniformidad en el contenido de carbono en austenita.

Crecimiento de la austenita

Existen tres etapas de austenización isotérmica en los aceros de ferrita-perlita en su microestructura:

- Un crecimiento rápido en la fase y regiones de perlita hasta que son consumidas totalmente, se tienen los siguientes datos experimentales: en la etapa de 0,06 C – 1,5 Mn se obtuvo una estimación de 15 seg a 740 °C y 0,2 seg a 780 °C; para los aceros con 0,12 a 2% C de 30 seg a 2 min con una temperatura de 740 °C.
- Crecimiento lento de la austenita en zonas en regiones con ferrita, se tiene que a temperaturas mayores a 850 °C es controlada la etapa por la difusión del carbono en la austenita con un tiempo de 2-9 seg, o se puede controlar por la difusión del manganeso a temperaturas entre 740 – 780 °C, pero con un tiempo de 4-24 horas de proceso.

- Crecimiento de austenita en equilibrio a una tasa controlada por la difusión de elementos de aleación en austenita, esta etapa de crecimiento es 3 veces más lenta que en la ferrita con un tiempo de 2000-4000 horas.

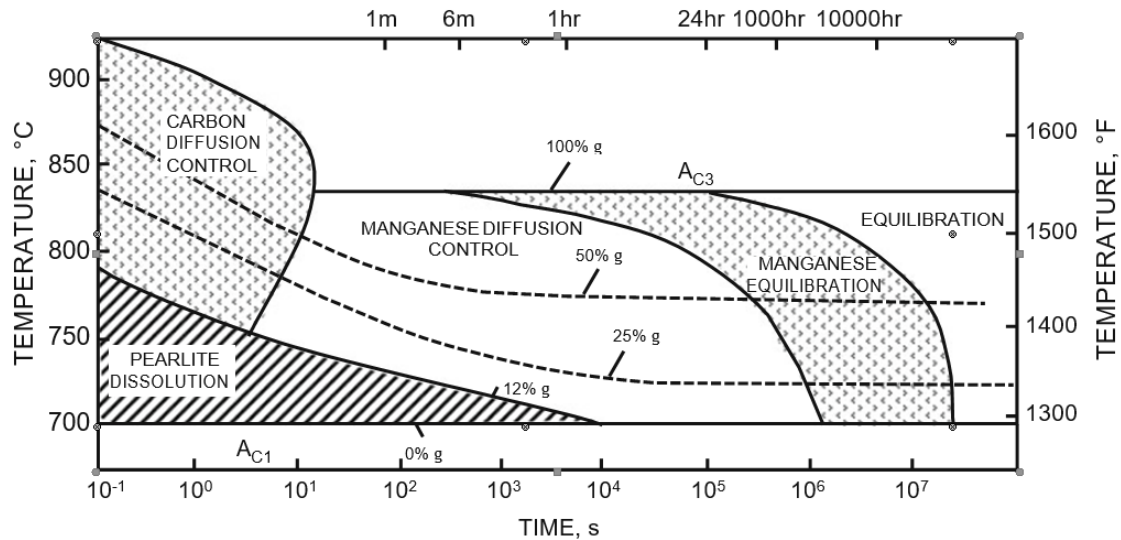


Figura 1. Diagrama para acero de 0,12 C a 1,5 Mn que ilustra las etapas de austenización según la temperatura y el tiempo (Speich et al., 1981).

En la primera etapa de austenización el aumento inicial en la austenita se debe a la transformación de la perlita sin cambiar la cantidad de ferrita, a pesar de esto, cierta cantidad de perlita puede estar retenida en la etapa dos del crecimiento austenítico, en esta etapa en los límites de la interface de ferrita-perlita y el crecimiento de grano de austenita emergen más temprano en ferrita, se producen simultáneamente.

“Un estudio detallado mostró que en los aceros de carbono medio (0.36-0.47% C), la transformación de perlita a austenita puede, a su vez, proceder en uno o dos pasos dependiendo de la velocidad de calentamiento. A una tasa de calentamiento muy baja (0.05 °C / s), las placas de ferrita y cementita se transforman simultáneamente. A mayor velocidad de calentamiento (20 °C / s), se observó un proceso de dos pasos: la ferrita dentro de un grano de perlita se transforma primero en austenita y luego las laminillas de cementita comienzan a disolverse (Savran et al., 2007)”.

Las curvas de austenización isotérmica para aceros con diversos contenidos de carbono (0.06, 0.12 y 0.20%) se resumen en la figura 2. Como se puede observar, al acercarse a la "cantidad de equilibrio de austenita" se nota solo a bajas temperaturas de la región intercrítica y solo para aceros con 0.06 y 0.12% C y requiere un tiempo de más de 15 minutos para lograr esa cantidad de austenita.



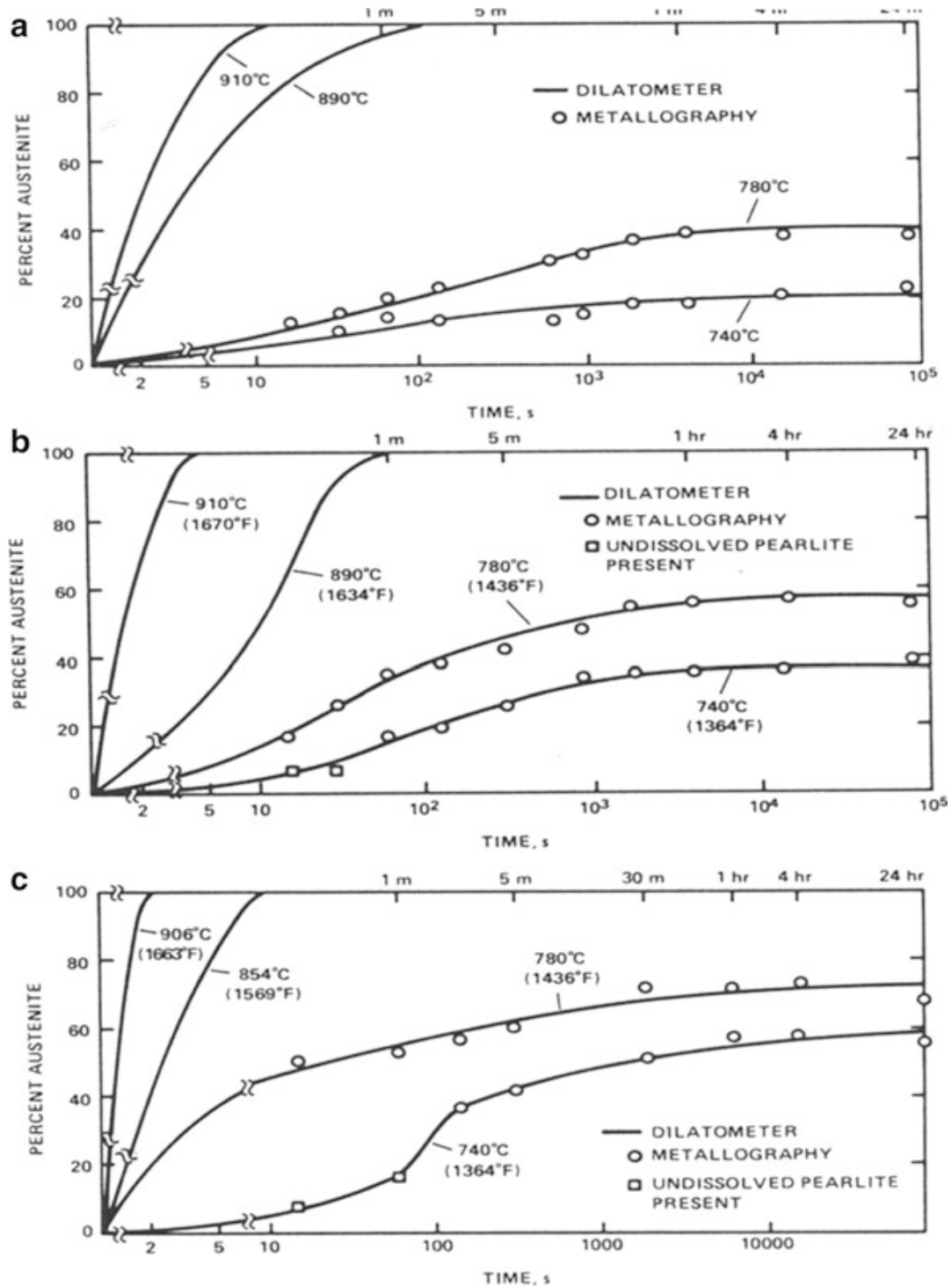


Figura 2. Cinética de la austenización isotérmica a diferentes temperaturas: (a) acero 0.06C-1.5Mn, (b) acero 0.12C-1.5Mn; (c) acero 0.20C-1.5Mn (Speich et al. 1981).

- **EFFECTO DE LA COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL ACERO**

El efecto de la composición del acero en el proceso de austenización abarca una serie de factores: los cambios en la energía de activación de la transformación  $\alpha \rightarrow \gamma$ , la difusividad del carbono, la actividad termodinámica del carbono en austenita, los gradientes de

concentración de carbono entre las fases  $\alpha$  y  $\gamma$ , así como los valores de temperaturas críticas de Ae, Ac1 y Ac3.

- **EFFECTO DE LA TEMPERATURA DE CALENTAMIENTO**

La temperatura de calentamiento es uno de los factores que controla la fracción de volumen de austenita en el acero, su contenido de carbono tiene un efecto sobre la estabilidad de la misma austenita y la microestructura final formada después del proceso de enfriamiento. La tasa de crecimiento de la fase de austenita,  $v$  se puede describir con la siguiente ecuación:

$$v = D \frac{dc}{dx} \left( \frac{1}{\Delta C^{\gamma-\alpha}} + \frac{1}{\Delta C^{c-\alpha}} \right) \quad \text{Ec.3}$$

Donde:

- D = difusividad del carbono en austenita
- $dc/dx$  = gradiente de concentración de carbono
- $\Delta C^{\gamma-\alpha}$  = concentración de carbono en la austenita-ferrita
- $\Delta C^{c-\alpha}$  = concentración carburo-austenita

Con un aumento de temperatura, los cambios en los parámetros anteriores son notables y bruscos, teniendo en cuenta que la disminución en el gradiente de concentración de carbono es mayor en austenita-ferrita que en la austenita y el carburo, la tasa de crecimiento de la austenita hacia la ferrita es mayor que en el carburo. Teniendo como resultado un aumento de la temperatura de calentamiento en aceros con carburos más estables que conduce a un mayor número de carburos no disueltos dentro de la austenita.

- **EFFECTO DE LA MICROESTRUCTURA INICIAL**

La microestructura inicial controla la cinética de austenización y la morfología de la mezcla de austenita y ferrita que luego es pasada a la microestructura final del acero luego del proceso de enfriamiento. Centrándose en la austenización el efecto directo de la microestructura original se manifiesta con un cambio de temperaturas críticas en las transformaciones de fase y también en la tasa de crecimiento de austenita a una temperatura en aumento.

“Se encontró una tasa de austenización más alta durante el recalentamiento de la microestructura inicialmente martensítica en comparación con la microestructura bainítica recalentada en condiciones idénticas. La microestructura que contenía carburos esferoidizados demostró el mayor cambio en las temperaturas de Ac1 y Ac3 a valores más altos, así como la tasa más lenta de austenización. Dado que la austenita generalmente se nuclea en interfaces de carburo / ferrita, la cantidad de fase  $\gamma$  y su tasa de crecimiento aumentan al aumentar el área específica de las interfaces ferrita-carburo, es decir, con refinamiento de partículas de carburo y / o granos de ferrita (Law y Edmonds 1980)”. (Fostein, 2015)

- **EFFECTO DE LA TASA DE CALENTAMIENTO**

En un estudio del acero de ferrita-perlita con 0.15C-1.42Mn-0.37Si-0.031Nb, se encontró que el parámetro que representa la tasa de formación integral de austenita aumenta su magnitud cuando la tasa de calentamiento aumenta solo de 0.1 a 1 C / s, lo que resultó en un aumento de la fracción de austenita de 0.5 a 0.85 luego del calentamiento a 800 ° C.

Varios investigadores han confirmado el aumento del crecimiento de grano austenítico con el aumento de la tasa de calentamiento, uno de los estudios con una conclusión interesante es el siguiente:

- (Azizi-Alizamini et al., 2011) usando 0.17C-0.74Mn de acero y tasas de calentamiento que van de 1 a 900 ° C / s, se encontró que una mayor tasa de calentamiento afectó las transformaciones de austenita durante el calentamiento continuo de solo - microestructura laminada (HR) mientras que en el caso de aceros laminados en frío (CR) las fracciones de austenita fueron relativamente independientes de las velocidades de calentamiento. Concluyeron que estos resultados se debían a las diferencias en las microestructuras iniciales anteriores a la formación de austenita. “En la microestructura de HR, el aumento en la velocidad de calentamiento requirió un sobrecalentamiento hasta que se formó una red de granos de austenita en los límites del grano de ferrita. En el acero CR, el aumento en la velocidad de calentamiento también tiende a aumentar el recalentamiento necesario, pero la microestructura inicial (instantánea) previa a la formación de austenita también era una función de la velocidad de calentamiento en sí misma. El aumento en la velocidad de calentamiento retrasó la recristalización cambiando la microestructura de la ferrita desde totalmente recristalizada hasta parcialmente recristalizada, mientras que, en perlita, retrasó la esferoidización de las partículas de cementita. En consecuencia, tanto la nucleación como los patrones de crecimiento de la formación de austenita cambiaron, lo que dio como resultado una especie de compensación mutua. La composición química de los aceros puede afectar sustancialmente tanto la recristalización como las temperaturas de Ac1, así como la propensión a la esferoidización de (FeMn) 3C. Esto podría explicar inconsistencias significativas en los resultados de los estudios de los efectos de la velocidad de calentamiento utilizando diferentes aceros”. (Fostein, 2015)

## **5.2. DUREZA**

La dureza de un material es aquella propiedad de la capa superficial del material en este caso acero, de poder resistir toda deformación elástica, plástica o destrucción debido a la acción de esfuerzos de contacto locales originados por otro cuerpo (llamado indentador o penetrador), más duro, de determinada forma y dimensiones, el cual no sufre deformaciones residuales durante el contacto.

Por tanto, en general, se entiende por dureza a la propiedad que tienen los materiales de resistir la penetración de un indentador sometido bajo carga, y en este sentido, la dureza se define como la resistencia de un material a la deformación plástica localizada en su superficie.

### 5.3. NORMA E 407-99

Esta práctica cubre soluciones y procedimientos químicos para ser utilizado en el grabado de metales y aleaciones para microscópico examen. Precauciones de seguridad e información variada también están incluidos.

Esta norma no pretende abordar todas las preocupaciones de seguridad, si las hay, asociadas con su uso. Es la responsabilidad del usuario de esta norma para establecer prácticas de seguridad y salud y determinar la aplicabilidad de las limitaciones regulatorias antes del uso. Para específico declaraciones de precaución.

Esta práctica enumera los métodos y soluciones recomendados para el grabado de especímenes para el examen metalográfico. Las soluciones se enumeran para resaltar las fases presentes en la mayoría de los principales sistemas de aleación. (ASTM)

## 6. METODOLOGÍA

6.1. Obtener los datos experimentales de crecimiento de grano austenítico según la norma E 407-99 “Standard Practice for Microetching Metals and Alloys”.

- Aplicar la norma paso a paso en la sección donde especifican los aceros con contenido de FE + C apartados 80, 81 y 82 donde se centra en límites de grano austenítico en martensítico y aceros bainíticos.

6.2. Plantear un modelo matemático que pueda establecer el crecimiento de grano austenítico y a su vez concuerde con los datos obtenidos experimentalmente:

- Análisis y discusión de los resultados obtenidos luego de la prueba experimental sobre el acero 1020 según la norma E 407-99.
- Según las referencias estudiadas se debe plantear el primer modelo matemático teniendo en cuenta todas las variables pertinentes y definidas en el punto anterior.
- Como los modelos planteados con los que se ha atacado el problema han sido de forma exponencial procedemos a realizar una transformación logarítmica de la ecuación inicial.
- Procedemos a definir los valores de las variables que no controlamos en la ecuación, con el método de regresión lineal utilizando los datos experimentales.
- Para terminar, se definen los valores fijos de las variables no controladas y se define un modelo matemático final.

6.3. Definir el margen de error entre el modelo matemático y los datos experimentales para definir su eficacia.

- Introducir en el modelo la función de error teniendo en cuenta las variables no controladas.

- Obtener el valor mínimo de error es el objetivo de la optimización de la función, utilizando un polinomio que se ajuste a los datos.
  - Se realiza una relación logarítmica manteniendo constante la temperatura y el tiempo respectivamente para definir las variables controlables del modelo.
  - Por último, se hace una comparación gráfica entre los datos obtenidos por el modelo y los datos experimentales y se define el error relativo entre las curvas, para validar o corregir el modelo matemático planteado.
- 6.4. Medición de dureza del acero posterior al ensayo E 407-99 con el fin de establecer la influencia positiva o negativa del crecimiento de grano sobre esta propiedad del material.
- Realizar la medición de dureza a las probetas luego de terminar la aplicación de la norma E 407-99 con el agente químico para determinar qué grado de dureza final se obtiene y hacer el respectivo análisis y comparación.

## 7. CRONOGRAMA

En la siguiente tabla podemos encontrar el cronograma de actividades que nos permite establecer las semanas y el tiempo especificado en cada actividad a realizar.

CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES		SEMANAS															
Item	ACTIVIDADES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	Planteamiento del problema																
2	Recolección de información y artículos																
3	Clasificación y análisis de la información																
4	Elaboración del anteproyecto																
5	Presentación del anteproyecto																
6	Compra del material de acero SAE 1020																
7	Análisis de la composición química del material y medición de los granos del acero SAE 1020																
8	Fabricación de las probetas																
9	Practica de laboratorio aplicando la norma E 407-99 a las probetas.																
10	Análisis de los datos experimentales obtenidos de las probetas.																
11	Planteamiento del modelo matemático teniendo en cuenta los resultados obtenidos.																
12	Comparación de los datos experimentales y los datos obtenidos según el modelo matemático.																
13	Correcciones y planteamiento final según el margen de error obtenido en la comparación del modelo y los datos reales.																
14	Análisis y conclusiones finales																
15	Elaboración del documento final																
16	Sustentación del proyecto																

*Tabla 1. Cronograma de actividades.*

## 8. PRESUPUESTO Y FUENTES DE FINANCIACIÓN

Item	Presupuesto Tesis	Canto.	Valor unitario	Total	Fuente de financiación
1	Varilla acero 1020 de 1" x 1 metro	1	\$35.000	\$35.000	propia
2	Composición química acero SAE 1020	1	\$65.000	\$65.000	propia
3	Fabricación de probetas	10	\$2.200	\$22.000	propia
4	Lijas de diferente tipo de grano	8	\$2.500	\$20.000	propia
5	Químicos de ataque	-	\$70.000	\$70.000	propia
6	Paños especiales de pulido	4	\$7.500	\$30.000	propia
<b>Valor total del proyecto</b>				<b>\$242.000</b>	

*Tabla 2. Presupuesto*

## 9. BIBLIOGRAFÍA

- Anelli, E. (1992). Application of Trolled Cooling Mathematical of Wire Rods Modelling and Bars. 440-449.
- ASTM. (s.f.). Standard Practice for Microetching Metals and Alloys. *Designation E 407-99*, 11.
- Beck, P., Holzworth, M., & Hu, H. (1948). Instantaneous Rates of Grain Growth. 526-527.
- Dong, D., Chen, F., & Cui, Z. (2012). Modeling of Austenite Grain Growth During. *ELSEVIER*.
- Fostein, N. (2015). *Advanced High Strength Sheets Steels*. Switzerland: Springer.
- Raghunathan, N., & Sheppard, T. (1989). Microstructural Development During Annealing of Hot Rolled. 542-549.
- Turnbull, D. (1951). Theory of Grain Boundary Migration Rates. 661-668.
- Yaowen, X., Tang, D., Yong, S., & Pan, X. (2011). Prediction Model for the austenite grain growth in a hot rolled dual phase steel. *ELSEVIER*.