



**UNIVERSIDAD  
DE ANTIOQUIA**

**DISEÑO DE UN PROTOCOLO PARA EL  
ASEGURAMIENTO DE CALIDAD DE LOS ACEROS  
EMPLEADOS EN LOS PROCESOS DE MANUFACTURA  
DE INDUSTRIAS HACEB**

Autor

Sebastián Mejía Alzate

Universidad de Antioquia

Facultad de Ingeniería, Departamento de Materiales

Medellín, Colombia

2021



**DISEÑO DE UN PROTOCOLO PARA EL ASEGURAMIENTO DE CALIDAD DE  
LOS ACEROS EMPLEADOS EN LOS PROCESOS DE MANUFACTURA DE  
INDUSTRIAS HACEB**

**Sebastián Mejía Alzate**

Informe de Práctica académica presentado como requisito parcial para optar al título de:

**Ingeniero de materiales**

Asesores (a):

PhD. Juan Marcelo Rojas Arango

Ingeniero Fernando del Jesús Bolívar Castaño

Universidad de Antioquia

Facultad de Ingeniería, Departamento de materiales

Medellín, Colombia

2021

## TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN .....	8
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	9
3. OBJETIVOS .....	10
3.1. Objetivo general .....	10
3.2. Objetivos específicos .....	10
4. MARCO TEÓRICO .....	10
4.1. El hierro .....	10
4.2. El acero .....	11
4.2.1. El arrabio .....	11
4.2.2. Alto horno .....	11
4.2.3. Diagrama de fase hierro – carbono.....	11
4.2.3.1. Ferrita .....	12
4.2.3.2. Cementita .....	13
4.2.3.3. Perlita .....	14
4.2.3.3.1. Perlita fina .....	14
4.2.3.3.2. Perlita gruesa .....	15
4.2.3.4. Bainita .....	15
4.2.3.4.1. Bainita superior .....	15
4.2.3.4.2. Bainita inferior.....	15
4.2.3.5. Martensita .....	16
4.2.3.6. Austenita .....	16
4.3. El acero en la industria .....	16
4.4. Clasificación de los aceros.....	17
4.4.1. Normas CENIM .....	17
4.4.2. Norma UNE-EN10027-1: 2017 .....	18
4.4.3. Norma UNE-EN 10020 .....	19
4.4.4. Norma ASTM A27/A27M.....	20
4.4.5. Normas AISI – SAE .....	20
4.5. Elementos de aleación .....	21
4.6. Tipos de acero .....	22
4.6.1. Acero autoprotector .....	22

4.6.2. Acero calmado.....	22
4.6.3. Acero galvanizado .....	22
4.6.4. Acero inoxidable.....	22
4.6.4.1. Acero inoxidable martensíticos.....	22
4.6.4.2. Aceros inoxidables ferríticos .....	22
4.6.4.3. Aceros inoxidables austeníticos .....	23
4.6.4.4. Aceros inoxidables dúplex.....	23
4.6.5. Acero laminado .....	23
4.6.5.1. Acero laminado en caliente .....	23
4.6.5.2. Acero laminado en frío.....	23
4.6.6. Acero efervescente .....	23
4.6.7. Acero estructural.....	23
4.6.8. Aceros bajo carbono .....	23
4.6.9. Aceros medio carbono .....	24
4.6.10. Aceros alto carbono .....	24
4.7. Caracterización de un acero.....	24
4.7.1. Caracterización estructural .....	24
4.7.1.1. Microscopía óptica .....	24
4.7.2. Caracterización química .....	25
4.7.2.1. Espectrometría de emisión óptica .....	25
4.7.2.2. Cámara salina .....	26
4.7.3. Caracterización mecánica.....	27
4.7.3.1. Ensayo de tracción .....	27
4.7.3.1.1. Esfuerzo normal .....	28
4.7.3.1.2. Esfuerzo último .....	28
4.7.3.1.3. Esfuerzo de fluencia .....	28
4.7.3.1.4. Límite de proporcionalidad .....	28
4.7.3.1.5. Límite de fluencia .....	28
4.7.3.1.6. Estricción .....	28
4.7.3.1.7. Zona plástica .....	28
4.7.3.1.8. Zona elástica.....	29
4.7.3.1.9. Límite de elasticidad .....	29
4.7.3.1.10. Ductilidad .....	29

4.7.3.2. Ensayo de dureza .....	29
4.7.3.2.1. Dureza Mohs .....	30
4.7.3.2. Dureza Martens.....	30
4.7.3.3. Dureza Brinell .....	30
4.7.3.4. Dureza Vickers.....	31
4.7.3.5. Dureza Rockwell .....	31
4.7.4. Caracterización de recubrimientos sobre un acero .....	32
4.7.4.1. Adherencia a cuadrícula.....	33
4.7.4.2. Resistencia al impacto.....	33
4.8. Producción del acero.....	33
5. METODOLOGIA.....	34
5.1. Revisión bibliográfica: .....	34
5.2. Revisión y detalle de información de aceros en Industrias Haceb.....	34
5.3. Caracterización química: .....	35
5.4. Caracterización mecánica:.....	35
5.5. Caracterización microestructural .....	35
5.6. Diseño de procedimiento .....	35
5.7. Entrega del protocolo:.....	35
6. PROTOCOLO .....	36
6.1. Metodología .....	36
6.2. Justificación .....	36
6.2.1. Ensayos mecánicos.....	38
6.2.1.1. Ensayo de tracción. ....	39
6.2.1.1.1. Preparación de la muestra para un ensayo de tracción. ....	39
6.2.1.2. Ensayo de dureza. ....	40
6.2.1.2.1. Preparación de la muestra para el ensayo de dureza.....	40
6.2.1.3. Ruta de entrega para realización de ensayos mecánicos. ....	41
6.2.2. Composición química. ....	41
6.2.2.1. Preparación de la muestra para ensayo de composición química.....	41
6.2.2.2. Ruta de entrega para la realización del ensayo de composición química. ....	41
6.2.3. Ensayo de cámara salina. ....	42
6.2.3.1. Preparación de la muestra para ensayo de cámara salina. ....	42
6.2.3.2. Ruta de entrega para ensayo de cámara salina. ....	42

6.2.4.	Análisis metalográfico.....	43
6.2.4.1.	Preparación de la muestra para análisis metalográfico.....	43
6.2.4.2.	Ruta de entrega para la realización del análisis microestructural.....	43
6.2.5.	Ensayos a recubrimientos.....	43
6.2.5.1.	Preparación de la muestra para pruebas a recubrimientos.....	44
6.2.5.2.	Ruta de entrega para la realización de pruebas a recubrimientos.....	44
7.	RESULTADOS Y ANALISIS.....	44
	.....	50
8.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	51
9.	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	52
10.	AVAL ASESOR INTERNO Y EXTERNO.....	55

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de fases hierro – carbono. Torre, F. (2015). .....	12
Figura 2. Ferrita. Torre, F. (2015).....	13
Figura 3. a) Perlita; b) Ferrita Widmanstatten; c) Perlita con ferrita globulizada. Va Larre, R. (2010). .....	13
Figura 4. Cementita hipereutectoide. Va Larre, R. (2010).....	14
Figura 5. Bainita superior. Torre, F. (2015). .....	15
Figura 6. Bainita inferior. Torre, F. (2015). .....	15
Figura 7. Martensita. Torre, F. (2015). .....	16
Figura 8. Austenita. Torre, F. (2015). .....	16
Figura 9. Microscopio ótico. Cientifotécnicos. (2020). .....	25
Figura 10. Espectro de emisión óptica de un acero. Mörke, P. (2017).....	26
Figura 11. Ensayo en cámara de niebla salina. Sumatec. (2019). .....	26
Figura 12. Curva esfuerzo – deformación. Areatecnologia.com (2015). .....	27
Figura 13. Ensayo de dureza. Fernández, J. (2019). .....	29
Figura 14. Dureza Martens. Fernández, J. (2019).....	30
Figura 15. Indentador Brinell. Fernández, J. (2019). .....	31
Figura 16. Indentador Vickers. Fernández, J. (2019). .....	31
Figura 17. Ensayo de adherencia a cuadrícula. Neurtek.com. (2020).....	33
Figura 18. Impactómetro. Neurtek.com. (2020).....	33
Figura 19. Producción mundial de acero. Comité colombiano de productores de acero - ANDI. (2019). .....	34
Figura 20. Tipos de acero empleados en Industrias Haceb .....	38
Figura 21. Probeta estándar para ensayo de tracción. Areatecnologia.com. (2015). .....	40
Figura 22. Muestra para ensayo de dureza. Fernández, J. (2019).....	41
Figura 23. Geometría de probeta para ensayos de cámara salina.....	42
Figura 24. Geometría par pruebas a recubrimientos.....	44
Figura 25. Diagrama de recepción de materiales en Haceb. .....	45
Figura 26. Consumo de acero en toneladas en Haceb. .....	47
Figura 27. Diagrama de flujo del aseguramiento de calidad de aceros.....	50

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación del acero según su porcentaje de carbono.....	17
Tabla 2. Clasificación CENIM.....	18
Tabla 3. Clasificación de aceros UNE-EN 10020. Ingemecanica.com. (2015).....	19
Tabla 4. Clasificación AISI-SAE. ....	20
Tabla 5. Elementos aleantes del acero. ....	21
Tabla 6. Escala Mohs. Fernández, J. (2019).....	30
Tabla 7. Escala Rockwell. Fernández, J. (2019). ....	32
Tabla 8. Propiedades mecánicas en ensayo de tracción .....	39
Tabla 9. Aseguramiento de calidad de aceros .....	49

## RESUMEN

Este trabajo muestra los procedimientos para realizar el aseguramiento de la calidad de los aceros empleados en los procesos de manufactura de Industrias Haceb. A partir de los criterios de calidad dispuestos en las fichas técnicas internas de la compañía, mediante estas, se evaluaron cuáles serían los ensayos necesarios para generar criterios de aceptación o rechazo a los diferentes lotes de material que provenientes de diferentes proveedores, tanto a nivel nacional como internacional.

Inicialmente se evaluaron las diferentes fichas técnicas empleadas en el control interno de los diferentes procesos de fabricación, en donde eran empleado el acero como materia prima, se analizaron los requerimientos dispuestos en las mismas, para de esta forma poder evaluar una serie de ensayos que permitieran obtener la información dispuesta en las fichas técnicas, para posteriormente conocer con base en ensayos técnicos, si el material evaluado cumplía o no con las exigencias necesarias para cumplir con los criterios de calidad de los productos fabricados en industrias Haceb.

Finalmente, se procedió a generar un protocolo para evaluar y asegurar la calidad de los aceros, este procedimiento se basa en tres grupos de pruebas, las cuales serían ensayos mecánicos, químicos y microestructurales. Con estas pruebas se evaluaría la calidad de dicha materia prima y posteriormente se aseguraría la calidad de estas para la fabricación de productos de la compañía.

**Palabras clave:** Aceros, calidad, ensayos técnicos, ficha técnica, protocolo.

---

## 1. INTRODUCCIÓN

Industrias Haceb es una empresa colombiana con 80 años de experiencia fabricando electrodomésticos, fundada en 1940 por José María Acevedo y ha logrado convertirse en líder en línea blanca en el país, actualmente tiene presencia en 14 países. El parque industrial se encuentra ubicado en el municipio de Copacabana (Antioquia), este cuenta con 5 fábricas con 300 mil metros cuadrados techados que lo convierten en una manufactura de talla mundial [1].

Fabricar productos de muy buena calidad a bajo precio es para Industrias Haceb una idea que se ha mantenido desde su fundación, lo cual conlleva a mantener un riguroso balance entre las materias primas con las que se fabrican los productos pero que aun así sean de alta calidad y mantengan un bajo costo para ser asequibles en el mercado colombiano, esta meta ha logrado que Haceb haga que la calidad sea un eje fundamental en la organización, adoptando el lema “Hacerlo bien, desde la primera vez”. Tener un riguroso control de calidad sobre las materias primas se ha convertido en una pauta determinante en el crecimiento de la empresa, de esta necesidad nació el área de calidad de Proveedores, dicha área se encarga de controlar y evaluar las novedades que surgen en el

proceso de fabricación y realizar las respectivas reclamaciones al proveedor con base a ensayos técnicos y análisis precisos que lo verifiquen, esto con la finalidad de poder emplear los correctivos necesarios y garantizar un producto de alta calidad desde el inicio del proceso de manufactura. Mediante diferentes estrategias el área de calidad Proveedores ha reducido considerablemente los recursos económicos que se pierden por conceptos de materias primas de mala calidad que finalmente repercuten en el crecimiento de la empresa por la pérdida de valor que representan los mismos.

## **2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Durante el año 2020 Industrias Haceb consumió aproximadamente 5500 toneladas de acero en sus procesos de fabricación, lo que implica más de 41 mil millones de pesos únicamente en la compra de esta materia prima, lo que convierte al acero en un material de gran importancia para la empresa, y tiene una gran incidencia en los costos de producción de todos los procesos de manufactura de la empresa, por lo tanto, el control de ésta materia prima es de vital importancia por el valor económico que representa para la compañía. Actualmente se manejan 73 referencias de aceros, los cuales vienen en 10 calibres diferentes y provienen de 15 proveedores distintos. Haceb dispone de fichas técnicas de todas las referencias de acero que se consume en los procesos de fabricación de sus productos y se exige a los proveedores cumplir con los requerimientos dispuestos en dichas fichas. Con el fin de asegurar la calidad, se firman documentos legales de los anexos de los contratos llamado "Acuerdos de calidad". Actualmente existe un problema de verificación al cumplimiento de las especificaciones de las fichas técnicas, ya que no existe un laboratorio al interior de Industrias Haceb para validarlos, teniéndolos que enviar a laboratorios externos certificados, incurriendo en costos y tiempos que afectan la rapidez de respuesta en caso de una reclamación de Calidad. El desarrollo de un método de verificación permitiría identificar, si las fallas asociadas a este material durante el procesamiento son debido a problemas de mecanizado o incumpliendo la composición química y propiedades mecánicas exigidas para cumplir con la aplicación requerida. La no reclamación oportuna de los acuerdos de Calidad conduce a una destrucción de valor por concepto de materias primas de mala calidad, dichos problemas se evidencian en costos por almacenamiento de materia prima defectuosa, novedades durante el procesamiento que implican una pérdida en la producción, tiempos improductivos y finalmente en productos en devolución por garantía.

El propósito de este trabajo es reducir las pérdidas por concepto de materias primas (aceros) que no cumplen con los requerimientos necesarios por la compañía, siendo el área calidad proveedores la responsable de asegurar el acero que se adquiere por medio de diferentes proveedores. Por lo tanto, es necesario implementar una serie de pruebas para ejercer un control interno sobre los diferentes aceros que se emplean en la compañía, de

esta forma se aporta al crecimiento de la empresa al evitar pérdidas económicas por los problemas previamente mencionados.

### **3. OBJETIVOS**

#### 3.1. Objetivo general

Implementar un procedimiento para el control de calidad de los aceros empleados en los procesos de manufactura de Industrias Haceb.

#### 3.2. Objetivos específicos

- Realizar una caracterización química, mecánica y estructural a los aceros que se emplean en los procesos de manufactura para evaluar las propiedades físicas, químicas y estructurales de dicha materia prima.
- Establecer un procedimiento para evaluar la calidad de los aceros en base a los resultados obtenidos de la evaluación de las propiedades físicas, químicas y estructurales para determinar si cumplen con los requisitos establecidos en las fichas técnicas dispuestas en Industrias Haceb.
- Diseñar un procedimiento para efectuar con la mayor reproducibilidad un análisis de calidad de los diferentes aceros que se manejan en industrias Haceb.

### **4. MARCO TEÓRICO**

#### 4.1. El hierro

El hierro (Fe) es el elemento químico que constituye el 5% de la corteza terrestre, lo que lo convierte en el segundo metal más abundante en ella por debajo del aluminio. En la naturaleza no encontramos el hierro en estado puro, ya que siempre se encuentra en una combinación con otros elementos en minerales como lo son la magnetita ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), siderita ( $\text{FeCO}_3$ ) o la hematita ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), entre muchos otros. Después de ser sometidos a numerosos procesos se extrae el hierro en estado puro, sin embargo, este tiene muy pocas aplicaciones técnicas debido a que sus propiedades mecánicas y cualidades químicas son muy deficientes, pero que al combinarlo con pequeñas cantidades de elementos como el carbono u otros metales o no metales mejora notablemente sus propiedades y por ende sus posibles aplicaciones técnicas aumentan. El porcentaje de carbono puede distinguir aleaciones entre hierro dulce, aceros y fundiciones, siendo los aceros los más relevantes por sus aplicaciones [2].

## 4.2. El acero

El acero se puede obtener a partir de dos materias primas fundamentales: el arrabio y las chatarras, el tipo de materia prima condiciona el proceso de fabricación. Generalmente para fabricarlo a partir de arrabio se emplea un convertidor con oxígeno, en cambio partiendo de chatarra se emplea un horno de arco eléctrico, siendo este último un proceso más amigable con el medio ambiente [3].

### 4.2.1. El arrabio

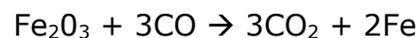
El primer proceso en la fabricación del acero es la obtención del arrabio, este se forma a partir de minerales de hierro, coque y caliza. El coque es empleado como combustible para calentar el horno y a su vez libera monóxido de carbono que se combina con los óxidos de hierro del mineral y finalmente se reduce a hierro metálico. [16]

### 4.2.2. Alto horno

Un alto horno es un horno de cuba, formado por dos troncos de cono unidos por sus bases mayores. El tronco superior recibe el nombre de cuba, y el inferior se llama etalajes, la zona intermedia se llama vientre. La parte interior del horno está recubierta por material refractario y la exterior es de chapa de acero, entre ambas capas se dispone un circuito de refrigeración. Estas instalaciones reciben este nombre por su gran altura que suele estar en torno a los 30 metros.

Existen altos hornos que operan en continuo, esto quiere decir que la forma de trabajo consiste en introducir la mezcla con los reactivos y dejar que el horno funcione durante un determinado tiempo y que no haya que detenerlo para extraer los productos [17].

La ecuación de la reacción química fundamental de un alto horno es:



### 4.2.3. Diagrama de fase hierro – carbono

Los diagramas de fase tienen una gran relevancia en la ingeniería, debido son la unión de varios estudios de solidificación, microestructura, metalurgia física y diseño de nuevos materiales. En la fabricación del acero es importante conocer el diagrama de fases de hierro – carbono en su estado de equilibrio puesto que este funciona como una herramienta para direccionar el proceso de elaboración de aceros de alta calidad [20].

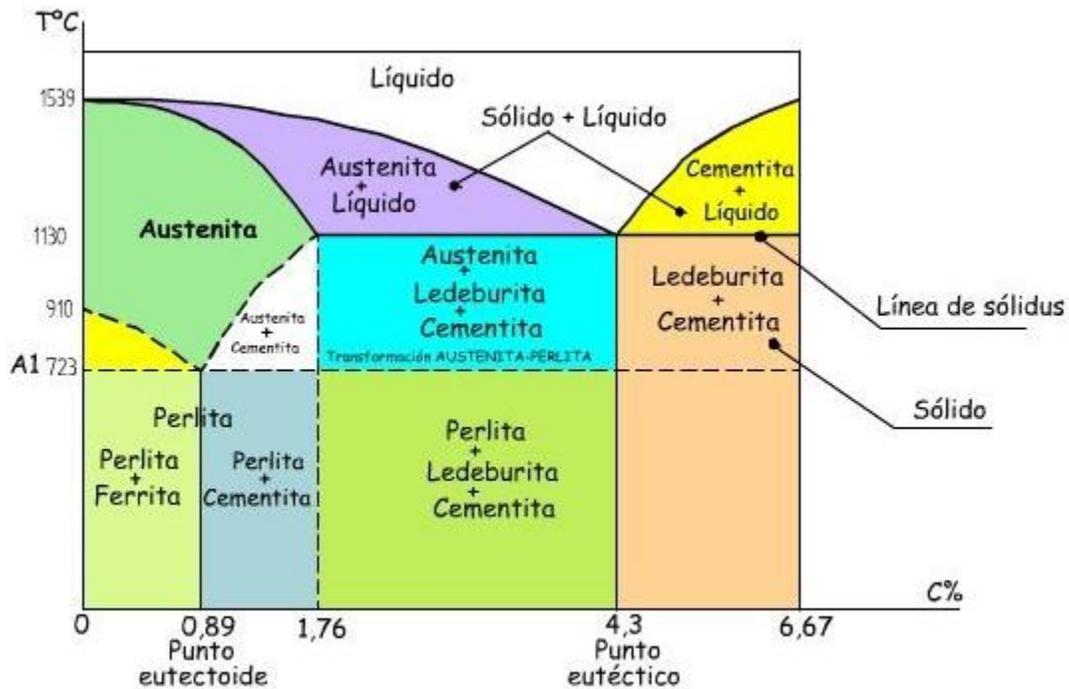
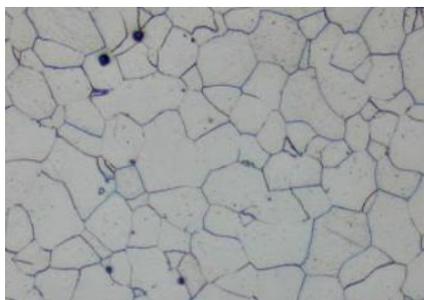


Figura 1. Diagrama de fases hierro – carbono. Torre, F. (2015).

Con un diagrama de fase hierro – carbono es posible conocer las condiciones necesarias de tiempo y temperatura para obtener la fase deseada en condiciones de equilibrio, cabe resaltar que cada fase tiene una serie de características que la hacen o no idóneas para una aplicación específica [20].

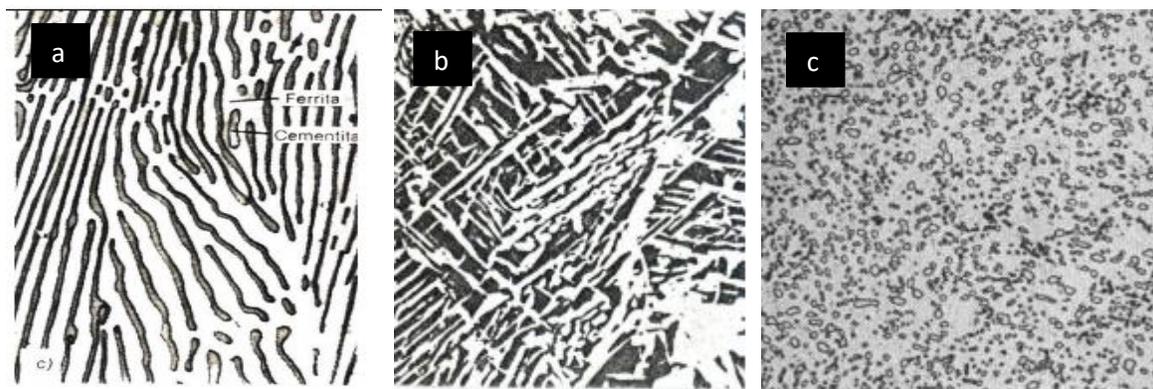
#### 4.2.3.1. Ferrita

Esta fase es hierro casi puro, puede contener en solución pequeñas cantidades de silicio, fósforo y otras impurezas. Esta fase se conoce por ser la más blanda de todos los constituyentes del acero. Es muy dúctil, maleable y magnética por debajo de los 775°C y a magnética por encima de esta temperatura, algunos autores distinguen entre ferrita alfa y ferrita beta según sea o no magnética. La ferrita es una solución sólida de inserción octaédrica compuesta por átomos de carbono en hierro alfa, los cuales se pueden situar al azar en el centro de las aristas o posiciones equivalentes. La solubilidad máxima a temperatura ambiente es del 0,008% de carbono, por lo cual se considera la ferrita como hierro alfa puro [20].



**Figura 2. Ferrita. Torre, F. (2015).**

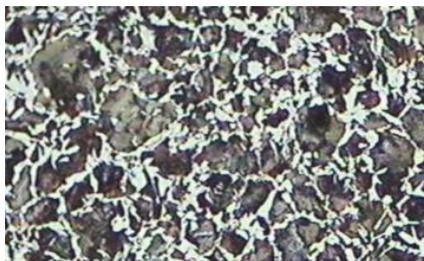
La morfología granular de la ferrita es muy variada, pudiendo encontrar hasta 24 términos descriptivos, se puede encontrar ferrita eutectoide como una matriz más o menos ordenada con láminas de cementita para conformar la perlita. También se puede encontrar ferrita en la estructura Widmanstatten como una estructura acicular, típica de los aceros en bruto de colada [42].



**Figura 3. a) Perlita; b) Ferrita Widmanstatten; c) Perlita con ferrita globulizada. Va Larre, R. (2010).**

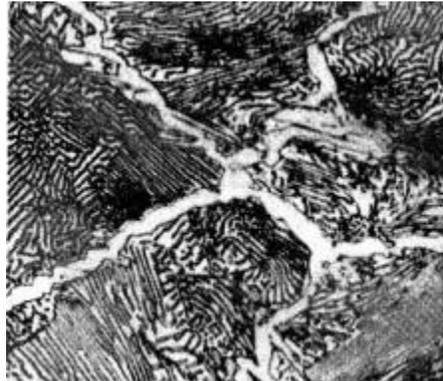
#### 4.2.3.2. Cementita

También conocida como carburo de hierro ( $Fe_3C$ ), es un compuesto metaestable que contienen el 6.67% de carbono y 93.33% de hierro. Es el constituyente del acero más duro y frágil. Esta fase es magnética a temperatura ambiente, pero pierde esta propiedad alrededor de los  $218^{\circ}C$ , se cristaliza en un sistema ortorrómbico de grandes dimensiones [20].



**Figura 3. Cementita. Torre, F. (2015).**

La cementita se puede presentar en diferentes formas, en aceros con contenido de carbono superior al 0,8% se forma cementita proeutectoide, esta se presenta en forma de retículos rodeando a los granos de perlita. En caso de que se encuentre al interior de la perlita se conoce como cementita perlítica o eutectoide, se presenta en forma de láminas insertas en una matriz de ferrita, en los aceros recocidos se presenta cementita en forma de glóbulos dentro de una matriz ferrítica [42].



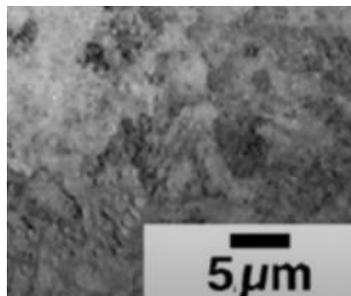
**Figura 4. Cementita hipereutectoide. Va Larre, R. (2010).**

#### 4.2.3.3. Perlita

Esta fase está formada por capas alternas de cementita y ferrita. Este constituyente hay que clasificarlo en perlita gruesa y perlita fina [20].

##### 4.2.3.3.1. Perlita fina

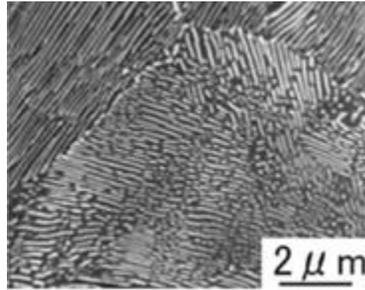
Se obtiene cuando se enfría en el interior del horno rápidamente o se expone el acero al aire, alcanza durezas más altas que la perlita gruesa [20].



**Figura 4. Perlita fina. Torre, F. (2015).**

#### 4.2.3.3.2. Perlita gruesa

Se obtiene por enfriamiento lento dentro del horno, presenta menor dureza que la perlita fina [20].



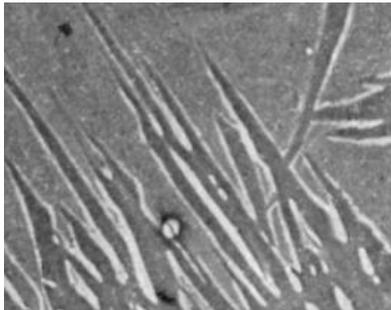
**Figura 5. Perlita gruesa. Torre, F. (2015).**

#### 4.2.3.4. Bainita

Se obtiene por procesos de difusión de una mezcla de dos fases, ferrita y cementita. Se diferencian dos tipos de estructuras de bainita, la superior y la inferior [20].

##### 4.2.3.4.1. Bainita superior

Tiene un aspecto arborescente, se forma alrededor de 500-550°C, está formada por una matriz ferrítica que contiene carburos de forma alargada [20].



**Figura 5. Bainita superior. Torre, F. (2015).**

##### 4.2.3.4.2. Bainita inferior

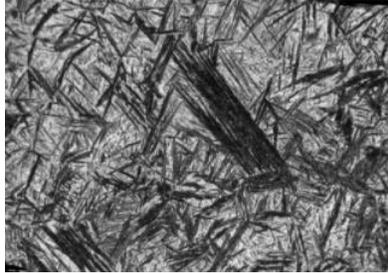
Está constituida por agujas alargadas de ferrita que contienen delgadas placas de carburos. Se forma alrededor 250-400°C [20].



**Figura 6. Bainita inferior. Torre, F. (2015).**

#### 4.2.3.5. Martensita

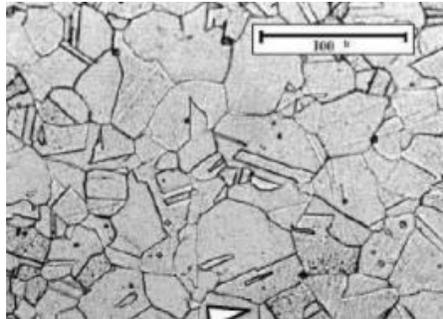
Es común en los aceros templados, está formado por una solución sólida sobresaturada de carbono en hierro alfa. Se obtiene por enfriamiento rápido desde altas temperaturas [20].



**Figura 7. Martensita. Torre, F. (2015).**

#### 4.2.3.6. Austenita

Es el constituyente más denso de los aceros. Está formado por solución sólida de carbono en hierro gamma. Se obtiene por enfriamiento rápido. Es dúctil, blanda y tenaz [20].



**Figura 8. Austenita. Torre, F. (2015).**

### 4.3. El acero en la industria

Los aceros permiten un gran abanico de aplicaciones debido a que podemos encontrar aceros relativamente blandos y dúctiles, otros pueden ser endurecidos lo suficiente como para ser utilizados como herramientas de corte, otros pueden ser diseñados para poseer resistencia mecánica y tenacidad. Esta versatilidad en sus propiedades lo convierten en un material crítico en el desarrollo de diferentes sectores como la industria automotriz, sector transporte, edificios e infraestructura, producción y distribución de energía, comida y agua, herramientas y maquinaria [18].

El acero es de los más importantes materiales de ingeniería y construcción, esto se evidencia en que el 80% del total de los metales producidos para dichas áreas corresponde al acero, esta relevancia es debido a una combinación de resistencia, facilidad de fabricación y un amplio rango de propiedades que terminan dándole un lugar especial en los materiales metálicos [4]. Actualmente para diferentes aplicaciones la demanda de acero a nivel mundial ha crecido hasta alcanzar un

volumen de 1.808,6 millones de toneladas y generando aproximadamente 40 millones de empleos alrededor del mundo [18].

#### 4.4. Clasificación de los aceros

Actualmente existen 2500 clases de acero estándar a nivel mundial, pero sin importar las propiedades que tenga un acero, fundamentalmente se podría clasificar como una aleación de hierro y carbono siempre que el porcentaje de carbono se encuentre entre el 0.2 y el 2% [5]. En base a su porcentaje de carbono se puede clasificar como aceros de bajo, medio o alto carbono como se muestra en la tabla 1, aunque también es posible clasificarlos por su calidad o por su aplicación [6]. Además, encontramos normas como la CENIM, UNE-EN10027-1, UNE-EN 10020, ASTM A27/A27M, AISI-SAE las cuales tienen una serie de criterios que los clasifica según sus diferentes propiedades, composición química y aplicaciones, posteriormente les asigna una referencia específica según los criterios que este cumpla [7],[8],[9],[10],[11].

**Tabla 1. Clasificación del acero según su porcentaje de carbono.**

Denominación	% Carbono	Resistencia (Kg/mm <sup>2</sup> )
Aceros extrasuaves	0.1 - 0.2	38 - 48
Aceros suaves	0.2 - 0.3	48 - 55
Aceros semisuaves	0.3 - 0.4	55 - 62
Aceros semiduros	0.4 - 0.5	62 - 70
Aceros duros	0.5 - 0.6	70 - 75
Aceros extraduros	0.6 - 0.7	75 - 80

##### 4.4.1. Normas CENIM

El Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas (CENIM) es uno de los centros de investigación con mayor prestigio y tradición. La actividad de este centro de investigación estuvo fundamentalmente orientada a prestar soporte tecnológico a la industria siderúrgica española, pero actualmente es un centro multidisciplinar, que agrupa investigadores del área de ciencia y tecnología de materiales. Este clasifica los productos metalúrgicos en diferentes grupos, como:

- Clases
- Series
- Grupos
- Individuo

La clase es designada por una letra según se indica a continuación:

- F: Aleaciones férreas
- L: Aleaciones ligeras
- C: Aleaciones de cobre
- V: Aleaciones varias

Con respecto a los aceros, las normas CENIM los clasifica de la siguiente manera [6]:

**Tabla 2. Clasificación CENIM.**

Serie	F -	Tipo
1	F - 100	Aceros finos de construcción general
2	F - 200	Aceros para usos especiales
3	F - 300	Aceros resistentes a la corrosión y oxidación
4	F - 400	Aceros para emergencia
5	F - 500	Aceros para herramientas
6	F - 600	Aceros comunes
8	F - 800	Aceros de moldeo

#### 4.4.2. Norma UNE-EN10027-1: 2017

Se basa en un código con cuatro campos, se emplea mucho en la industria.

#### **F-X Y ZZ**

El primer campo para la designación de los aceros comienza por la letra mayúscula F seguida de un guion.

La primera cifra, X, que constituye el siguiente campo se utiliza para indicar los grandes grupos de aceros, siguiendo preferentemente un criterio de utilización. De acuerdo con este criterio, se distinguen los siguientes grupos:

- Aceros especiales: grupos 1, 2, 3, 4 y 5;
- Aceros de uso general: grupos 6 y 7;
- Aceros moldeados: grupo 8;

La segunda cifra, Y, del campo siguiente establece los distintos subgrupos afines dentro de cada grupo, mientras que las dos últimas cifras, ZZ, sin valor significativo, sólo tienen por misión la clasificación y la distinción entre elementos, según se van definiendo cronológicamente [6].

#### 4.4.3. Norma UNE-EN 10020

Es una clasificación de los aceros que permitiera conocer las propiedades de estos. Esta norma indica la cantidad mínima o máxima de cada componente y las propiedades mecánicas del acero resultante. Esta norma dividió a los aceros en cinco series diferentes a las que identifica por un número. Cada serie de aceros se divide a su vez en grupos, que especifica las características técnicas de cada acero, matizando sus aplicaciones específicas [6].

**Tabla 3. Clasificación de aceros UNE-EN 10020. Ingemecanica.com. (2015).**

<b>Serie</b>	<b>Grupo</b>	<b>Denominación</b>
Serie 1	Grupo 1	Aceros al carbono
	Grupos 2 y 3	Aceros aleados de gran resistencia
	Grupo 4	Aceros aleados de gran elasticidad
	Grupos 5 y 6	Aceros para cementación
	Grupo 7	Aceros para nitruración
Serie 2	Grupo 1	Aceros de fácil mecanización
	Grupo 2	Aceros para soldadura
	Grupo 3	Aceros magnéticos
	Grupo 4	Aceros de dilatación térmica
	Grupo 5	Aceros resistentes a la fluencia
Serie 3	Grupo 1	Aceros inoxidables
	Grupos 2 y 3	Aceros resistentes al calor
Serie 5	Grupo 1	Aceros al carbono para herramientas
	Grupos 2, 3 y 4	Aceros aleados para herramientas
	Grupo 5	Aceros rápidos
Serie 8	Grupo 1	Aceros para moldeo
	Grupo 3	Aceros de baja radiación
	Grupo 4	Aceros para moldeo inoxidable

#### 4.4.4. Norma ASTM A27/A27M

Esta norma fue creada por American Society for Testing and Materials (ASTM), esta no especifica la composición química del acero directamente, en lugar de ello determina la aplicación o su ámbito de empleo.

Esta norma emplea un esquema de 3 campos para la clasificación de los aceros

### **YXX**

donde,

Y es la primera letra de la norma que indica el grupo de aplicación según la siguiente lista [6]:

A: si se trata de especificaciones para aceros;

B: especificaciones para no ferrosos;

C: especificaciones para hormigón, estructuras civiles;

D: especificaciones para químicos, así como para aceites, pinturas, etc.

E: si se trata de métodos de ensayos;

#### 4.4.5. Normas AISI – SAE

El American Iron and Steel Institute (AISI) y la Sociedad de Ingenieros Automotrices (SAE) son la voz de la industria del acero estadounidense, esta reglamentación utiliza un esquema general para realizar la especificación de los aceros mediante 4 números:

### **AISI ZYXX**

Además de los números anteriores, las especificaciones AISI pueden incluir un prefijo mediante letras para indicar el proceso de manufactura. Es decir, las especificaciones SAE emplean las mismas designaciones numéricas que las AISI, pero eliminando todos los prefijos literales [11].

El significado de los anteriores campos de numeración es la siguiente [6]:

- XX indica el tanto por ciento (%) en contenido de carbono (C) multiplicado por 100;
- Y indica, para el caso de aceros de aleación simple, el porcentaje aproximado del elemento predominante de aleación;
- Z indica el tipo de acero (o aleación).

Los valores que puede adoptar Z son los siguientes [6]:

**Tabla 4. Clasificación AISI-SAE.**

Z	Aleación
1	Aceros al carbón
2	Aceros al Níquel

3	Aceros al Níquel - Cromo
4	Aceros al Molibdeno
5	Aceros al Cromo
6	Aceros al Cromo-Vanadio
7	Aceros al Tungsteno-Cromo
8	Aceros al Níquel-Cromo-Molibdeno

#### 4.5. Elementos de aleación

Existen diferentes elementos que al adicionar en cantidades específicas pueden conferir al acero diferentes propiedades como se muestra en la tabla 2, esto implica un mayor número de posibles aplicaciones que lo convierten en uno de los materiales más empleados a nivel mundial [4].

**Tabla 5. Elementos aleantes del acero.**

Elemento	Características
Aluminio	Empleado en pequeñas cantidades, actúa como un desoxidante para el acero fundido y produce un acero de grano fino.
Boro	Aumenta la templabilidad.
Cromo	Aumenta la profundidad del endurecimiento y mejora la resistencia al desgaste y corrosión.
Cobre	Mejora significativamente la resistencia a la corrosión atmosférica
Manganeso	Elemento básico en todos los aceros comerciales, actúa como desoxidante y neutraliza los efectos nocivos del azufre, mejora la penetración del temple.
Molibdeno	Aumenta la penetración del temple, mejora las propiedades del tratamiento térmico, aumenta la dureza y resistencia a altas temperaturas.
Níquel	Mejora las propiedades de tratamiento térmico reduciendo temperatura de endurecimiento y distorsión al ser templado.
Silicio	Se emplea como desoxidante y actúa como endurecedor.
Azufre	Normalmente es una impureza y se mantiene a bajo nivel, cuando se agrega en grandes cantidades (0.006-0.30%) aumenta la maquinabilidad.
Titanio	Desoxidante y para inhibir el crecimiento granular. Aumenta la resistencia a altas temperaturas.
Tungsteno	Imparte gran resistencia al desgaste y dureza a altas temperaturas.
Vanadio	Imparte dureza y ayuda a la formación de granos de tamaño fino. Aumenta la resistencia al impacto y a la fatiga.

## 4.6. Tipos de acero

Existen diferentes tipos de aceros, algunas normas los clasifican en diferentes grupos, pero se pueden diferenciar por familias según sus características generales.

### 4.6.1. Acero autoprotector

Es un acero común que no lo afecta la corrosión, es una aleación con níquel, cromo, cobre y fósforo. Pasa por un proceso de humectación que le confieren una película muy delgada de óxido de color rojizo. Esta capa de óxido lo protege de la corrosión atmosférica sin perder sus características mecánicas.

Entre sus principales aplicaciones se encuentran la fabricación de tuberías, chimeneas, uso arquitectónico, esculturas y fachadas de edificios [21].

### 4.6.2. Acero calmado

También es conocido como acero reposado. Este tipo de acero se desoxida por completo previo a la colada. Mediante la adición de metales se consigue este procedimiento, tiene la gran ventaja de no producir gases durante la solidificación.

Su principal aplicación es la fabricación de barras corrugadas que se usan en estructuras de hormigón armado [22]

### 4.6.3. Acero galvanizado

Este tipo de acero tiene como característica principal estar recubierto por una capa de zinc. Dicho recubrimiento protege al acero de la oxidación, puede ser galvanizado por inmersión o la electrolgalvanización. El acero galvanizado es barato y se puede reciclar, lo cual lo hace muy empleado en la industria. Si es expuesto a ambientes externos como lluvia y agua de mar se acorta la vida del material presentando corrosión [23].

### 4.6.4. Acero inoxidable

Al adicionar un poco más del 10% de cromo al acero, este adquiere la característica de no presentar herrumbre bajo condiciones normales. Este proceso se debe a que el cromo en presencia del oxígeno forma una delgada película transparente de óxido de cromo sobre el acero, esta película se conoce como capa pasiva. Esta capa es auto reparable en caso de que se presente daño mecánico en el acero [24].

#### 4.6.4.1. Acero inoxidable martensíticos

Son aceros que contienen en su composición química cromo del 10.5 al 18% y carbono alto, hasta 1.2%. Presentan una moderada resistencia a la corrosión, son endurecibles por tratamiento térmico, magnéticos y son de baja soldabilidad [24].

#### 4.6.4.2. Aceros inoxidables ferríticos

Son aceros que contienen en su composición química entre 10.5 al 30% de cromo y bajos contenidos de carbón, 0.08%. Algunos tienen molibdeno, silicio, aluminio, titanio y niobio. Presentan una resistencia a la corrosión moderada a buena. Son endurecibles moderadamente por trabajo en frío, magnéticos, baja soldabilidad y dureza [24].

#### 4.6.4.3. Aceros inoxidables austeníticos

Al adicionar elementos formadores de austenita como níquel, manganeso y nitrógeno. El contenido de cromo en la composición química se encuentra entre el 16 y el 26%, su contenido de carbono entre el 0.03 y el 0.08%. Tienen una excelente resistencia a la corrosión, se endurecen por trabajo en frío, no magnéticos y tienen alta soldabilidad.

#### 4.6.4.4. Aceros inoxidables dúplex

Tienen un contenido de cromo entre el 16 y el 26% y de níquel entre 4.5 y 6.5%. Estos aceros inoxidables son aleaciones cromo – níquel – molibdeno, son magnéticos, no son endurecibles por tratamiento térmico, buena soldabilidad. Al tener una estructura dúplex se mejora la resistencia a la corrosión en ambientes con iones cloruros [24].

#### 4.6.5. Acero laminado

Una barra de acero al ser sometida a deformación longitudinal por esfuerzos de tracción aumenta su longitud. Puede ser sometido a dicho esfuerzo en frío o en caliente.

##### 4.6.5.1. Acero laminado en caliente

Ha sido sometido al esfuerzo de deformación por rodillos a muy altas temperaturas, más de 1700°F superando la temperatura de recristalización de la mayoría de los aceros. Debido a que el acero se contrae al enfriarse después del procesamiento, hay menos control sobre su forma final, por lo que no es el más indicado para aplicaciones de alta precisión. Es mucho más barato de producir debido a que requiere menos procesamiento [25].

##### 4.6.5.2. Acero laminado en frío

Es esencialmente es un acero laminado en caliente que ha sido sometido a más procesamientos. Una vez es enfriado es laminado nuevamente a temperatura ambiente para alcanzar dimensiones exactas y mejores cualidades superficiales. Típicamente son más duros y fuertes que los aceros laminados en caliente [25].

#### 4.6.6. Acero efervescente

Este tipo de acero de bajo contenido de carbono, no se desoxida durante el enfriamiento desde el estado líquido, por esto se produce monóxido de carbono que posteriormente produce efervescencia mejorando la soldadura, forja o laminación [24].

#### 4.6.7. Acero estructural

Este tiene la particularidad de haber sido laminado en caliente y moldeado en frío. Estos deben tener unas buenas propiedades en cuanto a la fuerza, tenacidad, ductilidad, soldabilidad y durabilidad. Estas propiedades son fundamentales para el diseño de diferentes aplicaciones en donde este tipo de acero es el elemento portante [26].

#### 4.6.8. Aceros bajo carbono

Son comúnmente llamados aceros dulces. Poseen porcentajes de carbono menores a 0.25%. Estos aceros son dúctiles, maleables, altamente maquinables, soldables y no templables. Los aceros con bajo contenido de carbono usualmente se emplean en la fabricación de perfiles estructurales, alambres, tornillos, varillas y barras [19].

#### 4.6.9. Aceros medio carbono

Contienen entre 0.25 y 0.55% de contenido de carbono. Presentan mayor dureza y resistencia que los aceros bajo carbono. Se destacan por tener buena aceptación de cierto grado de temple. Son comúnmente utilizados para fabricar maquinas, resortes, engranajes, herramientas de agricultura y vías ferroviarias [19].

#### 4.6.10. Aceros alto carbono

Contienen entre 0.55 y 1.4% de carbono. Estos son los más duros y resistentes que los de bajo y mediano porcentajes de carbono, poseen buena composición para ser templados. Las aplicaciones de este tipo de acero se producen en la fabricación de herramientas de corte como brocas, cintas de sierra, discos de arado, cuchillas de torno, limas y yunques. [19]

### 4.7. Caracterización de un acero

Es posible establecer las diferentes propiedades que tienen los aceros, mediante diferentes pruebas se pueden clasificar según sus características mecánicas, químicas y estructurales. Dichas pruebas en conjunto permiten caracterizar un acero, además, se puede emitir una validación o no para una posible aplicación, ya que esta debe tener unos requerimientos mínimos para cumplir a cabalidad con la aplicación.

#### 4.7.1. Caracterización estructural

Mediante la caracterización estructural es posible conocer y cuantificar las fases presentes en el acero como la ferrita, perlita, austenita, cementita o martensita. Conocer dichas fases me permite tener un panorama del acero, debido a que estas fases están relacionadas con las propiedades químicas y mecánicas de los aceros, además de que dan información sobre el tratamiento térmico al que se sometió el acero durante su proceso de fabricación. Este tipo de información es posible obtenerse mediante microscopía óptica o microscopio electrónica de barrido (SEM) [12].

##### 4.7.1.1. Microscopía óptica

Permite conocer la microestructura de una muestra mediante la interacción de un haz de fotones. Mediante la magnificación de los oculares a través de lentes – objetivos. Mediante un sistema mecánico que permite el movimiento para el enfoque y un sistema óptico compuesto por un conjunto de lentes se puede observar la microestructura de un objetivo al interaccionar con un haz de luz [27].



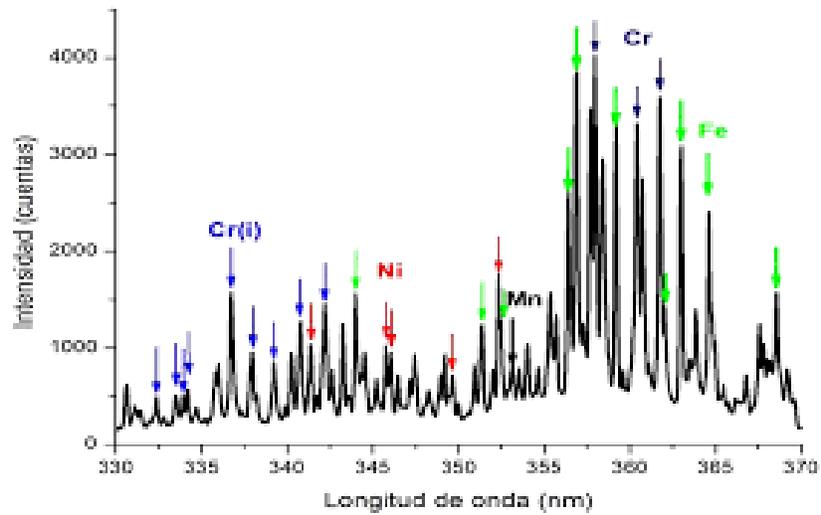
**Figura 9. Microscopio óptico. Científotécnicos. (2020).**

#### 4.7.2. Caracterización química

La caracterización química de un acero tiene una gran importancia, debido a que esta permite asignar o no una aplicación específica a una determinada referencia de acero, ya que debemos conocer la composición de hierro, carbono, manganeso, fósforo, níquel, azufre, cromo y demás elementos que pueden afectar las propiedades mecánicas del acero, variaciones en la composición química del acero implican una gran variedad de grados del acero y sus propiedades debido a que cada componente que es añadido al acero tiene algún efecto en las propiedades del acero y cómo reacciona dicho material a los procesos de fabricación. Para obtener la composición química de un acero encontramos diferentes técnicas como la espectrometría de emisión óptica (OES), difracción de rayos X (DRX), fluorescencia de rayos X (FRX), entre otras. Otra propiedad química importante es la resistencia a la corrosión, está estrechamente relacionada con la composición química [13].

##### 4.7.2.1. Espectrometría de emisión óptica

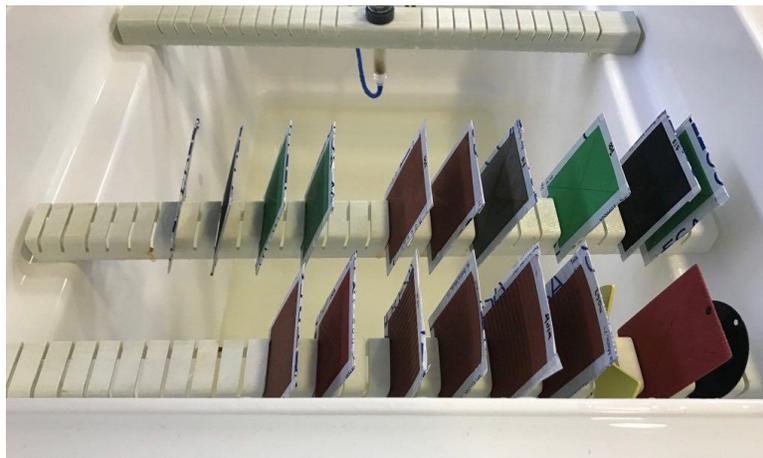
Esta técnica realiza un análisis químico para representar el espectro de sustancias químicas. Este utiliza una descarga de energía extremadamente alta para encender un plasma en una atmósfera de argón, la emisión de la luz resultante se cuantifica en un sistema óptico, donde se descomponen en sus componentes espectrales individuales. Este método permite la identificación de todos los metales y no metales. La detección de no metales como carbono, azufre, oxígeno, fósforo o el nitrógeno presentan una gran ventaja en comparación a otros métodos analíticos [28].



**Figura 10. Espectro de emisión óptica de un acero. Mörke, P. (2017).**

#### 4.7.2.2. Cámara salina

Para conocer el deterioro de diferentes materiales en ambientes severos se realizan pruebas de cámara de niebla salina y de esta forma establecer el ciclo de vida de estos. Los ensayos en cámara salina en los aceros son empleados para analizar la corrosión que estos puedan presentar en ambientes químicamente activos, ya que en dichas cámaras se crea un ambiente salino con humedades altas, este tipo de ensayos están bajo la norma ASTM B117. Se estima que por cada 10 horas de cámara salina el material podrá durar 1 año en servicio aproximadamente, aunque esta relación no es necesariamente exacta debido a que hay muchas condiciones que pueden variar en el ambiente de trabajo del material que puedan hacer que este se deteriore con mayor o menor velocidad [29][30].



**Figura 11. Ensayo en cámara de niebla salina. Sumatec. (2019).**

### 4.7.3. Caracterización mecánica

Los aceros durante su funcionamiento en diferentes aplicaciones son sometidos a esfuerzos mecánicos importantes, por esto es indispensable conocer la capacidad de un acero para soportar dichos esfuerzos. Mediante diferentes pruebas se pueden determinar las propiedades mecánicas de un acero, ensayos de dureza que permiten conocer la resistencia que ofrece el acero a ser penetrado o rayado, ensayos de tracción que permiten conocer parámetros como resistencia elástica, resistencia última y plasticidad al ser sometidos a esfuerzos uniaxiales, tensión de cizalladura y coeficiente de poisson. También podemos encontrar otros tipos de ensayos mecánicos como la prueba de chispa, pruebas de cizalladura, ensayo de compresión, ensayo de flexión, entre otras [14][36].

#### 4.7.3.1. Ensayo de tracción

Este ensayo pone a prueba diferentes propiedades mecánicas que tienen los materiales cuando se someten a esfuerzos. Este es el ensayo fundamental en cuanto a propiedades mecánicas de un material se refiere, ya que es simple y barato, además se encuentran totalmente normalizados. Para el caso de los aceros, la norma ASTM A370. En un ensayo de tracción básicamente se somete el material a un esfuerzo de tracción uniaxial hasta la ruptura del material, de esto se obtiene una curva de esfuerzo – deformación de la cual se puede extraer información como esfuerzo último, esfuerzo de fluencia, estricción, ductilidad, elasticidad, plasticidad y el porcentaje de deformación. Con esta información es posible saber si un material es apto o no para una aplicación específica [31][32].

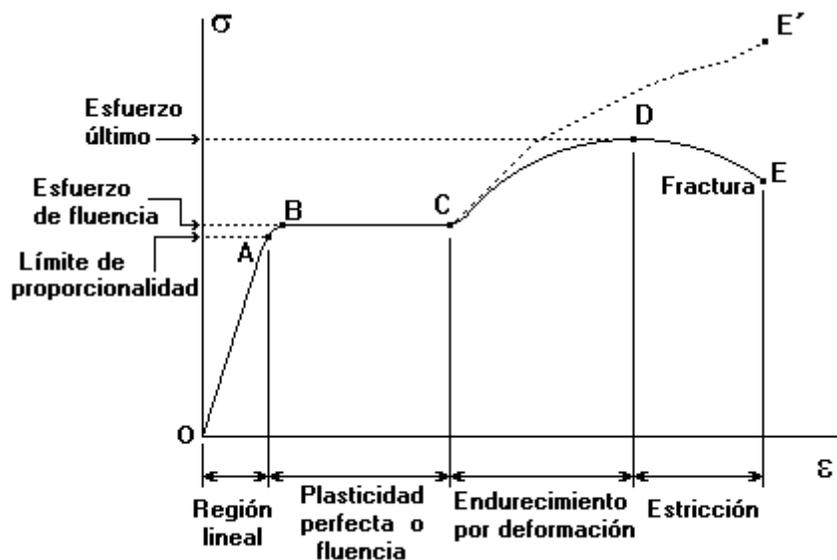


Figura 12. Curva esfuerzo – deformación. Areatecnologia.com (2015).

#### 4.7.3.1.1. Esfuerzo normal

Es la cantidad de fuerza por unidad de área actuando en dirección normal. Matemáticamente se puede expresar como:

##### Ecuación 1

$$\sigma = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta F_n}{\Delta A}$$

#### 4.7.3.1.2. Esfuerzo último

Esfuerzo máximo que se le puede aplicar al material, aparece en la curva de esfuerzo – deformación en el punto más alto y ocurre justo antes que el material falle [33].

##### Ecuación 2

$$\sigma_r = \frac{F_{m\acute{a}x}}{A_0}$$

#### 4.7.3.1.3. Esfuerzo de fluencia

Es el esfuerzo máximo que se puede aplicar a un material sin causar una deformación plástica. Este esfuerzo exhibe en el material una deformación permanente y es una aproximación del límite elástico [34].

#### 4.7.3.1.4. Límite de proporcionalidad

Valor del esfuerzo por debajo del cual el alargamiento es proporcional a la carga aplicada. Normalmente no es necesario determinarlo. [34].

#### 4.7.3.1.5. Límite de fluencia

Valor del esfuerzo que soporta el material en el momento de presentarse la fluencia. Tiene lugar entre la transición de la zona elástica y plástica, se caracteriza por un rápido incremento de la deformación sin aumento de la carga aplicada [34].

#### 4.7.3.1.6. Estricción

Reducción de la sección que se produce en la zona de la rotura. Sucede a partir del esfuerzo último, esto se debe a que una vez se forma el cuello en la probeta debido a localización del esfuerzo aplicado [31][34].

#### 4.7.3.1.7. Zona plástica

En esta zona los alargamientos o deformaciones del material son permanentes, es decir, una vez retirado la carga aplicada sobre el material, se recupera el alargamiento elástico, pero quedara un alargamiento remanente que se conoce como deformación plástica [31].

#### 4.7.3.1.8. Zona elástica

La relación entre el esfuerzo aplicado y la deformación es lineal, es decir, una vez se retira la carga al material este se recupera elásticamente, la ley de Hooke se cumple en esta zona del ensayo, más allá de esta zona la deformación en el material es permanente [31][35].

#### Ecuación 3

$$\sigma_r = E \cdot e$$

#### 4.7.3.1.9. Límite de elasticidad

Es el esfuerzo aplicado donde el material no recupera totalmente su forma original, una vez es retirado el esfuerzo el material conservara una deformación residual [31].

#### 4.7.3.1.10. Ductilidad

La ductilidad de un material es posible calcularla mediante un ensayo de tracción. Con la medida del porcentaje de reducción del área, analizando el comportamiento del material se podría clasificar como frágil o dúctil, dependiendo si el material muestra o no deformación plástica [31].

#### 4.7.3.2. Ensayo de dureza

La dureza de un material es la resistencia que este presenta en su capa superficial para resistir la deformación elástica, plástica o destrucción debido a esfuerzos externos. Esta propiedad de los materiales es evaluada mediante un indentador o penetrador, el cual se le aplica una carga conocida, posteriormente se mide la huella que deja el indentador en el material y se calcula su dureza [35].

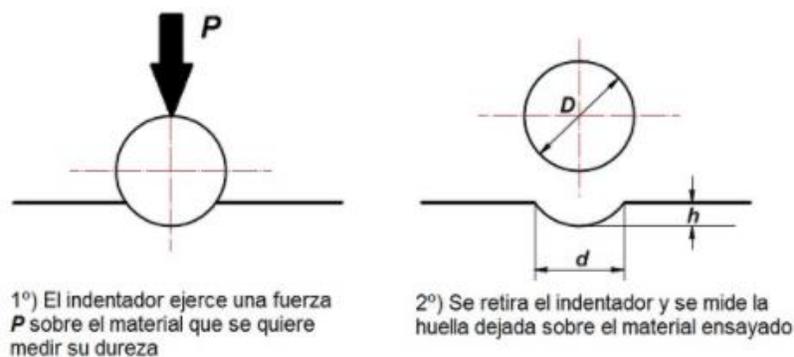


Figura 13. Ensayo de dureza. Fernández, J. (2019).

#### 4.7.3.2.1. Dureza Mohs

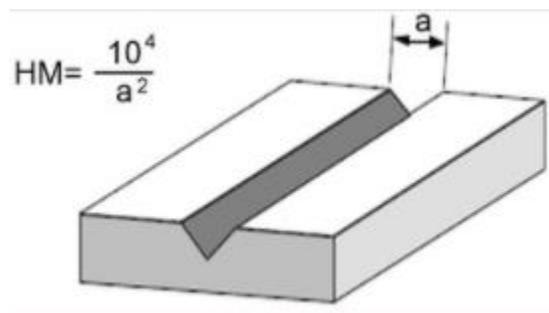
Esta escala fue creada por Friedrich Mohs en 1820, siendo la primera escala de dureza que se creó. Se conoce como la dureza mineralógica, este ensayo consiste en ir rayando una probeta de un material en orden de dureza (Tabla 6), hasta que la probeta se deje rayar [35].

**Tabla 6. Escala Mohs. Fernández, J. (2019).**

Escala Mohs de dureza de los materiales	
Dureza Mohs	Material de Referencia
1	Talco
2	Yeso
3	Calcita
4	Fluorita
5	Apatito
6	Feldespato
7	Cuarzo
8	Topacio
9	Corindón
10	Diamante

#### 4.7.3.2. Dureza Martens

Se conoce como ensayo dinámico por rozamiento. Este fue el primer ensayo normalizado de dureza. Se mide mediante el grado de oposición que un material ofrece al ser rayado por un diamante en forma piramidal, base cuadrada y con un ángulo en el vértice de 90°. Para conocer la dureza del material se mide el área de la raya dejado por la punta de diamante bajo una carga determinada y constante [35].



**Figura 14. Dureza Martens. Fernández, J. (2019).**

#### 4.7.3.3. Dureza Brinell

Es un método para medir la dureza de los materiales, para esto se emplea una maquina llamada durómetro, la cual contiene una bola de acero templado extraduro de un diámetro conocido (D), la cual se le aplica una carga (P) durante un tiempo (t) dado. Posteriormente se mide el tamaño de la huella de diámetro (d) dejada por la esfera de acero y como resultado conoceremos la dureza Brinell (HB) de un material [35].

Diámetro de la huella  $d$  (mm)

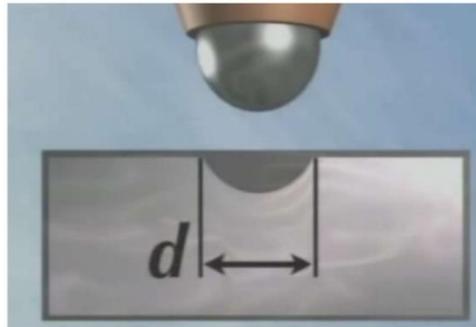


Figura 15. Indentador Brinell. Fernández, J. (2019).

#### 4.7.3.4. Dureza Vickers

Este ensayo está diseñado para materiales muy duros, con valores superiores a 500 HB. Este ensayo se considera una mejora del ensayo Brinell, ya que permite ensayar materiales con superficies no planas y delgadas. Para la dureza Vickers se emplea un indentador piramidal de diamante de base cuadrada cuyas caras laterales forman un ángulo de  $136^\circ$ , este deja una huella cuadrada sobre el material, por esta razón es más fácil de medir [35].

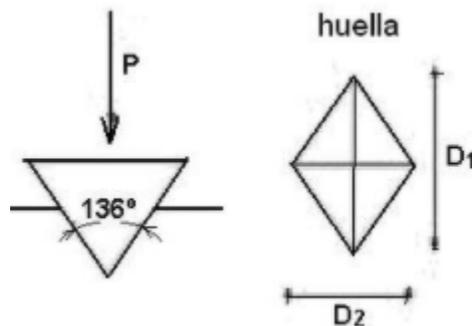


Figura 16. Indentador Vickers. Fernández, J. (2019).

#### 4.7.3.5. Dureza Rockwell

Es el método más extendido ya que se obtiene por medición directa y es apto para cualquier tipo de materiales. Al igual que en los otros métodos, se mide la huella dejada por el indentador con una carga determinada en el material de prueba.

Se tendrá que:

- Para materiales duros ( $HB > 200$ ): se empleará un indentador de diamante en forma de cono de  $120^\circ$  de punta redondeada.
- Para materiales blandos ( $HB < 200$ ): se empleará un indentador de bola de acero templado.

Existen diferentes escalas de dureza Rockwell, dependiendo del material a ensayar se debe elegir el indentador y la carga a aplicar (Tabla 7) [35].

**Tabla 7. Escala Rockwell. Fernández, J. (2019).**

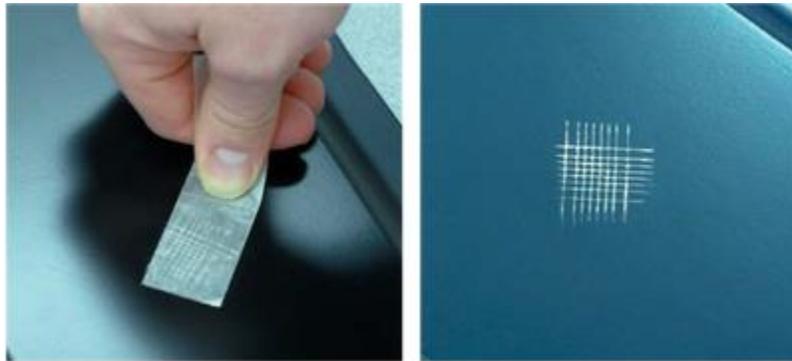
Escalas de dureza Rockwell			
Símbolo de la escala	Indentador	Carga Principal (kp)	Aplicaciones
A	Diamante	60	Aceros tratados y sin tratar. Materiales muy duros. Chapas duras y delgadas.
B	Esfera de 1/16"	100	Aceros recocidos y normalizados.
C	Diamante	150	Aceros tratados térmicamente.
D	Diamante	100	Aceros cementados.
E	Esfera de 1/8"	100	Metales blandos y antifricción.
F	Esfera de 1/16"	60	Bronce recocido.
G	Esfera de 1/16"	150	Bronce fosforoso y otros materiales.
H	Esfera de 1/8"	60	Metales blandos con poca homogeneidad, fundiciones con base hierro.
K	Esfera de 1/8"	150	Aplicaciones análogas al tipo anterior.
15N	Diamante	15	Aceros nitrurados, cementados y herramientas de gran dureza.
30N	Diamante	30	Aplicaciones análogas al tipo anterior.
45N	Diamante	45	Aplicaciones análogas al tipo anterior.
15T	Bola de 1/16"	15	Bronce, latón y aceros blandos.
30T	Bola de 1/16"	30	Bronce, latón y aceros blandos.
45T	Bola de 1/16"	45	Bronce, latón y aceros blandos.
15W	Bola de 1/8"	15	Bronce, latón y aceros blandos.
30W	Bola de 1/8"	30	Bronce, latón y aceros blandos.
45W	Bola de 1/8"	45	Bronce, latón y aceros blandos.

#### 4.7.4. Caracterización de recubrimientos sobre un acero

En la industria es común encontrar aceros recubiertos por una película polimérica, ya sea para mejorar la apariencia estética de la lámina o para protegerla de agentes externos que puedan oxidar la lámina de acero. Comprobar la calidad de los recubrimientos es de vital importancia, debido a que dicha película de protección debe cumplir con unos requerimientos mínimos para poder ser empleados en una aplicación específica ya que la interfase entre el adhesivo y el sustrato debe ser un parámetro que debe considerarse con gran importancia durante el diseño del material. Existen ensayos a los recubrimientos como resistencia al impacto directo, adherencia a cuadrícula, brillo Gardner, entre otras.

#### 4.7.4.1. Adherencia a cuadrícula

La adherencia por cuadrícula es un ensayo que se emplea para cuantificar la adherencia de un material sobre un sustrato. Esta bajo norma ASTM D3359, consiste en realizar una cuadrícula con un cortador de trama cruzada en la película hasta el sustrato, posteriormente se usa una cinta especial que se aplica sobre el área de la cuadrícula, luego, se retira de forma rápida y se observa la cantidad de recubrimiento levantada por la cinta de prueba [37][38].



**Figura 17. Ensayo de adherencia a cuadrícula. Neurtek.com. (2020).**

#### 4.7.4.2. Resistencia al impacto

Con una prueba de resistencia al impacto se puede conocer la elasticidad y resistencia a la deformación de un recubrimiento, estas son propiedades fundamentales para diseñar un material, la capacidad de una película de absorber deformaciones sin romper la interfase con el sustrato es de vital importancia en la industria. Mediante la norma ASTM D2794 es posible realizar ensayos para la evaluación de las propiedades mencionadas a películas y determinar la calidad de estas. Mediante un impactómetro es posible realizar los diferentes ensayos de resistencia al impacto a diferentes recubrimientos [39][40].



**Figura 18. Impactómetro. Neurtek.com. (2020).**

### 4.8. Producción del acero

La industria del acero a nivel mundial está en continuo crecimiento, para el 2018 se incrementó la producción 4.7% frente al 2017 llegando a 1.789 millones de toneladas a nivel mundial, donde China se registró como el mayor productor mundial con el 6.9% del total (927 millones de toneladas).

Latinoamérica presentó en el 2018 un crecimiento en la producción del acero crudo del 1% con respecto al 2017, en donde Colombia ocupó el 4° puesto (1.234 toneladas), igualmente ocupó la misma casilla en la producción de aceros laminados (1.649 toneladas), el segundo lugar como importador de aceros laminados con un incremento del 13% más que el 2017 (2.487 toneladas) y el 4° lugar en exportaciones de aceros laminados con un crecimiento del 3% más que el 2017 (81 toneladas), por lo que la industria siderúrgica ocupa un lugar muy importante en la economía colombiana con un 10.56% del PIB industrial y se proyecta a seguir aumentando en los próximos años [15].

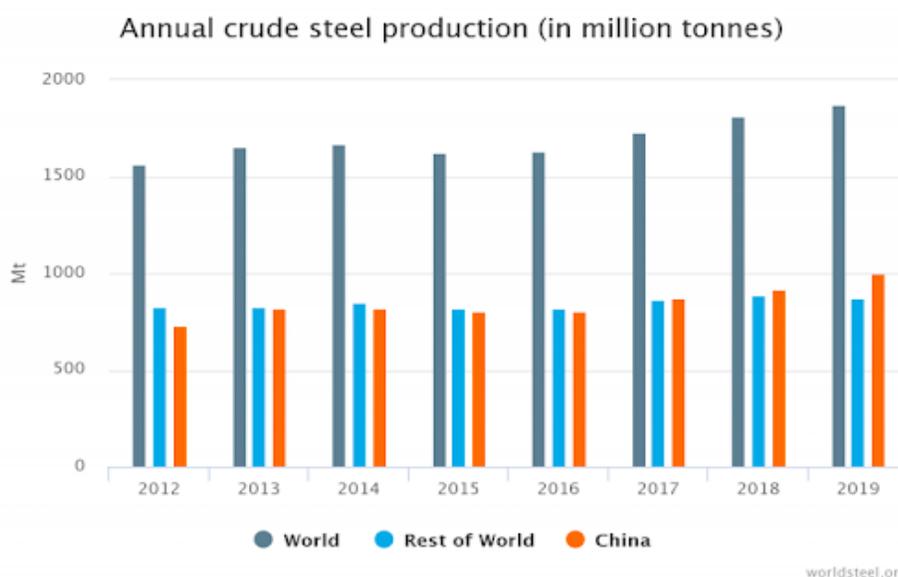


Figura 19. Producción mundial de acero. Comité colombiano de productores de acero - ANDI. (2019).

## 5. METODOLOGIA

- 5.1. Revisión bibliográfica: la revisión bibliográfica permite dar un panorama sobre las variables y posibles ensayos que se pueden realizar a los aceros en la industria, de tal forma que esta revisión se realizó de manera permanente durante todo el proyecto.
- 5.2. Revisión y detalle de información de aceros en Industrias Haceb: se recopiló toda la información que se tenía en la compañía sobre los aceros que se están trabajando y de esta forma hacer un Pareto que ayude a enfocarse en los problemas de Calidad. La ficha técnica, el plan de control y demás requerimientos sobre la trazabilidad del material son de vital importancia para el aseguramiento de la Calidad.

- 5.3. Caracterización química: una vez se obtuvo la información de las láminas que mayor novedad presentan durante el procesamiento, se procedió a incluir en el protocolo la ruta para evaluar la composición química mediante un análisis de espectrometría de emisión óptica (OES), de esta forma obtener la composición química de los aceros proporcionados por los proveedores.
- 5.4. Caracterización mecánica: una vez se obtuvo filtrada la información de las láminas que mayor novedad presentan durante el procesamiento, se procedió a incluir en el protocolo las pruebas de ensayo de dureza, tracción y compresión, de esta forma obtener un panorama de las propiedades mecánicas de los aceros proporcionados por los diferentes proveedores.
- 5.5. Caracterización microestructural: una vez se obtuvo filtrada la información de las láminas que mayor novedad presentan durante el procesamiento, se procedió a incluir en el protocolo la ruta para la realización de metalografías para observar la microestructura y fases presentes, las cuales están relacionadas con las propiedades químicas y mecánicas de los aceros, además del estudio de inclusiones que se presentaban continuamente incrustadas en las bobinas proporcionados por los proveedores de esta forma contribuir al aseguramiento de calidad.
- 5.6. Diseño de procedimiento: una vez se analizó la información obtenida y se propusieron las rutas para realizar la caracterización mecánica, química y estructural se diseñó un procedimiento que permitirá esclarecer la calidad de los aceros y si es necesario aplicar correctivos internos en las condiciones de procesamiento o efectuar reclamaciones a los proveedores si no se cumple con los requisitos técnicos aceptados por Haceb.
- 5.7. Entrega del protocolo: se entregó el protocolo al área de Calidad de industrias Haceb, para una posterior revisión y socialización entre las personas involucradas en la recepción y distribución en las diferentes áreas de la planta que se emplea el acero, de esta forma se aseguró que las personas encargadas de esta área conocieran el protocolo para el aseguramiento de calidad de dicha materia prima.

## **6. PROTOCOLO**

El protocolo se diseñó con el fin de realizar el aseguramiento de calidad de los aceros empleados en los procesos de manufactura, para el diseño se empleó una metodología que fuese lo suficientemente clara y detallada, que permitiera contemplar todas las posibles variables que pudieran surgir al momento de conocer la forma, en la cual se iba a corroborar la calidad de los aceros proporcionados por los diferentes proveedores. Para esto se priorizo que la ruta a seguir dependiendo del tipo de acero se pudiera observar claramente y reconocer las pruebas a las que se debe someter dicho material, con esto se pretende dar un uso más práctico al protocolo.

### **6.1. Metodología**

Inicialmente para realizar el control de calidad es necesario aplicar un primer filtro, de esta forma se direccionará el procedimiento hacia las pruebas pertinentes según sea el caso. Los códigos internos de Haceb con los que se referencian las diferentes materias primas serán ese primer paso para comenzar con el aseguramiento de calidad.

Mediante el código de la materia prima podremos obtener información sobre el tipo de acero que está suministrando los diferentes proveedores, posteriormente revisar las fichas técnicas del material internas de la compañía para verificar información que permita conocer específicamente que requerimientos mecánicos, químicos y microestructurales debe poseer dicho acero.

Para todas las referencias de acero, es importante conocer dos pruebas fundamentales, las cuales serían la composición química y los ensayos mecánicos; ambas pruebas deben ser aplicadas a todas las láminas de acero, flejes o blancos que ingresen a la empresa, la importancia de estas pruebas es vital en el aseguramiento de calidad, ya que estas permiten conocer la calidad de un acero.

### **6.2. Justificación**

Durante el año 2020 Industrias Haceb consumió aproximadamente 5500 toneladas de acero en sus procesos de fabricación, lo que implica más de 41 mil millones de pesos únicamente en la compra de esta materia prima fundamental en el desarrollo de los procesos de manufactura de todos sus productos. Este volumen de consumo implica unos costos de adquisición bastante elevados, por lo tanto, es necesario generar un control para el aseguramiento de calidad de los aceros, con esto se pretende reducir los costos asociados a materias primas de mala calidad que generan pérdidas para la compañía.

Para el diseño del protocolo es necesario considerar una serie de ensayos que pongan a prueba la calidad de los aceros, por esto, hacer un filtro de las pruebas a realizar según las necesidades de la empresa es fundamental para direccionar los ensayos de tal forma que la información obtenida sea del mayor beneficio posible para la empresa. El protocolo para el aseguramiento de calidad fue diseñado ajustándose a los parámetros y las necesidades que presenta la compañía, por esto,

basándose en la caracterización de los aceros que se emplean en los productos de manufactura (Fig. 20) se seleccionaron las pruebas que se debían realizar.

En industrias Haceb existen fichas técnicas para hacer un control de las características de las diferentes materias primas, en el caso de los aceros existen fichas técnicas donde se especifican una serie de características necesarias para que dicha materia prima pueda ser empleada en los diferentes procesos de fabricación de productos marca Haceb.

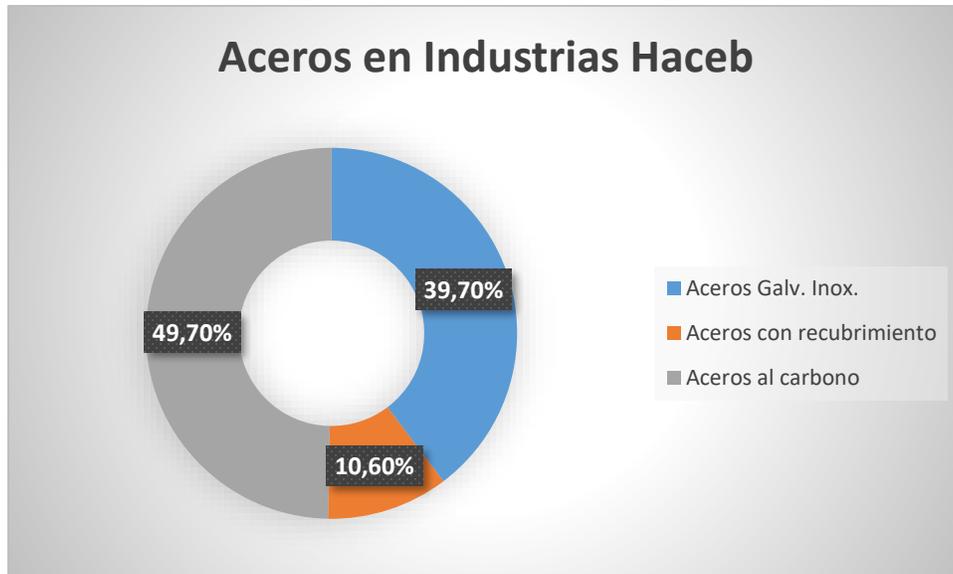
En general, para comprobar la calidad de una lámina de acero existen pruebas fundamentales como la evaluación de las propiedades mecánicas y la composición química. Estas son pruebas necesarias para conocer si un tipo de acero es apto o no para una aplicación específica en una primera instancia.

Un ensayo de tracción evalúa las propiedades mecánicas de un acero, entre las que destacan esfuerzo de tensión máximo, esfuerzo de tensión en ruptura, esfuerzo de cedencia y deformación máxima. Este ensayo está bajo la norma ASTM A27/A27M, con esto se garantiza que la prueba tenga la mayor reproducibilidad y repetibilidad posible. Otra característica muy relevante en los aceros es la dureza, esta propiedad tiene un papel muy importante en las posibles aplicaciones en las que se pueda emplear, esta se realiza bajo la norma ASTM E92.

Es necesario realizar un ensayo para conocer la composición química de un acero, al igual que las propiedades mecánicas, la composición química requerida se encuentra en la ficha técnica. La composición química de un acero tiene vital importancia en la calidad de este, con esto se puede generar un panorama sobre las propiedades y características que va a tener este material. Existen varios métodos para conocer la composición química de un acero, entre estas cabe resaltar la técnica de espectrometría de emisión óptica por su rapidez y exactitud.

Para los procesos de manufactura en industrias Haceb se emplean diferentes referencias de aceros, entre ellas cabe destacar un grupo importante, los aceros inoxidables y los aceros galvanizados ya que representaron el 39.7% del total de los aceros adquiridos durante el año 2020, por lo tanto, es importante considerar pruebas adicionales para estas referencias para comprobar su elevada capacidad de resistir a la corrosión. Un ensayo en cámara salina nos permitirá conocer el comportamiento que tendrá el acero frente a un ambiente agresivo que podría comprometer la calidad del material. En las fichas técnicas de los aceros de este tipo en Haceb tienen reportados los requerimientos que deben superar en pruebas de cámara salina los materiales que van a ser empleados en la compañía.

Otro grupo para considerar, son una serie de aceros que vienen con una película que recubre la superficie de la lámina, estas representan el 10.6% del total de los aceros adquiridos en el año 2020 para los diferentes procesos de manufactura. Es necesario comprobar la calidad de esta película, es importante considerar que los ensayos mecánicos a los que se sometieron las láminas de acero prueban la calidad de la lámina de acero, pero no son suficientes para conocer las propiedades mecánicas del recubrimiento, para esto es necesario realizar unos ensayos que puedan dar la información requerida para establecer la calidad de la película. Entre dichas pruebas encontramos un ensayo de adherencia en cuadrícula y un ensayo de resistencia al impacto, con esto se podría verificar la calidad del recubrimiento que poseen las láminas de acero.



**Figura 20. Tipos de acero empleados en Industrias Hacerb**

Para el diseño del protocolo también es importante considerar las novedades que surgen durante el procesamiento, tales alteraciones es necesario considerarlas debido a que estas son las que marcan los ritmos de producción efectiva.

Se analizaron y posteriormente se clasificaron las novedades que surgieron en la planta asociadas a problemas con las láminas de acero, se revisaron las que más se presentaban y se asociaban a posibles fallas en las propiedades y requerimientos de los aceros. Se pudieron identificar 4 familias de novedades que se presentaban continuamente.

1. Problemas por fallas mecánicas como revientes de láminas y daño a los herramientas.
2. Inclusiones o impurezas en la lámina.
3. Oxidación de las láminas.
4. Problemas de desprendimiento o reviente de las películas que recubren las láminas de acero.

Teniendo en cuenta las novedades más frecuentes, las fichas técnicas internas de Hacerb y los requerimientos necesarios para el aseguramiento de calidad de las láminas de acero en las diferentes referencias empleadas en los procesos de manufactura, se procedió a realizar el protocolo para que las pruebas se realicen con la mayor reproducibilidad y repetibilidad posible, además, con todos los requerimientos técnicos necesarios.

#### 6.2.1. Ensayos mecánicos.

Para realizar los ensayos mecánicos se realizarán dos pruebas, el ensayo de tracción y el ensayo de dureza. Estas pruebas nos brindaran la información que posteriormente se podrá contrastar con los requerimientos dispuestos en las fichas técnicas en el apartado "Propiedades mecánicas". Es

importante conocer los ensayos a realizar para poder preparar las muestras de forma adecuada para que el ensayo se ajuste a la norma técnica que le corresponda.

Las novedades asociadas a incumplimiento de las propiedades mecánicas son diversas; incluyen daños a los herramientales, problemas en las piezas mecanizadas como grietas o fracturas y defectos asociados a la inestabilidad de las piezas en el producto final.

#### 6.2.1.1. Ensayo de tracción.

Con este ensayo es posible conocer algunas propiedades mecánicas (Tabla 9), están son de gran importancia para verificar que el tipo de acero suministrado por el proveedor este cumpliendo con los estándares de calidad necesarios para los procesos de manufactura de la compañía. El ensayo de tracción se hace bajo la norma técnica ASTM A370, en la cual están las consideraciones necesarias para la preparación de la muestra y las condiciones de ensayo.

**Tabla 8. Propiedades mecánicas en ensayo de tracción**

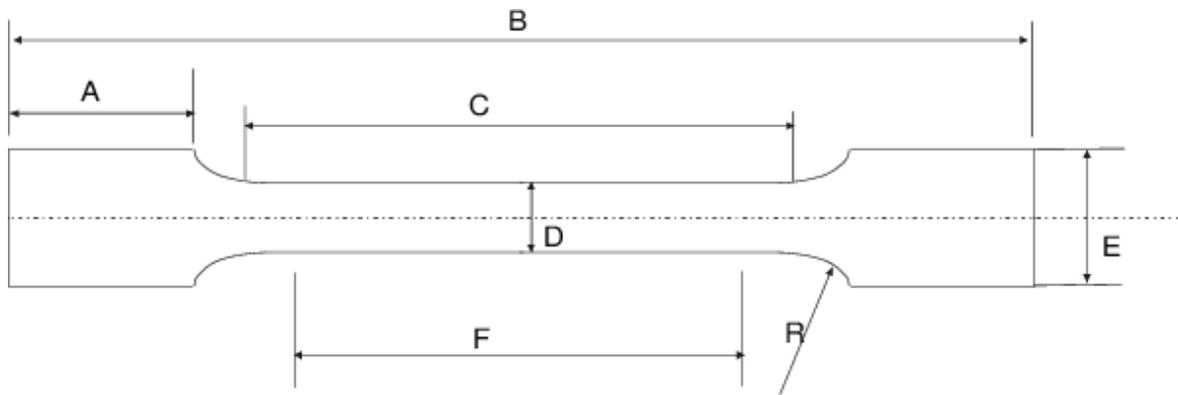
	Parámetro ITM	Parámetro HACEB
Propiedades Mecánicas	Esfuerzo de tensión máximo (Mpa)	Resistencia a la tracción (Mpa)
	Esfuerzo de tensión en cedencia (Mpa)	Límite de fluencia (Mpa)
	Porcentaje de deformación máximo (%)	Elongación (%)

Se deben reconocer las propiedades mecánicas que nos permite conocer el ensayo, tanto en el informe proporcionado por el laboratorio encargado y las fichas técnicas internas de Haceb emplean una forma diferente de nombrar los parámetros, pero se debe identificar la debida correspondencia al momento de identificar los parámetros, dicha relación en los parámetros se puede observar en la tabla 1.

#### 6.2.1.1.1. Preparación de la muestra para un ensayo de tracción.

Para un ensayo de tracción es necesario fabricar una probeta con una geometría específica (Figura 19), para ello se empleará como material de fabricación una lámina de acero que puede provenir de una bobina, un blanco o un fleje; posteriormente se cortan mediante CNC ubicada moldes y troqueles pertenecientes al área de I+D.

Es importante tener en cuenta que se deben fabricar 6 probetas, que son el número de probetas acordado con el laboratorio para realizar el procedimiento y la sección transversal de la probeta será el calibre de la lámina.



**Figura 21. Probeta estándar para ensayo de tracción. Areatecnologia.com. (2015).**

Donde:

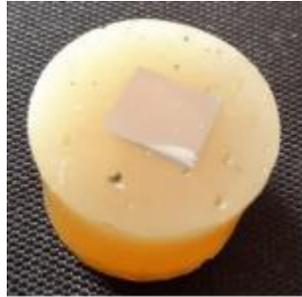
- A: 50 mm
- B: 200 mm
- C: 60mm
- D: 12.5 (+/- 0.25) mm
- E: 20 mm
- F: 50.0 (+/- 0.010) mm
- R: 13 mm (radio)

#### 6.2.1.2. Ensayo de dureza.

Mediante este ensayo es posible conocer la dureza de un material, la cual es una propiedad fundamental para los procesos de manufactura donde se emplea el acero como materia prima, este ensayo está bajo la norma ASTM E92, allí están contemplados los parámetros necesarios que se deben considerar el ensayo. En las fichas técnicas internas de Haceb para los aceros se reporta la dureza en la escala Rockwell B (HRB), en el laboratorio se emplea un indentador Vickers, por lo tanto, se debe emplear una tabla de correlaciones entre ambas durezas; en el informe de dicho ensayo el laboratorio proporcionará la conversión pertinente a la escala empleada por Haceb y de esta forma se facilitará la lectura del informe.

##### 6.2.1.2.1. Preparación de la muestra para el ensayo de dureza.

Para este ensayo, la muestra puede ser obtenida de retales de la fabricación de la probeta para el ensayo de tracción, debido a que solo se necesita una probeta rectangular de 1 cm x 1cm, la cual será preparada por el laboratorio que realiza el ensayo, por lo tanto, se les debe proporcionar los retales para que fabriquen la geometría deseada y el montaje de la muestra para el ensayo.



**Figura 22. Muestra para ensayo de dureza. Fernández, J. (2019).**

#### 6.2.1.3. Ruta de entrega para realización de ensayos mecánicos.

Para la realización de los ensayos de tracción y dureza se harán en el laboratorio de polímeros del ITM, las muestras deben ser entregadas en la portería del campus fraternidad, ubicado en la dirección Carrera 31 # 54 - 10, allí se ejecutarán las pruebas y posteriormente se hará entrega vía email de un informe técnico con los resultados, este servicio tendrá una duración aproximada de 7 días hábiles.

#### 6.2.1. Composición química.

Para conocer la calidad de un material es fundamental realizar un ensayo de composición química, ya que conocerla nos permitirá inferir las propiedades de un material. Además, los proveedores entregan un certificado de calidad en el cual proporcionan la composición química del material que entregan, por lo tanto, un ensayo de composición química es indispensable para contrastar los resultados con la información suministrada por los proveedores y de esta forma hacer control de calidad del acero.

##### 6.2.2.1. Preparación de la muestra para ensayo de composición química.

La preparación de la muestra para un ensayo de composición química por espectroscopia de emisión óptica es sencilla, solo es necesario garantizar que la muestra tenga un plano liso y sin deformaciones, ya que los aceros vienen en láminas no se deben hacer un acondicionamiento adicional. Además, la muestra de acero que se va a entregar no debe superar un peso de 50 kilogramos. Por lo demás, no debe tener una geometría exacta para garantizar un ensayo exitoso.

##### 6.2.2.2. Ruta de entrega para la realización del ensayo de composición química.

Para la entrega de la muestra para un ensayo de composición química se harán en el laboratorio de espectrometría de la Universidad de Antioquia, la entrega de la muestra se debe hacer en la portería

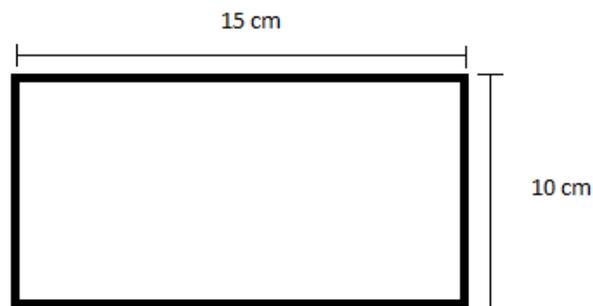
de ferrocarril de la Universidad de Antioquia ubicada en la carrera 53 con la calle 70, allí se ejecutarán las pruebas y se obtendrá posteriormente un informe técnico del ensayo, este servicio tendrá una duración de 2 días hábiles.

### 6.2.3. Ensayo de cámara salina.

Es importante conocer el comportamiento de un acero frente a ambientes agresivos que puedan producir corrosión y, por lo tanto, dañando el material. Este ensayo está bajo la norma ASTM B117, en esta podemos encontrar las consideraciones necesarias para realizar el ensayo. Este ensayo se realizará en el laboratorio acreditado de industrias Haceb.

#### 6.2.3.1. Preparación de la muestra para ensayo de cámara salina.

La preparación de la muestra para un ensayo de cámara salina es necesario que las probetas tengan una geometría rectangular de 10 cm x 15 cm, se debe especificar si es un acero inoxidable o galvánico, debido que la norma ASTM B117 difiere en la disposición que deben tener las muestras durante el ensayo, también deben ser especificadas la cantidad de horas que deben durar las muestras en la cámara de niebla salina, para obtener este parámetro se debe conocer la ficha técnica interna del material, en esta se especifican el número de horas de cámara salina que deben soportar.



**Figura 23. Geometría de probeta para ensayos de cámara salina**

#### 6.2.3.2. Ruta de entrega para ensayo de cámara salina.

La entrega de la muestra se debe hacer al laboratorio acreditado de Haceb ubicado en Copacabana, allí se ejecutará el ensayo y posteriormente se hará entrega de un informe técnico con los resultados de las pruebas, es importante tener en cuenta que los ensayos de cámara salina tienen una duración considerable, puesto que los ensayos pueden llegar a superar incluso más de 500 horas.

#### 6.2.4. Análisis metalográfico.

Un análisis metalográfico nos permite conocer si el material ha sido procesado de la manera correcta, dando así un concepto sobre la calidad de este. Este ensayo es fundamental cuando se presentan novedades como incrustaciones o impurezas en la lámina, mediante una metalografía se puede determinar la naturaleza de la impureza.

##### 6.2.4.1. Preparación de la muestra para análisis metalográfico.

La preparación de la muestra para un análisis metalográfico por espectroscopia de emisión óptica es sencilla, solo es necesario garantizar que la muestra tenga un plano liso y sin deformaciones, ya que los aceros vienen en láminas no se deben hacer un acondicionamiento adicional. Además, la muestra de acero que se va a entregar no debe superar un peso de 50 kilogramos. Dentro del análisis microestructural podemos tener variantes en cuanto a los requerimientos del ensayo como son la medida del tamaño de grano, determinación de la severidad de inclusiones, es importante tener en cuenta que, si el análisis se desea realizar para una región en particular de la muestra, esta deberá ser marcada. Por lo demás, no debe tener una geometría exacta para garantizar un ensayo exitoso.

##### 6.2.4.2. Ruta de entrega para la realización del análisis microestructural.

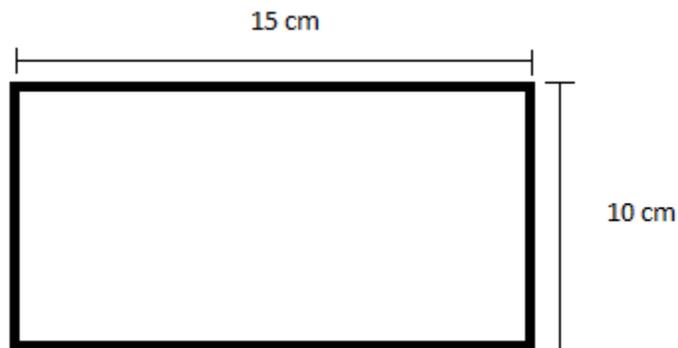
Para la entrega de la muestra para un ensayo de análisis metalográfico se harán en el laboratorio de espectrometría de la Universidad de Antioquia, la entrega de la muestra se debe hacer en la portería de ferrocarril de la Universidad de Antioquia ubicada en la carrera 53 con la calle 70, allí se ejecutarán las pruebas y se obtendrá posteriormente un informe técnico del ensayo, este servicio tendrá una duración de 5 días hábiles.

#### 6.2.5. Ensayos a recubrimientos

Los aceros empleados en industrias Hceb que poseen recubrimientos representan un 10.6% del total, además, la calidad del recubrimiento es una de las principales causas por las cuales se generan novedades en los aceros. En las fichas técnicas también hay requerimientos técnicos para los recubrimientos, las cuales están bajo normas técnicas ASTM D3359 y la D2794, dichas pruebas se realizarán en el laboratorio CIDEMAT de la Universidad de Antioquia.

#### 6.2.5.1. Preparación de la muestra para pruebas a recubrimientos.

La preparación de la muestra para realizar las pruebas de adherencia a cuadrícula y prueba de impacto a los recubrimientos es necesario que las probetas tengan una geometría rectangular de 10 cm x 15 cm, es importante tener en cuenta que se deben realizar dos ensayos diferentes, por lo tanto, se deben entregar mínimo dos probetas para los ensayos. Para tener un resultado más confiable, se recomienda realizar tres repeticiones para cada prueba, de esta forma obtener una mayor confiabilidad estadística.



**Figura 24. Geometría par pruebas a recubrimientos**

#### 6.2.5.2. Ruta de entrega para la realización de pruebas a recubrimientos

Para la entrega de la muestra para las pruebas a recubrimientos en el laboratorio CIDEMAT, el cual está ubicado en la Calle 62 # 52-59, Torre 2, laboratorio 330-331, allí se ejecutarán los ensayos y se entregara un informe técnico con los resultados.

## 7. RESULTADOS Y ANALISIS

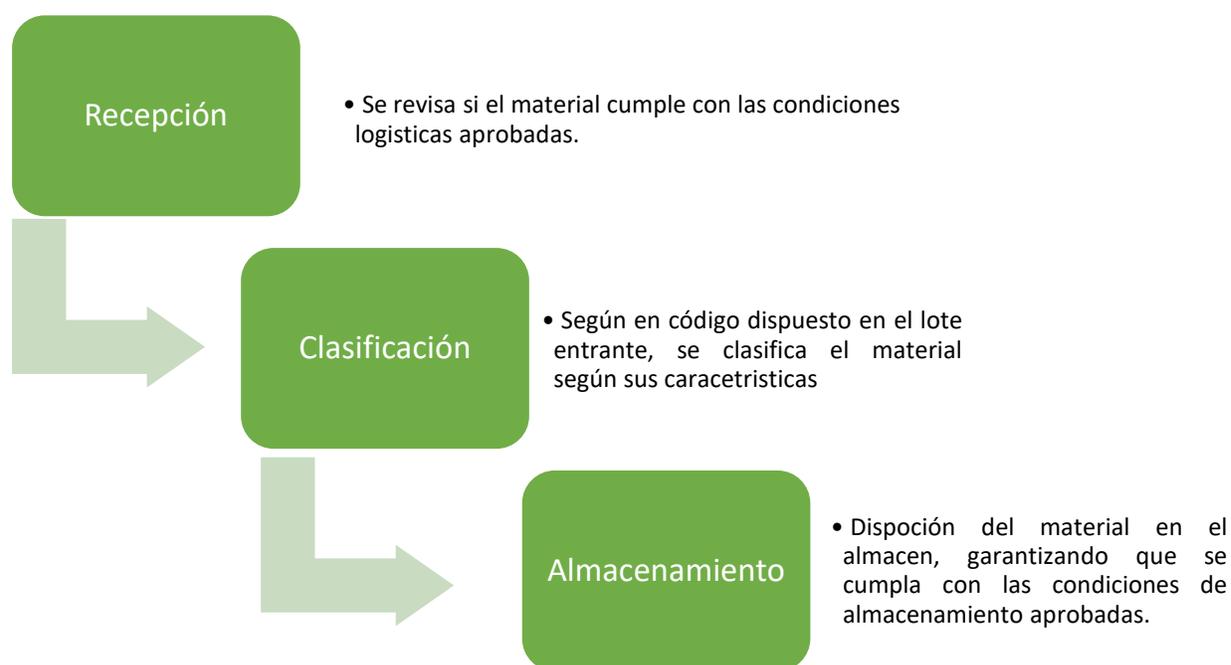
Era importante disponer de un diseño simple que permitiera que cualquier persona siguiendo instrucciones básicas pudiera llevar a cabo las pruebas necesarias para comprobar que la calidad del acero suministrado por los proveedores si cumple con los requerimientos técnicos de Haceb. Para lograr esto, es necesario disponer de una ruta práctica que se ajuste a las dinámicas de la compañía, desde las personas encargadas de la recepción y a su vez de la clasificación de los materiales, hasta las personas encargadas de revisar y efectuar el control de calidad a las materias primas que ingresan a la compañía.

El área de Calidad de entrada tiene a su cargo la recepción de materiales, esta área se encarga de coordinar el ingreso de los diferentes materiales a la compañía. Haceb dispone de códigos internos de materiales, es importante aclarar que dichos códigos ya vienen dispuestos en los diferentes lotes

de materia prima desde el proveedor, con esto se busca que al momento de recepcionar el material en el muelle de recepción el operario pueda verificar el código, mediante esta operación es posible conocer el tipo de material y las características de este, con esto se controla la correcta disposición y almacenamiento de los materiales. En el caso de los aceros, los diferentes proveedores proporcionan aceros en bobinas y posteriormente se clasifican según 3 clases conocidas, las cuales son:

- Inoxidables y galvanicos
- Aceros al carbono
- Aceros con películas protectoras

Los pasos a seguir una vez se tiene el material en el muelle de recepción se pueden sintetizar en el siguiente diagrama.



**Figura 25. Diagrama de recepción de materiales en Haceb.**

La metodología empleada en la recepción del material se considera como adecuada y, por lo tanto, no es necesario realizar intervenciones u observaciones en el diseño del protocolo, entendiendo esto, el protocolo debe ser dirigido al área de Calidad responsable por la revisión y ejecución de los diferentes ensayos para asegurar la calidad de los materiales.

Las personas responsables de que efectuar los diferentes criterios de aceptación de materiales, no ejecutaban previo a este trabajo ningún control de calidad a los aceros, debido a que en la empresa

no cuentan con los equipos y el conocimiento para efectuar ensayos técnicos. Se realizaron capacitaciones para que las personas involucradas en la evaluación de calidad de los aceros tuvieran conocimiento sobre los tipos de acero y las diferentes ensayos a los que se podrían someter, pero, dejando claro que dichas pruebas debían ajustarse a la información que contenían las fichas técnicas asociadas a los códigos internos de Haceb para los aceros para posteriormente tener informes técnicos que finalmente serían herramientas para efectuar posibles reclamaciones a los proveedores por concepto de materias primas no conformes.

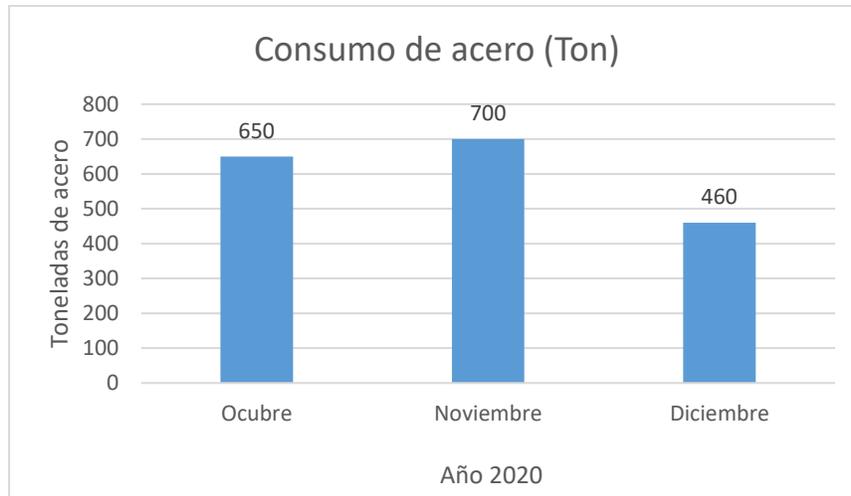
Previo al protocolo que se presenta en este trabajo, los aceros que ingresaban en industrias Haceb no eran sometidos a ninguna prueba técnica para determinar el cumplimiento de sus especificaciones, en caso tal que existiera una novedad en la línea de producción asociada a los aceros, estos eran devueltos al almacén por un largo tiempo y posteriormente se desechaban como residuos de manufactura, esto implicaba sobre costos en la producción.

Los ensayos que se seleccionaron para el aseguramiento de calidad en este protocolo fueron en base a la información en la ficha técnica de los aceros, posteriormente se registraron los respectivos laboratorios acreditados que pudieran ejecutar las pruebas. Una vez se obtuvo la lista de los laboratorios se procedió a solicitar las cotizaciones y finalmente la selección de los laboratorios que serían los que tendrían a cargo la realización de las pruebas.

Se entablaron reuniones con las personas a cargo de los diferentes laboratorios, con el fin de que indicaran las condiciones logísticas en las que debían ser entregadas las muestras, tiempo de duración de los ensayos y la información que contiene el respectivo informe técnico.

Una vez se tenían seleccionados los laboratorios y se aprobaron por parte de los directivos del área de calidad, se acordó entre todas las partes involucradas que dicho protocolo para el aseguramiento de calidad de los aceros debía ser empelado no solo de forma reactiva frente a las diferentes novedades que surgían en la planta, este debía ser ejecutado de forma preventiva, por lo tanto, los costos derivados de las diferentes pruebas debían ser enviados al área de Negociación de industrias Haceb, esto con el fin de que se incluyera el costo promedio anual del aseguramiento preventivo de la calidad de los aceros en el presupuesto anual de la compañía.

Posteriormente, se analizaron las toneladas de acero que consumió la compañía en los últimos tres meses del año 2020 (Fig. 26), teniendo en cuenta esta variable se determinó que el número mínimo de pruebas a realizar de forma preventiva cada mes serían 10 ensayos, la selección de las muestras quedaba a cargo del área que evaluar y controlar la calidad de las diferentes materias prima que ingresan en la compañía, estos harían uso de un muestreo aleatorio con los protocolos internos de la empresa.



**Figura 26. Consumo de acero en toneladas en Haceb.**

Finalmente, se redactó un protocolo detallado que sintetizaba todo lo relacionado al aseguramiento de calidad de los aceros de Haceb, esto incluía normas técnicas para desarrollar los ensayos, geometría de la probeta, número de probeta, condiciones logísticas y rutas de entrega de las muestras en el respectivo laboratorio para que se dispusiera en la biblioteca de procedimientos interno del área de Calidad.

Para las personas del área operativa encargadas de realizar la evaluación de la calidad del acero, se les proporcionó una tabla y un diagrama, de los cuales podrían visualizar y clasificar de forma rápida, según el tipo de acero y tener un panorama de los pasos a seguir para someter a evaluación las propiedades mecánicas, químicas y estructurales de los aceros proporcionados por los diferentes proveedores.

En la capacitación realizada al momento de entregar el Protocolo de aseguramiento de calidad de aceros se hizo la observación de que las muestras seleccionadas para prácticas los diferentes ensayos deben ser enviadas al área de Mecánica, debido a que allí se encontraba la cortadora CNC con los parámetros ya establecidos para generar las probetas con la geometría que fuese necesaria para el ensayo. Para esto desde Calidad debían indicar el tipo de ensayo para que el operario del equipo empleado reconociera la geometría que debía generar.

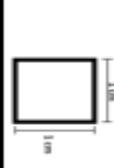
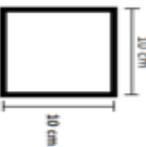
Nota: Por políticas de privacidad, desde el área de mecánica no permiten adjuntar datos relevantes sobre la cortadora CNC.

En los entregables mencionados al equipo de Calidad, primero tenemos una tabla (Tabla 9), en la que podemos obtener información de gran relevancia para realizar el ensayo, ya que a partir de la clasificación del acero inicial desde la recepción del material es posible conocer las propiedades que se van a evaluar, la geometría, el laboratorio, la dirección en la que debe ser entregadas las muestras y la norma técnica asociada al ensayo. Cabe resaltar que al momento de entregar dicha tabla al equipo de Calidad responsable de evaluar la calidad de los materiales resaltaron la facilidad para

entender la información depositada en la tabla en mención y que simplificaba el acceso a la información técnica necesaria.

El diagrama de flujo del protocolo para el aseguramiento de calidad (Fig. 27), se entregó en una versión impresa en policarbonato, esto con el fin de darle durabilidad, posteriormente se dispuso en la oficina de Calidad de Entrada, en este lugar están permanentemente ingresando las personas encargadas de realizar el aseguramiento de calidad de los aceros. Este fue recibido de forma asertiva, ya que permitía rápidamente realizar un panorama de la ruta a seguir para realizar la verificación del cumplimiento de calidad, el cual se complementa de la mejor manera con la Tabla referente al Aseguramiento de calidad.

Tabla 9. Aseguramiento de calidad de aceros

ASEGURAMIENTO DE CALIDAD DE ACEROS						
	Clase	Requerimientos para realizar el ensayo	Propiedades a evaluar	Geometría de la probeta	Laboratorio	Norma
PROPIEDADES MECÁNICAS	Ensayo de tracción	Todos los aceros 6 probetas	Resistencia a la tracción (Mpa) Límite de fluencia (Mpa) Elongación (%)		Laboratorio de polímeros del ITM Cra 31 # 54 - 10	ASTM A370
	Dureza	Todos los aceros 1 probeta	Dureza Rockwell B		Laboratorio de polímeros del ITM Cra 31 # 54 - 10	ASTM E 92
PROPIEDADES QUÍMICAS	Cámara salina	Aceros inoxidables Aceros galvanizados	Ensayos en cámara de niebla salina Algunos ensayos superan las 500 horas		Laboratorio acreditado Industrias Hacoeb	ASTM B 117
	Composición química	Todos los aceros 1 probeta	Espectroscopia de emisión óptica		Laboratorio de espectrometría Entre la Cra. 53 con la Cl. 70 Portería ferrocarril Universidad de Antioquia	N/A
ANÁLISIS ESTRUCTURAL	Microestructura	Todos los aceros 1 probeta	Análisis microestructural Inclusiones o impurezas Fases presentes		Laboratorio de espectrometría Entre la Cra. 53 con la Cl. 70 Portería ferrocarril Universidad de Antioquia	N/A
	Adherencia a cuadrícula	Aceros que presenten un recubrimiento 5 probetas	Adherencia del recubrimiento al sustrato		Laboratorio CIDEMAT Cl#62 # 52 - 59	ASTM D3359
PRUEBAS A RECUBRIMIENTOS	Resistencia al impacto	Aceros que presenten un recubrimiento 5 probetas	Elasticidad y resistencia a la deformación del recubrimiento		Laboratorio CIDEMAT Cl#62 # 52 - 59	ASTM D2794

# ASEGURAMIENTO DE CALIDAD DE ACEROS

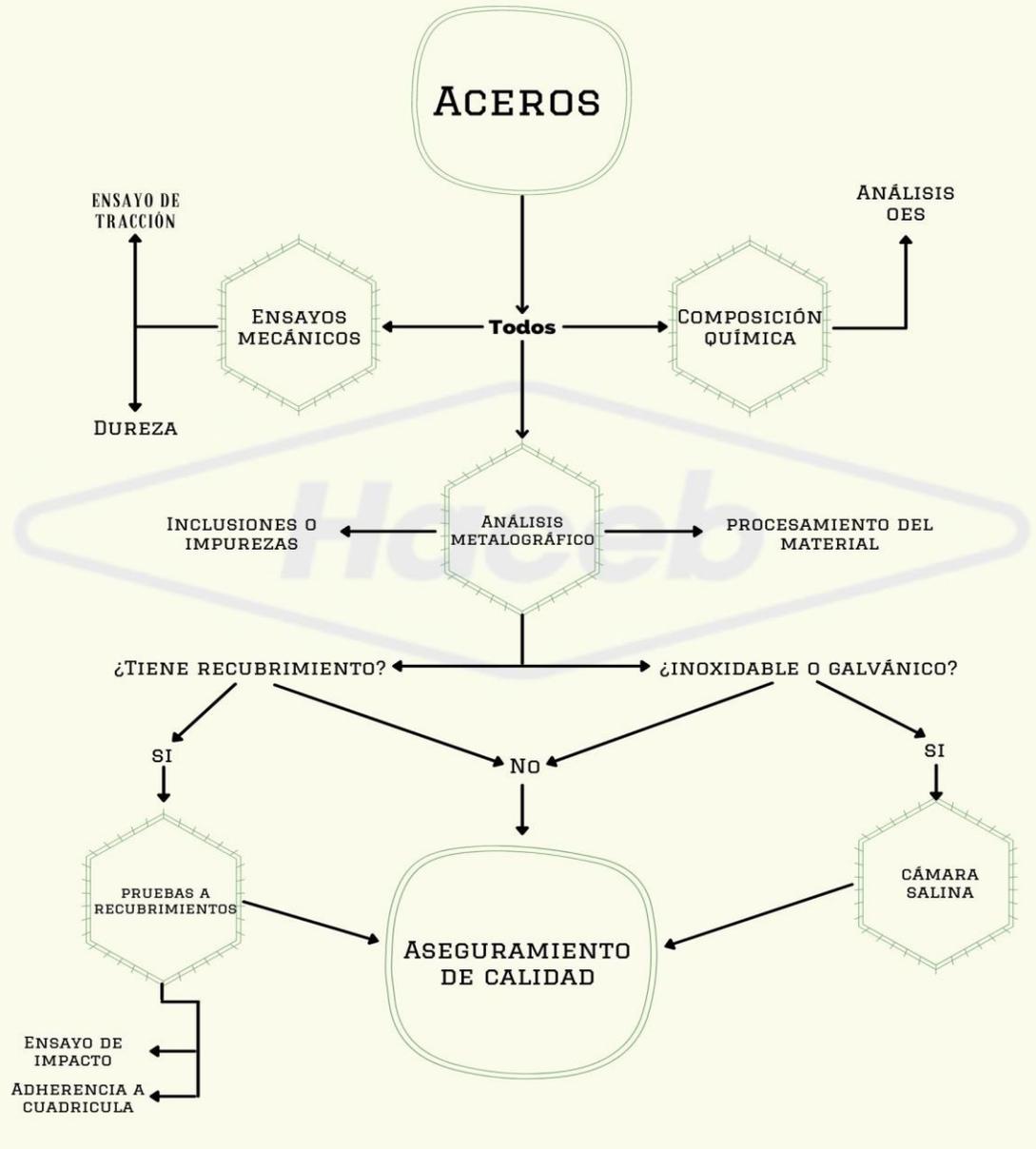


Figura 27. Diagrama de flujo del aseguramiento de calidad de aceros

Al finalizar el semestre de industria, el protocolo no había logrado conseguir el aval por parte del área de negociación, por lo tanto, no fue posible poner en funcionamiento el protocolo, esto genera incumpliendo de los objetivos planteados en este trabajo, por esto el protocolo se limita a el diseño y en espera de su futura ejecución.

## **8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

- Conocer la calidad de un acero es fundamental para los procesos de fabricación y de esta forma lograr un alto estándar de calidad de los productos de la marca Haceb.
- Para el aseguramiento de calidad de los aceros se recomienda realizar las pruebas mencionadas en este texto, es indispensable dirigir las pruebas de tal forma que se pueda contrastar con las fichas técnicas de Haceb, de esta forma poder ser objeto de reclamación en caso tal que alguna prueba arroje como resultado una inconformidad por el no cumplimiento de los requerimientos exigidos para todos los procesos de manufactura.
- Las pruebas para el aseguramiento de calidad de los aceros deben aplicarse no solo a las referencias que presenten novedades en los procesos de manufactura, también deben aplicarse a los diferentes lotes de dicho material que entren a la fábrica, empleando un control de calidad de forma preventiva que permitirá reducir la probabilidad de que ingresen a la planta materiales que no cumplan con los requerimientos necesarios.
- Un control preventivo para el aseguramiento de calidad de los aceros tiene como objetivo reducir los costos asociados a productos de mala calidad, ya sea por su mal funcionamiento, reducción de vida útil que posteriormente se transforman en reclamaciones y una pérdida en el mercado de clientes en la industria de línea blanca.

## 7. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1] *Haceb - Conoce nuestra compañía y servicio*. Haceb.com. (2020). Retrieved 10 October 2020, from <https://www.haceb.com/institucional/empresa>.
- [2] Torres Búa, M. (2014). 4.2.- *Metales ferrosos | Materiales de uso técnico*. Edu.xunta.gal. Retrieved 18 October 2020, from [https://www.edu.xunta.gal/espazoAbalar/sites/espazoAbalar/files/datos/1464947174/contido/42\\_metales\\_ferrosos.html](https://www.edu.xunta.gal/espazoAbalar/sites/espazoAbalar/files/datos/1464947174/contido/42_metales_ferrosos.html).
- [3] *Proceso de fabricación del acero*. Upcommons.upc.edu. (2020). Retrieved 18 October 2020, from <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/3319/55868-7.pdf?sequence=7&isAllowed=y>.
- [4] Maldonado Flores, J. (1996). *Aceros y sus aplicaciones*. Eprints.uanl.mx. Retrieved 19 October 2020, from <http://eprints.uanl.mx/421/1/1020118272.PDF>.
- [5] *Proceso de Fabricación del Acero ¿Cómo se Hace?*. Areatecnologia.com. (2020). Retrieved 18 October 2020, from <https://www.areatecnologia.com/videos/ACERO.htm>.
- [6] *Clasificación de los Aceros*. Ingemecanica.com. (2015). Retrieved 17 October 2020, from <https://ingemecanica.com/tutorialesemanal/tutorialn101.html>.
- [7] Investigación, G., (COPAC), C., CarE-Service, P., Predoctoral, O., materiales, I. (2020). *Consejo superior de investigaciones metalúrgicas*. Cenim.csic.es. Retrieved 19 October 2020, from <http://www.cenim.csic.es/index.php>.
- [8] UNE-EN. (2017). "UNE-EN10027-1, Designation systems for steels - Part 1: Steel names", From <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma/?Tipo=N&c=N0057838>
- [9] UNE-EN. "UNE-EN 10020, DEFINITION AND CLASSIFICATION OF GRADES OF STEEL.", UNE-EN, 2001
- [10] ASTM A27 / A27M-20, "Standard Specification for Steel Castings, Carbon, for General Application", ASTM International, West Conshohocken, 2020.
- [11] *AISI: American Iron and Steel Institute | Steel Industry News, Public Policy, Statistical & Production Resources*. Steel.org. (2020). Retrieved 21 October 2020, from <https://www.steel.org/>.
- [12] Metalografía. (2011), 17(1989-4023), 1-6. Retrieved 7 November 2020, from <https://www.feandalucia.ccoo.es/docu/p5sd8732.pdf>.
- [13] Skoog, D.A., West, D.M. *Análisis Instrumental*. Madrid : Mc Graw Hill (2001)
- [14] Aguilar Shafer, J. (2013). *Pruebas mecánicas*. Biblio3.url.edu.gt. Retrieved 7 November 2020, from [http://biblio3.url.edu.gt/Libros/2013/pro\\_ma/16.pdf](http://biblio3.url.edu.gt/Libros/2013/pro_ma/16.pdf).
- [15] Comité colombiano de productores de acero - ANDI. (2019). *Informe del sector siderúrgico* (pp. 12- 15). Bogotá, Colombia: Informe del sector siderúrgico. Retrieved from

- [16] *INFOACERO - Producción de Arrabio*. Infoacero.cl. (2000). Retrieved 15 November 2020, from <https://www.infoacero.cl/acero/parrabio.htm>.
- [17] Torres Búa, M. (2014). *Horno alto | Materiales de uso técnico*. Edu.xunta.gal. Retrieved 17 November 2020, from [https://www.edu.xunta.gal/espazoAbalar/sites/espazoAbalar/files/datos/1464947174/contido/422\\_horno\\_alto.html](https://www.edu.xunta.gal/espazoAbalar/sites/espazoAbalar/files/datos/1464947174/contido/422_horno_alto.html).
- [18] Prensa, S. (2019). *La demanda mundial de acero seguirá creciendo en 2020 aunque a un ritmo más moderado | Sala de Prensa CESCE*. Retrieved 16 November 2020, from <http://www.saladeprensacesce.com/la-demanda-mundial-acero-seguira-creciendo-2020-aunque-ritmo-mas-moderado/>.
- [19] Universidad De la Plata. (2015). *Soldadura*. Unlp.edu.ar. Retrieved 17 November 2020, from <https://unlp.edu.ar/frontend/media/73/27873/03be3424af308bf57bee6ac2aa169171.pdf>.
- [20] Torre, F. (2015). *Diagrama Hierro - Carbono - CONOCER LOS MATERIALES*. Retrieved 19 November 2020, from <https://sites.google.com/site/conocerlosmateriales/diagrama-hierro---carbono>
- [21] *Detalles de un material muy particular, el acero Corten - Infocorrosión*. Infocorrosion.com. (2017). Retrieved 20 November 2020, from <https://infocorrosion.com/index.php/infocorrosion-vip/infocorrosion-recomienda/item/725-detalles-de-un-material-muy-particular-el-acero-corten>.
- [22] *TIPOS DE ACERO*. Tecnologiautrillas.ftp.catedu.es. (2014). Retrieved 22 November 2020, from <http://tecnologiautrillas.ftp.catedu.es/materiales/web4.htm>.
- [23] *Acero galvanizado*. (2020). Retrieved 25 November 2020, from <https://curiosoando.com/que-es-el-acero-galvanizado>.
- [24] *Clasificación de los aceros inoxidables*. Bonnet.es. (2020). Retrieved 27 November 2020, from <http://www.bonnet.es/clasificacionacerinox.pdf>.
- [25] *Acero Laminado en Caliente vs en Frío*. Reliance Foundry Co. Ltd. (2020). Retrieved 29 November 2020, from <https://www.reliance-foundry.com/blog/acero-laminado-frio-vs-caliente-es#gref>.
- [26] Montajes, C. (2020). *Propiedades del Acero Estructural*. Montajes, Ingeniería y Construcción. MIC SAS. Estructuras Metálicas en Bogotá, Colombia. Retrieved 30 November 2020, from <https://www.estructurasmetalicascolombia.com/estructuras-metalicas/propiedades-del-acero-estructural>.
- [27] *Microscopía óptica*. Servicios Cientifotécnicos. (2020). Retrieved 2 December 2020, from <https://sct.uib.es/Instruments-i-equipis-dels-Serveis-Cientificotecnics/Area-de-microscopia-optica-i-electronica/Microscopia-optica.cid108042>.
- [28] Mörke, P. (2017). *Espectrometría de emisión óptica OES - LIMS*. Fink & Partner GmbH. Retrieved 5 December 2020, from <https://www.fp-lims.com/es/metodo-de-medicion/espectrometria-de-chispa/>.

- [29] *Como comprobar la vida útil de un metal en una cámara salina*. Sumatec. (2019). Retrieved 5 December 2020, from <https://sumatec.co/pruebas-de-corrosion-en-una-camara-salina/>.
- [30] ASTM B117, "Standard Practice for Operating Salt Spray (Fog) Apparatus", ASTM International, West Conshohocken, 2020.
- [31] *Ensayo de Tracción. Ensayo, Grafica, Formulas, Problemas..* Areatecnologia.com. (2015). Retrieved 8 December 2020, from <https://www.areatecnologia.com/materiales/ensayo-de-traccion.html>.
- [32] ASTM A370, "Métodos de prueba estándar y definiciones para pruebas mecánicas de productos de acero", ASTM International, West Conshohocken, 2020.
- [33] Escuela de Ingeniería mecánica, U. (2016). *Mecánica de materiales*. Ula.ve. Retrieved 8 December 2020, from [http://www.ula.ve/facultad-ingenieria/images/mecanica/Mecanica\\_Materiales/I/Tema1.pdf](http://www.ula.ve/facultad-ingenieria/images/mecanica/Mecanica_Materiales/I/Tema1.pdf).
- [34] *Esfuerzo de fluencia*. Instron.us. (2020). Retrieved 10 December 2020, from <https://www.instron.us/es-es/our-company/library/glossary/y/yield-strength#:~:text=Indicaci%C3%B3n%20del%20esfuerzo%20m%C3%A1ximo%20que,aproximaci%C3%B3n%20pr%C3%A1ctica%20de%20l%C3%ADmite%20el%C3%A1stico>.
- [35] Fernández, J. (2019). *Ley de Hooke*. Fisicalab.com. Retrieved 10 December 2020, from <https://www.fisicalab.com/apartado/ley-hooke>.
- [36] *Coefficiente de Poisson;*. Instron.us. (2020). Retrieved 10 December 2020, from <https://www.instron.us/es-es/our-company/library/glossary/p/poissons-ratio>.
- [37] *Ensayos de Adherencia de recubrimiento y métodos de prueba*. Neurtek.com. (2020). Retrieved 10 December 2020, from <https://www.neurtek.com/es/academia/pinturas-y-recubrimientos/ensayos-de-adherencia-de-recubrimiento-y-metodos-de-prueba>.
- [38] ASTM D3359, "Standard Test Methods for Rating Adhesion by Tape Test", ASTM.
- [39] *Ensayo de impacto - Impactómetro para Pintura*. Neurtek.com. (2020). Retrieved 10 December 2020, from <https://www.neurtek.com/es/pintura-recubrimientos/impactometro-pintura>.
- [40] ASTM D2794, "Standard Test Method for Resistance of Organic Coatings to the Effects of Rapid Deformation (Impact)", ASTM International, West Conshohocken, 2019.
- [41] Restrepo Parra, E. and Segura Giraldo, B., 2002. CARACTERIZACIÓN DE RECUBRIMIENTOS UTILIZANDO LA TÉCNICA OES. *Revista Colombiana de Física*, (1).
- [42] Va Larre, R. (2010). *Macrografías - Estructuras del acero*. Retrieved 20 January 2021, from [https://www.frro.utn.edu.ar/repositorio/catedras/mecanica/5\\_anio/metalografia/5-\\_Estructuras\\_del\\_acero\\_v2.pdf](https://www.frro.utn.edu.ar/repositorio/catedras/mecanica/5_anio/metalografia/5-_Estructuras_del_acero_v2.pdf)

## 8. AVAL ASESOR INTERNO Y EXTERNO

Juan Marcelo Rojas Arango

Asesor interno

UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA

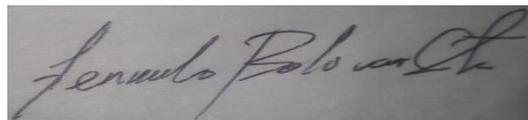


Firma del asesor interno

Fernando de Jesús Bolívar Castaño

Asesor externo

HACEB



Firma del asesor externo