

**DESARROLLO DE UN PLAN DE MEJORAMIENTO DEL PROCESO DE
ENCOFRADO METÁLICO EN EL DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE LA
EMPRESA FORMADCOL**

NÉSTOR FABIÁN CARVAJAL SANTOS

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISCOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA METALÚRGICA Y CIENCIA DE MATERIALES
BUCARAMANGA**

2019

**DESARROLLO DE UN PLAN DE MEJORAMIENTO DEL PROCESO DE
ENCOFRADO METÁLICO EN EL DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE LA
EMPRESA FORMADCOL**

NÉSTOR FABIÁN CARVAJAL SANTOS

**Trabajo de grado (modalidad, práctica empresarial) para optar al título de
Ingeniero Metalúrgico**

**DIRECTOR
MSC. CARLOS ANDRÉS GALÁN PINILLA
Magister en Ingeniería de Materiales**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISCOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA METALÚRGICA Y CIENCIA DE MATERIALES
BUCARAMANGA
2019**

DEDICATORIA

A Dios por darme tantas bendiciones y sabiduría para afrontar todos los retos propuestos en esta etapa de mi vida.

A mi madre Martha Santos, mi heroína y ejemplo a seguir; quien con su incondicionalidad, amor y comprensión me ha guiado cada día de este proceso y me ha enseñado que con pasión y disciplina se consiguen hacer realidad los sueños. A ella le debo todo.

A los hermanos que la vida me dio: Elsa, Sofía y Julián, quienes han sido mi apoyo en los momentos más difíciles y me acompañaron con sus palabras de aliento en este proceso; razón para agradecer a Dios por ponerlos en mi camino.

A mis padrinos, Elvia y Hugo, mis segundos padres, en los cuales siempre encontraré amor, consejos y un ejemplo a seguir.

A mi familia por su apoyo incesante y muestras de amor hacia mí, a todos les estoy muy agradecido.

A mis mejores amigos: Verónica, Tania, Camila, Jessica y Sergio que siempre estuvieron ahí con su generosidad y complicidad, aportando a mi crecimiento personal y profesional.

Y a todas las personas que de una u otra manera contribuyeron en el desarrollo y culminación de esta etapa de mi vida; ¡gracias!

Néstor

AGRADECIMIENTOS

A mi director de proyecto el Ingeniero Carlos Andrés Galán, por su calidez humana, y el aporte de sus conocimientos y experiencia de manera íntegra en pro de mi aprendizaje como profesional y de mi crecimiento como persona.

A mi codirector de proyecto, el Ingeniero Gabriel González por su paciencia y contribución a mi proceso dentro de la práctica empresarial en la empresa.

A la empresa Paneles Estructurales SAS – FORMADCOL, por permitir realizar mi práctica empresarial en sus instalaciones y contribuir con mi experiencia en el ámbito laboral.

A la estimada señora Ana, operaria de la empresa, por su ejemplo de resiliencia y berraquera. Agradecido por su paciencia, buena energía y enseñanzas.

A los operarios de la empresa FORMADCOL, quienes me recibieron de la mejor manera y compartieron su conocimiento con toda generosidad. Hicieron de esta práctica una experiencia de gran valor para mí.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	15
1.OBJETIVOS.....	16
OBJETIVO GENERAL.....	16
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	16
2.MARCO TEÓRICO.....	17
2.1.ENCOFRADO METÁLICO.....	17
2.2.ACERO EMPLEADO PARA LA FABRICACIÓN DE ENCOFRADO METÁLICO.....	18
2.3.CARACTERIZACIÓN MECÁNICA Y METALOGRAFÍA.....	19
3.METODOLOGÍA EXPERIMENTAL.....	22
3.1.REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	22
3.2.RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN.....	23
3.2.1.Actividad 1: Levantamiento de información.....	23
3.2.2.Actividad 2: Registro en formatos de información.....	25
3.3.EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS MATERIALES.....	25
3.3.1.Actividad 1: Caracterización mecánica a partir de ensayos de tracción.	25

3.3.2.Actividad 2: Caracterización a partir de ensayo de dureza y metalografía..	26
3.4.ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	26
3.5.ELABORACIÓN DE LA GUÍA TÉCNICA	27
3.6.ELABORACIÓN DEL INFORME FINAL Y SUSTENTACIÓN DE LA PRÁCTICA EMPRESARIAL	28
4.RESULTADOS.....	29
4.1.RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN	29
4.2.CARACTERIZACIÓN MECÁNICA Y METALOGRAFÍA.....	30
4.3 ELABORACIÓN DE LA GUÍA TÉCNICA	34
5.CONCLUSIONES	39
BIBLIOGRAFÍA.....	40
ANEXOS.....	43

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Elementos auxiliares que componen un sistema de encofrado metálico.	17
Figura 2. Esquema de mejora de procesos al implementar una guía técnica.....	21
Figura 3. Esquema metodológico.	22
Figura 4. Máquinas empleadas en la empresa FORMADCOL.	24
Figura 5. Formato de información de procedimientos implementados para el registro de datos de los productos de la empresa.	29
Figura 6. Probeta cilíndrica de acero AISI SAE 1045 Cold-Rolled fracturada luego del ensayo de tracción.	31
Figura 7. Probeta plana de acero A36 Cold-Rolled fracturada luego del ensayo de tracción.	31
Figura 8. Probeta de acero A36 Hot-Rolled fracturada luego del ensayo de tracción.	31
Figura 9. Microestructura a 100x acero A36 cold-rolled. Sección transversal. ...	33
Figura 10. Microestructura a 500x acero A36 cold-rolled. Sección transversal. ...	33
Figura 11. Microestructura a 100x acero A36 hot-rolled. Sección transversal.	33
Figura 12. Microestructura a 500x acero A36 hot-rolled. Sección transversal.	33
Figura 13. Página de la guía técnica donde se muestran las características y los planos del producto, para este caso un Ángulo de 90°.	36

Figura 14. Página de la guía técnica donde se muestran las características y los planos del producto, para este caso un Ángulo de 90° 37

Figura 15. Página de la guía técnica donde se muestran las características y los planos del producto, para este caso un Ángulo de 90° 38

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Resultados análisis propiedades mecánicas.	30
Tabla 2. Valores de dureza para probetas A36.....	32

LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo A. Planos de productos incluidos en la guía técnica.....	43
Anexo B. Formato de información de procedimientos usado en la empresa	44
Anexo C. Diagrama esfuerzo – deformación para probeta acero AISI SAE 1045 Cold-Rolled.	44
Anexo D. Diagrama esfuerzo – deformación para probeta acero A 36 Cold-Rolled	44

RESUMEN

TÍTULO: DESARROLLO DE UN PLAN DE MEJORAMIENTO DEL PROCESO DE ENCOFRADO METÁLICO EN EL DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE LA EMPRESA FORMADCOL*

AUTOR: Néstor Fabián Carvajal Santos**

PALABRAS CLAVES: ENCOFRADO METÁLICO, GUÍA TÉCNICA, PROPIEDADES MECÁNICAS, ETAPAS CRÍTICAS.

DESCRIPCIÓN:

En la actualidad, para las empresas es de gran importancia contar con una guía técnica actualizada la cual contribuya al mejoramiento de la calidad de sus procesos y la optimización de los recursos de los cuales hacen uso. Por consiguiente, en este proyecto se tuvo como propósito desarrollar una mejora en el proceso de producción del encofrado metálico de la empresa Santandereana FORMADCOL, a través del diseño de una guía técnica donde se recopila información sobre los materiales para la fabricación de formaleta metálica y accesorios de encofrado; donde se describen sus propiedades mecánicas y los procesos de fabricación de sus productos, así como sus características técnicas, dimensiones, tiempos de producción, fallas operativas, máquinas usadas y cada una de las actividades que realiza el responsable de ejecutar los procedimientos.

Además, a través del desarrollo de la guía técnica se realizó un análisis con el fin de identificar etapas críticas en los procesos de elaboración de los productos, también se determinaron las actividades donde se presentó desperdicio de material y tiempos muertos, esto, con el propósito de evidenciar ante la empresa las falencias que se presentan en los procesos de fabricación del encofrado metálico para poder definir posibles planes de mejora de producción como análisis económicos y de mercado.

* Práctica Empresarial

** Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de Materiales. Director: Msc. Carlos Andrés Galán Pinilla.

ABSTRACT

TITLE: DEVELOPMENT OF AN IMPROVEMENT PLAN FOR THE METAL FORMWORK PROCESS IN THE DEPARTMENT OF ENGINEERING OF THE FORMADCOL COMPANY *

AUTHOR: Néstor Fabián Carvajal Santos**

KEYWORDS: METAL FORMWORK, TECHNICAL GUIDE, MECHANICAL PROPERTIES, CRITICAL STAGES.

DESCRIPTION:

Nowadays, it is of great importance for companies to have an updated technical guide which contributes to the improvement of the quality of their processes and the optimization of the resources of which they make use. Therefore, the purpose of this project is to develop an improvement in the production process of the metal formwork of the Santander company FORMADCOL, through the design of a technical guide which compiles information on the materials for the manufacture of metal formwork and formwork accessories, which describes their mechanical properties and the manufacturing processes of their products, as well as their technical characteristics, dimensions, production times, operating failures, used machines and each of the activities carried out by the person responsible for executing the procedures.

In addition, through the development of the technical guide an analysis is carried out with the purpose of identifying critical stages in the processes of elaboration of the products, as well as the determination of activities where there is waste of material and dead times, this, with the purpose of evidencing before the company the deficiencies that are presented in the processes of manufacture of the metallic formwork to be able to define possible plans of improvement of production as economic and market analysis.

* Business practice.

** Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de Materiales. Director: Msc. Carlos Andrés Galán Pinilla.

INTRODUCCIÓN: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Formaletas Metálicas de Colombia (FORMADCOL) es una empresa Santandereana líder en la fabricación, alquiler y venta de encofrado metálico para vaciado de concreto. Las formaletas son fabricadas en aceros que aseguran una larga duración facilitando el proceso de encofrado, vaciado y desencofrado; de esta manera se consigue industrializar los procesos y reducir los costos de materiales, desperdicios y mano de obra¹.

Para el desempeño óptimo en el proceso de producción de la empresa FORMADCOL, es de gran importancia conocer y recopilar la información de los materiales usados en la fabricación de formaletas metálicas y accesorios de encofrado metálico que se elaboran en la empresa, así como sus características técnicas, mecánicas y sus respectivos procesos de fabricación. Sin embargo, la empresa no contaba con dicha información y tenía la necesidad de consolidarla en un documento técnico que recopilara los diferentes conceptos y elementos necesarios para el proceso de fabricación de los productos, teniendo en cuenta las etapas complejas, los materiales usados y sus propiedades mecánicas.

Por lo anterior, en la presente práctica empresarial se elaboró una guía técnica a partir de la recolección de información y la evaluación de los materiales y productos; con base en esto se describieron las etapas críticas que se identificaron, que junto con el desarrollo de pruebas mecánicas permitieron cumplir con el objetivo de incorporar una referencia bibliográfica y normativa. Además, se buscó garantizar un mejoramiento al dar a conocer a la empresa las falencias y puntos críticos que existen en la línea de producción, con el propósito de poder proyectar un plan de gestión que incluya factores no abordados en este proyecto como análisis económicos y de mercado.

¹ ARGOS. Formaletas para la construcción con sistemas industrializados [en línea]. Colombia: 360 en concreto, 2013. (Recuperado en 30 Abril 2019) Disponible en <https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/construccion-con-sistemas-industrializados>

1. OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Desarrollar un plan de mejoramiento del proceso de encofrado metálico en el departamento de ingeniería de la empresa FORMADCOL.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

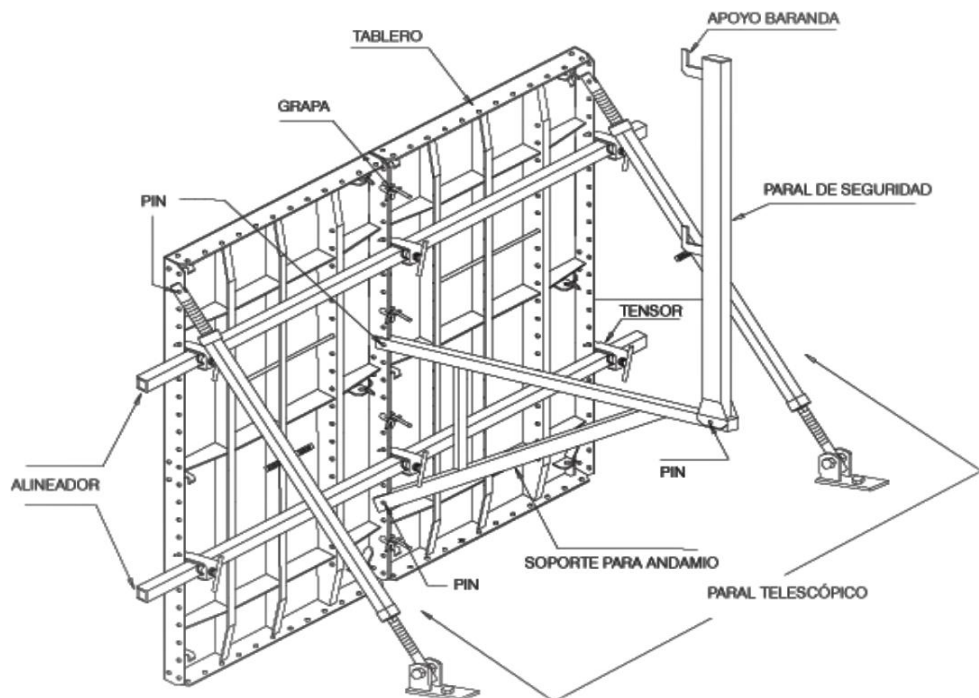
- Elaborar una guía técnica del proceso de producción y las características de los productos elaborados.
- Analizar la información recolectada por registro fotográfico, archivos y documentos de la empresa sobre los productos elaborados y los procesos que se involucran.
- Determinar las propiedades mecánicas de los aceros seleccionados por la empresa para la fabricación de formaletas metálicas.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. ENCOFRADO METÁLICO

El encofrado metálico se puede definir como un sistema de moldes y elementos auxiliares destinados al moldeo de hormigones y concreto, siendo su misión la de contener y soportar el hormigón fresco hasta su endurecimiento, consiguiendo darle una forma deseada sin presentar deformaciones²; estas estructuras son temporales y por lo general son reutilizables y recuperables. En la *Figura 1* se observan los elementos auxiliares del encofrado que permiten soportar las acciones del hormigón fresco.

Figura 1. Elementos auxiliares que componen un sistema de encofrado metálico.



Fuente. METALEX. [En línea] [Consultado el 20 de febrero de 2019] Disponible en <https://www.metalex.com.co/>

² GRIÑAN, José. Encofrados. Barcelona, España: Ediciones CEAC, SA, 1969 p20.

Se debe tener presente que los encofrados deben ser suficientemente herméticos y rígidos para evitar fugas al momento de realizar el vaciado de concreto. Además, debe ser resistente a la abrasión del hormigón y no debe adherirse a este después del fraguado³.

Es importante mencionar que una de las condiciones básicas en el diseño y construcción de encofrados es la seguridad en la fabricación del mismo, ya que se involucran procesos metalmecánicos como: corte, troquelado, doblado, punzonado, cizallado y soldadura⁴; teniendo en cuenta que la mayor parte de los accidentes en obra son ocasionados por la falla del encofrado. Estas se producen principalmente por no considerar la magnitud real de las cargas a las cuales están sometidos; también, por el uso de accesorios de encofrado en mal estado y por procedimientos de fabricación inadecuados.

2.2. ACERO EMPLEADO PARA LA FABRICACIÓN DE ENCOFRADO METÁLICO

En la producción de encofrado metálico se usan aceros que cumplen características y resistencias necesarias para soportar los esfuerzos sometidos en el momento de su uso. El acero estructural A36 es uno de los más usados en la construcción de estructuras metálicas, y es producido en diferentes formas como: planchas, perfiles estructurales, tubos, barras y láminas. Este acero se caracteriza por tener propiedades como: buena resistencia mecánica, ductilidad y buena soldabilidad, es decir, que tiene una composición química que garantiza la fusión del metal base con el metal del electrodo sin la formación de grietas; esta propiedad es de vital importancia ya que los componentes del encofrado metálico deben tener una

³ ARGOS. Formaletas para la construcción con sistemas industrializados [en línea]. Colombia: 360 en concreto, 2013. (Recuperado en 30 Abril 2019) Disponible en <https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/construccion-con-sistemas-industrializados>

⁴ CHAPARRO, S. M. comparación entre formaletas de sistema industrializado. Trabajo de grado Ingeniero Civil. Bogotá: Universidad Distrital Francisco José de Caldas. 2018 Disponible en <http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/7829/1/TorresChaparroSergioMauricio2018.pdf>

soldadura óptima. La medida más común de la soldabilidad es el contenido de carbono (CE) y según *la American Welding Society* (AWS, 2010) para los aceros ASTM A36 la soldabilidad se considera aceptable para su uso en estructuras si el CE es inferior a 0.55%.

De acuerdo a Ternium Colombia⁵, los aceros laminados en frío son una excelente opción al momento de elegir materiales para la fabricación de encofrado metálico y de accesorios para formaletas; estos aceros son fabricados bajo la norma ASTM 424⁶; y el proceso de formado en frío le confiere una mayor aptitud al conformado, soldabilidad, adhesión de pintura y mejores características de superficie. Otra opción adecuada para usar en aplicaciones donde las dimensiones específicas no son cruciales son los aceros laminados en caliente, los cuales son fabricados bajo norma⁷.

2.3. CARACTERIZACIÓN MECÁNICA Y METALOGRAFÍA

Para la evaluación de las propiedades mecánicas de los aceros se llevan a cabo diferentes ensayos que son ampliamente utilizados, ya que a partir de ellos se obtiene una idea de las características mecánicas de los materiales. En primer lugar, tenemos el ensayo de tracción, el cual mide la resistencia mecánica de una probeta sometida a una carga monoaxial. Los resultados de este ensayo permiten encontrar propiedades del acero como: resistencia a la tracción, esfuerzo de fluencia y ductilidad, teniendo en cuenta la norma NTC1920⁸ el control de estas propiedades asegura que los aceros puedan cumplir con sus exigencias en aplicaciones estructurales.

⁵ TERNIUM. Catalogo de soluciones Ternium Colombia [En línea] Bogotá: Ternium Colombia. 2018 (Recuperado 13 Abril de 2019) Disponible en <https://terniumcomprod.blob.core.windows.net/wp-content/2019/02/Catalogo-de-soluciones.pdf>

⁶ ASTM A424/A424M – 18 Especificaciones para el acero esmaltado. ASTM (2018) Disponible en <http://www.astm.org/Standards/A424.htm>

⁷ ASTM A1011/A1011M – 18 a Láminas y flejes de acero, laminados en caliente, al carbono, estructurales, de alta resistencia baja aleación con conformabilidad

⁸ NORMA TÉCNICA COLOMBIANA. NTC 1920. Acero estructural al Carbono. Bogotá, 2017

En segunda instancia tenemos el ensayo de dureza, el cual mide la resistencia que opone un material a ser penetrado por un indentador a una presión determinada. Las medidas de dureza son clave en la mayoría de procedimientos de control de calidad en las empresas metalmeccánicas por la ventaja de ser un método rápido y sencillo. Y, por último, tenemos los ensayos metalográficos, que establecen la estructura metalográfica de los metales y al mismo tiempo los relaciona con las propiedades físicas y mecánicas de los mismos; además el resultado de esta prueba nos permite encontrar los constituyentes, impurezas, inclusiones no metálicas y el tamaño de grano del material ensayado⁹.

2.4 IMPORTANCIA DE LA GUÍA TÉCNICA EN EL MEJORAMIENTO DE PROCESOS

Las guías técnicas según Franklin¹⁰ son documentos que sirven para el mejoramiento de la calidad de los procesos en las empresas y que tienen como propósito llevar dichos procesos a la certificación de calidad. En la *Figura 2* podemos observar las mejoras que pueden tener los procesos en una empresa a partir de la implementación de una guía técnica.

⁹ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA JULIO GARAVITO. Metalografía protocolo. Bogotá: 2011, p13.

¹⁰FRANKLIN, Enrique. Organización de empresas. Análisis, diseño y estructura, México: McGRAW-HILL 1998, p95.

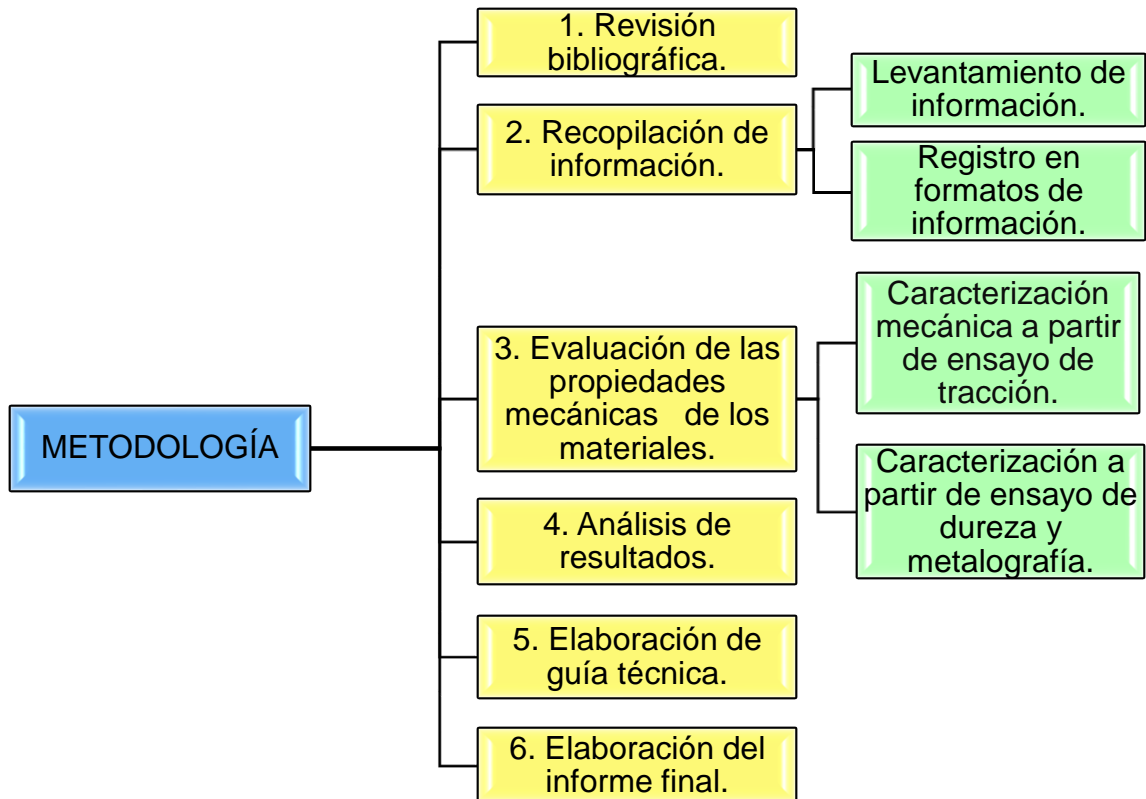
Figura 2. Esquema de mejora de procesos al implementar una guía técnica.



3. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

En la *Figura 3* se presenta el esquema metodológico donde se muestran las seis etapas que se implementaron para el desarrollo del proyecto, las cuales se describen más adelante.

Figura 3. Esquema metodológico.



3.1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Para la ejecución del proyecto se realizó una revisión bibliográfica continua dentro de la cual se consideraron: informes de producción de la empresa, listado maestro de equipos de la empresa, normas técnicas, artículos científicos que permitieron entender las variables en los procesos de fabricación de los productos y ver cuáles

fueron las etapas críticas dentro de la línea de producción, documentos referentes a la elaboración de guías técnicas, manuales para el manejo de software CAD para modelado mecánico en 3D e información web y bibliografía referente a los aceros que se trabajaron en el proyecto.

3.2. RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN

En la presente etapa se realizaron dos actividades que se desarrollaron en el área de producción de la empresa FORMADCOL, en primera instancia se realizó un levantamiento de información de cada uno de los procesos que se ejecutan en las áreas de: troquelado, doblado, corte, torneado, rolado y soldadura; y los cuales se efectúan en las máquinas detalladas en las *Figura 4a* a la *4f*. Seguido a esto se realizó el registro de la información en formatos que se contemplan en el siguiente capítulo de resultados.

3.2.1 Actividad 1: Levantamiento de información. Para el presente proyecto de investigación se realizó el levantamiento de información donde se examinaron todas las etapas de producción de los artículos fabricados en la empresa, haciendo énfasis en los procesos donde los operarios reportaban posibles deficiencias y procesos complejos que requerían de mayor tiempo para su desarrollo. La información de la elaboración de los productos no se encontraba registrada ni ordenada en ningún documento, por lo cual se procedió a indagar con los responsables de cada actividad realizada en la línea de producción como: operarios, técnicos, soldadores y el ingeniero de planta. La recopilación de la información se complementó con registros fotográficos que sirvieron para la elaboración de los esquemas técnicos.

Figura 4. Máquinas empleadas en la empresa FORMADCOL.



a) Torno de Control Numérico



b) Máquina Dobladora.



c) Máquina Roladora.



d) Equipo de soldadura MIG.



e) Mesa cortadora de plasma.



f) Máquina cortadora.

3.1.2 Actividad 2: Registro en formatos de información. Registro de la información obtenida en la actividad anterior se diseñó y elaboró un formato con los siguientes ítems: Nombre del producto, responsables en el proceso, máquinas usadas en el proceso, tiempos en cada actividad, lista de materiales para fabricación del producto, materia prima usada, función del producto, procesos usados en la elaboración, etapas críticas del proceso, dimensiones del producto, diagrama de flujo del proceso, esquema del producto y observaciones.

Este formato se propuso y realizó con el fin de satisfacer la necesidad que tenía la empresa de tener un registro detallado de cada actividad en la línea de producción. El formato se hizo teniendo en cuenta que toda la información obtenida anteriormente quedara recopilada y descrita en cada uno de los ítems propuestos. Se elaboraron 20 formatos con el propósito de registrar toda la información de la actividad número uno. El diseño de los formatos se presenta en el siguiente capítulo de resultados.

3.3. EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS MATERIALES

A continuación, se presentan las dos actividades relacionadas con la caracterización mecánica de los materiales que son utilizados como materia prima.

3.3.1. Actividad 1: Caracterización mecánica a partir de ensayos de tracción.

Con el propósito de realizar los ensayos mecánicos, en la presente actividad se elaboraron probetas con dimensiones normalizadas por la norma ASTM E8-16¹¹ [14] de los siguientes materiales: dos probetas de acero *cold-rolled* tipo cilíndricas, dos probetas de acero *cold-rolled* tipo placa y dos probetas de acero *hot-rolled* tipo

¹¹ ASTM E8/E8M – 16a Ensayo de tracción de materiales metálicos. ASTM (2016) Recuperado de: <http://www.astm.org/Standards/E8.htm>

placa. El acero *cold-rolled* es usado en la empresa para realizar los tableros de las formaletas, ángulos de fachada y piezas del equipo de apuntalamiento del encofrado. Mientras que el acero *hot-rolled* es usado para la fabricación de accesorios y piezas como los distanciadores que se usan en la formaleta. El ensayo se realizó en una máquina universal SHIMADZU AGX-Plus de 250 kN de capacidad y su software TRAPEZIUM; la máquina se encontraba calibrada en el momento de realizar los ensayos. En el siguiente capítulo se presentan los resultados.

3.3.2. Actividad 2: Caracterización a partir de ensayo de dureza y metalografía.

En la presente actividad se realizó medición de dureza, siguiendo la norma ASTM E18 -19¹² para determinar la dureza de las probetas hechas de los materiales usados en la línea de producción de la empresa: una para el acero *cold-rolled* y otra para el acero *hot-rolled*. Se realizaron tres mediciones para cada tipo de acero en escala *Rockwell B*.

Debido a la necesidad de conocer el estado microestructural de suministro de los materiales, se realizó la caracterización metalográfica de dos probetas, una para el acero *cold-rolled* y otra para el acero *hot-rolled*, siguiendo las siguientes normas ASTM E3-17¹³ para preparación de muestras y la ASTM 112-13¹⁴ para la determinación del tamaño de grano. Los resultados se presentan en el siguiente capítulo.

3.4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

¹² ASTM E18 – 19 Métodos de prueba estándar para la dureza Rockwell de materiales metálicos. ASTM (2019) Recuperado de: <http://www.astm.org/Standards/E18.htm>

¹³ ASTM E3 – 11 (Reapproved 2017) Preparación de muestras metalográficas. ASTM (2017) Recuperado de: <http://www.astm.org/Standards/E3.htm>

¹⁴ ASTM E112 – 13. Método estándar para la determinación del tamaño de grano. ASTM (2013) Disponible en <http://www.astm.org/Standards/E112.htm>

En la presente etapa se analizaron los resultados de los ensayos de tracción, ensayos de dureza y ensayos metalográficos que se presentan en el siguiente capítulo de resultados. Estos análisis se hicieron con el propósito de evaluar las propiedades mecánicas de los materiales que la empresa solicita a sus proveedores teniendo en cuenta las especificaciones que se requieren para la óptima realización de sus productos y que el estado de suministro de los materiales sea realmente el que la empresa solicitó. Los ensayos también se realizaron con el propósito de comprobar bajo el cumplimiento de las normas, que los materiales podían resistir los esfuerzos exigidos para su uso en obra.

3.5. ELABORACIÓN DE LA GUÍA TÉCNICA

Para el desarrollo de la etapa cinco del proyecto se elaboró una guía técnica que mostró toda la información recolectada en las etapas anteriormente abordadas; en donde se mencionaron los materiales con los cuales están fabricados los productos de la línea de producción, se describieron los procedimientos que se llevan a cabo para obtener cada producto; detallando los tiempos, los operarios, las responsabilidades de ellos en cada procedimiento y los documentos que involucran cada una de las tareas. Además, se incluyeron planos dentro de la guía (Ver Anexo A) donde se describieron las características técnicas y dimensiones de cada producto; también se añadió un glosario para dar a conocer a los empleados de la empresa todos los términos que se consideraron oportunos en relación con esta guía.

La guía técnica contiene 20 productos elaborados en la empresa, entre formaleta, accesorios de encofrado y equipo de apuntalamiento. Por la limitación de espacio dentro de este documento, en el siguiente capítulo solamente se adjuntó uno de los productos como muestra del formato definitivo de la guía técnica elaborada.

Por último, con el desarrollo de la guía técnica se realizó un análisis con el propósito de determinar las etapas críticas identificadas en los procesos de elaboración de los productos, al igual que las actividades donde se presentaba desperdicio de material y tiempos muertos; esto con el fin de mostrarle a la empresa las falencias que se presentan en los procesos de fabricación del encofrado metálico para poder definir planes de acción en pro de la mejora de estos.

3.6. ELABORACIÓN DEL INFORME FINAL Y SUSTENTACIÓN DE LA PRÁCTICA EMPRESARIAL

En esta etapa se elaboró el informe final del proyecto el cuál se presentó a la Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de Materiales.


4. RESULTADOS

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos en el desarrollo de las etapas de la metodología experimental y su respectivo análisis.

4.1. RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN

El formato que se diseñó para el desarrollo de la etapa de recopilación de información se presenta en la *Figura 5*; además en el Anexo B se observa uno de los formatos digitales que se realizó para la estructuración de datos de uno de los productos de la línea de producción.

Figura 5. Formato de información de procedimientos implementados para el registro de datos de los productos de la empresa.

FORMATO DE INFORMACIÓN DE PROCEDIMIENTOS								
 FORMADCOL Formaletas Metálicas de Colombia		PRODUCTO: _____			FECHA: _____		REGISTRO: _____	
FUNCIÓN DEL PRODUCTO	MÁQUINAS USADAS	RESPONSABLE				TIEMPOS EN CADA ACTIVIDAD [s]		
MATERIALES USADOS EN LA FABRICACIÓN DEL PRODUCTO	LISTA DE COMPONENTES DEL PRODUCTO	Largo []	Ancho []	Alto []	Ø []	Espeso r[]	PROCESOS USADOS EN LA ELABORACIÓN DEL PRODUCTO	
ETAPAS CRÍTICAS EN EL PROCESO		OBSERVACIONES DEL PROCESO			DOCUMENTOS USADOS EN EL PROCESO			
DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCEDIMIENTOS				ESQUEMA DEL PRODUCTO				

ELABORÓ: _____

APROBÓ: _____

4.2. CARACTERIZACIÓN MECÁNICA Y METALGRÁFICA

En la *Tabla 1* se presentan los resultados de valores promedio obtenidos de dos probetas ensayadas para cada tipo de material. Se muestra el esfuerzo máximo y los valores de las propiedades que miden la ductilidad para los tres aceros, obtenidos mediante el ensayo de tracción y la comparación con los máximos valores permitidos por la norma ASTM A311-15 para el acero AISI SAE 1045 y por la norma ASTM A36-14 para el acero A36.

Al comparar los resultados de las probetas ensayadas con los valores requeridos por las normas, se confirma que los valores del esfuerzo máximo y las medidas de ductilidad se encuentran dentro del rango permitido; confirmando que los materiales cumplen con los requisitos establecidos para su uso en la empresa. En los *Anexos C y D* se adjuntan los diagramas esfuerzo-deformación de donde se obtuvieron los resultados de la *Tabla 1*.

Tabla 1. Resultados análisis propiedades mecánicas.

Resultados propiedades mecánicas para los aceros AISI SAE 1045 y ASTM A36			
	Esfuerzo máximo [N/mm²]	% Elongación	% Reducción de área
Probeta acero 1045 cold-rolled cilíndrica	642,406	8%	27%
Probeta acero A 36 cold-rolled plana	474,464	5,1%	-
Probeta acero A 36 hot-rolled plana	417,656	9,2 %	-
Requisitos propiedades mecánicas por normas ASTM A311 y ASTM A36			
	Esfuerzo máximo [N/mm²]	%Máximo de elongación aceptado	% Máximo de reducción de área aceptado
Acero 1045 cold-rolled	655	12%	35%
Acero A 36 cold-rolled	400-550	18%	-
Acero A 36 hot-rolled	400-550	18%	-

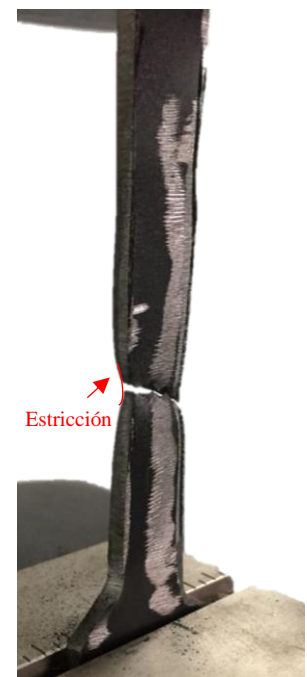
Las probetas de las *Figuras 5, 6 y 7* fueron obtenidas después de realizar el ensayo de tracción en la máquina universal de ensayos.

Como se puede observar en la *Figura 6*, la probeta del acero AISI SAE 1045 presenta una fractura combinada tipo copa y cono, apreciando que este tipo de fractura es imperfecta o a media copa astillada. Referente al cambio de geometría de la probeta cilíndrica de acero 1045, se comprobó una fractura dúctil ocurrida bajo una intensa deformación plástica donde se observa la estricción en la zona central de la probeta. En las *Figuras 7 y 8* se presentan las probetas correspondientes a los aceros A36, donde se observan labios de corte en toda la superficie de una fractura dúctil; estos labios de corte forman un ángulo de 45° con la dirección del esfuerzo.

Figura 6. Probeta cilíndrica de acero AISI SAE 1045 Cold-Rolled fracturada luego del ensayo de tracción.

Figura 7. Probeta plana de acero A36 Cold-Rolled fracturada luego del ensayo de tracción.

Figura 8. Probeta de acero A36 Hot-Rolled fracturada luego del ensayo de tracción.



A continuación, se presentan en la *Tabla 2* los resultados de los ensayos de dureza de las probetas ensayadas, donde se registró el cumplimiento dentro del rango de dureza permitido según la norma A36 para los dos tipos de acero.

Tabla 2. Valores de dureza para probetas A36.

Medidas de dureza de las probetas de acero A36		
Material	Probeta Acero Cold-Rolled	Probeta Acero Hot-Rolled
Dureza Rockwell B	80	72
Rango permitido de dureza para aceros A 36		
Material	Acero Cold-Rolled	Acero Hot-Rolled
Dureza Rockwell B	67 - 83	57 - 73

Por otra parte, en las *Figuras 9* a la *12* se observan los resultados del ensayo metalográfico el cuál se realizó siguiendo la norma ASTM E3-17¹⁵ a las probetas de acero *cold-rolled* y acero *hot rolled*, extraídas de sección transversal de la pieza, permitiendo examinar el tamaño de grano de los aceros.

En la micrografía de la *Figura 10*, podemos observar la microestructura de un acero hipoeutectoide, con granos de ferrita masiva equiaxial de color blanco y granos de perlita oscuros; de igual modo, en la *Figura 9* se identificó un tamaño de grano 10 para el acero cold-rolled mediante la norma ASTM 112-13¹⁶.

Respecto al acero hot-rolled, en la *Figura 11* se determinó un tamaño de grano 9 y además en la *Figura 12*, se puede apreciar una microestructura con granos de ferrita de tono claro y granos de perlita de color negro. Las microestructuras obtenidas se

¹⁵ ASTM E3 – 11 (Reapproved 2017) Preparación de muestras metalográficas. ASTM (2017) Recuperado de: <http://www.astm.org/Standards/E3.htm>

¹⁶ ASTM E112 – 13. Método estándar para la determinación del tamaño de grano. ASTM (2013) Disponible en <http://www.astm.org/Standards/E112.htm>

verificaron con las del Atlas de Microestructuras de Aleaciones Industriales con el propósito de corroborar que los resultados obtenidos en las micrografías efectivamente correspondían a los de los aceros ensayados.

Figura 9. Microestructura a 100x acero A36 cold-rolled. Sección transversal.



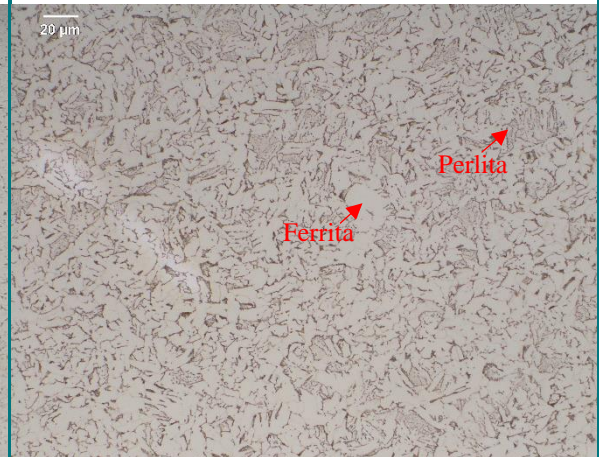
Figura 10. Microestructura a 500x acero A36 cold-rolled. Sección transversal.



Figura 11. Microestructura a 100x acero A36 hot-rolled. Sección transversal.



Figura 12. Microestructura a 500x acero A36 hot-rolled. Sección transversal.



4.3 ELABORACIÓN DE LA GUÍA TÉCNICA

En primera instancia, se determinaron las etapas críticas identificadas en los procesos de producción como se observó en el procedimiento de fabricación de tableros de formaleta estándar, en la actividad de corte de la lámina, se evidenció desperdicio de material por el mal dimensionamiento de las medidas del producto; esta contrariedad también se observó en el proceso de corte de lámina para la fabricación de ángulos de 90°, biseles y ángulos de fachada.

Por otro lado, se determinaron los tiempos totales de cada actividad, resaltando que en todos los procesos de troquelación se desperdicia material y tiempo al momento de hacer múltiples pruebas preliminares antes de iniciar la operación, estas pruebas se realizan con el fin de ajustar manualmente la matriz sobre la base de la troqueladora por medio de técnicas propias del operario; seguido a esto se realiza la prueba, y si esta no es satisfactoria, se debe volver a realizar otro ajuste dando como resultado el desperdicio de tiempo y material.

También se pudieron visibilizar tiempos muertos entre procedimientos por la no planeación de las actividades del transporte de los productos; por el contrario, en los procesos donde se involucra el torno de Control Numérico Computarizado, se requiere de mucho más tiempo de operación en comparación a otros procesos.

En el tiempo en que se desarrolló el proyecto en la empresa también se pudo observar la necesidad que tenían los clientes por saber datos como: la resistencia máxima ofrecida por ciertos accesorios del encofrado como corbatas y pines metálicos, datos que no estaban disponibles al momento de iniciar esta práctica.

En el desarrollo del análisis, se identificaron los aportes al mejoramiento de procesos por parte de la implementación de la guía técnica que se mencionan a continuación: se estableció una recopilación bibliográfica de los procesos que permitirá conocer el funcionamiento interno, la descripción de tareas y los

responsables de su ejecución; además, la guía funcionará como apoyo a la capacitación y ubicación de personal nuevo ya que describe en forma detallada las actividades de cada puesto. Por otro lado, facilita las labores de control interno y su evaluación; además que se dispuso una base para el mejoramiento de los procedimientos y sus métodos de ejecución.


La guía técnica queda para la consulta de todo el personal, esto, con la disposición de si se desean realizar proyectos a futuro para mejoras de producción como análisis económicos y de mercado.

Asimismo, como resultado del desarrollo metodológico se realizó la estructuración de la información como se detalla a continuación; primero observamos en la *Figura 13* el formato digital de la guía técnica con la información del producto y su respectivo plano técnico, además en las *Figuras 14 y 15* se precisa la descripción de procedimientos con los detalles mencionados en el capítulo de la metodología.

Figura 13. Página de la guía técnica donde se muestran las características y los planos del producto, para este caso un Ángulo de 90°.

FORMATO DE PRODUCTOS Y PROCEDIMIENTOS

ÁNGULO DE 90°



Formaletas Metálicas de Colombia

FUNCIÓN

SE USA PARA MARCAR EL GIRO EXTERNO EN LAS COLUMNAS Y MUROS A 90°.

MATERIA PRIMA

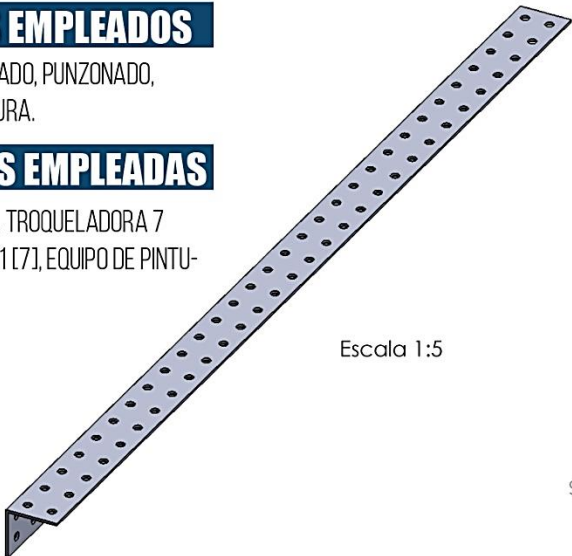
LÁMINA DE ACERO COLD-ROLLED CALIBRE 11.

PROCESOS EMPLEADOS

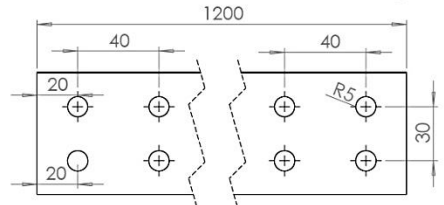
CORTE, TROQUELADO, PUNZONADO, DOBLADO Y PINTURA.

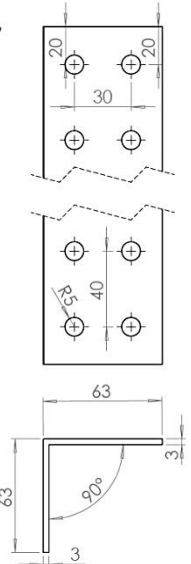
MÁQUINAS EMPLEADAS


CORTADORA 2 [2], TROQUELADORA 7 [12], DOBLADORA 1 [7], EQUIPO DE PINTURA [32]



Escala 1:5





	FORMADCOL			ÁNGULO 90 GRADOS		DIBUJADO POR: NÉSTOR CARVAJAL	FECHA: 25-04-2019
	ESCALA: 1:2	MEDIDAS EN: MILIMETROS	HOJA: 1/1	#Inventario 08	MATERIAL ACERO- A36	REVISADO POR: DPTO PRODUCCIÓN	FECHA:01-05-2019


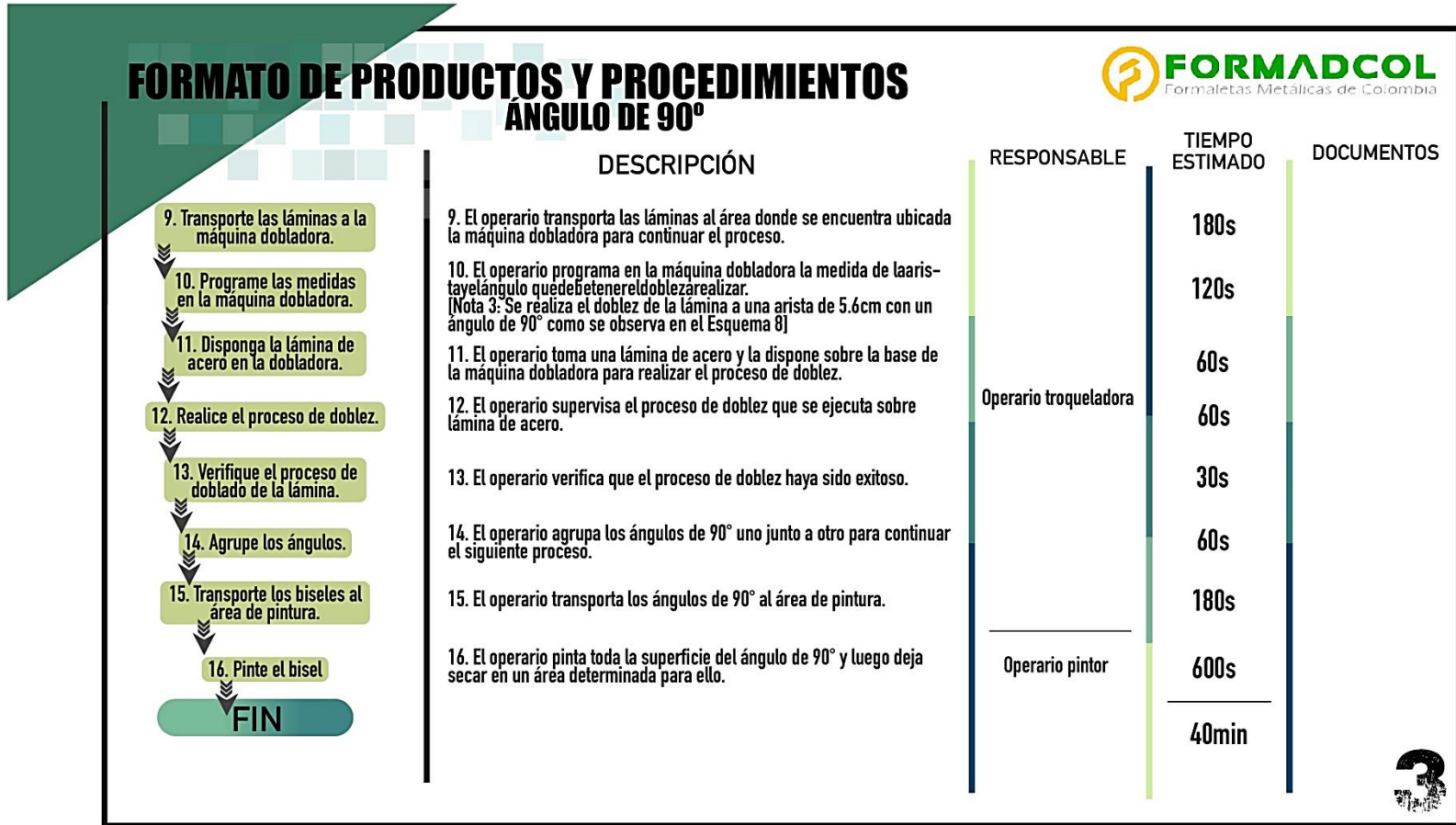


Figura 14. Página de la guía técnica donde se muestran las características y los planos del producto, para este caso un Ángulo de 90°.



Figura 15. Página de la guía técnica donde se muestran las características y los planos del producto, para este caso un Ángulo de 90°.



5. CONCLUSIONES

A partir de la presente investigación y el desarrollo de la práctica empresarial se concluye que:

Se cumplió el objetivo de obtener información técnica completa del proceso de encofrado metálico de la empresa que permitió definir las etapas y procedimientos críticos con el propósito de ejecutarlos en el plan de mejoramiento.

Se elaboró la guía técnica donde se recopiló la información detallada de los procedimientos y características para cada proceso que conforma la línea de fabricación de productos de encofrado metálico de la empresa FORMADCOL.

A partir de la caracterización mecánica y metalográfica de los materiales se analizaron las propiedades de esfuerzo máximo, ductilidad, dureza y microestructura, donde se verificó que estas se encontraban dentro del rango permitido por las normas, garantizando que los aceros empleados por la empresa cumplan con los requisitos estipulados para la fabricación del encofrado metálico.

Las guías diseñadas contaron con planos elaborados por dibujo mecánico 3D que permitieron una mejor visualización de los detalles, las dimensiones y las características de los productos fabricados en la empresa.

Con la implementación de la guía, se dispuso una base para el mejoramiento de los procedimientos y sus métodos de ejecución, consiguiendo facilitar las labores de control interno y evaluación.

BIBLIOGRAFÍA

ARGOS. Formaletas para la construcción con sistemas industrializados [En línea]. Colombia: 360 en concreto, 2013. (Recuperado en 30 Abril 2019) Disponible en <https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/construccion-con-sistemas-industrializados>

ASM HANDBOOK COMMITTEE. Atlas of Microstructures of Industrial Alloys. OHIO: American Society For Metals, 1972. P18.

ASTM E112 – 13. Método estándar para la determinación del tamaño de grano. ASTM (2013) Disponible en <http://www.astm.org/Standards/E112.htm>

ASTM A424/A424M – 18 Especificaciones para el acero esmaltado. ASTM (2018) Disponible en <http://www.astm.org/Standards/A424.htm>

A1011/A1011M – 18 a Láminas y flejes de acero, laminados en caliente, al carbono, estructurales, de alta resistencia baja aleación con conformabilidad mejorada y ultra resistencia. ASTM (2018) Recuperado de: <http://www.astm.org/Standards/A1011.htm>

ASTM A311/A311M Barras de acero al carbono deformadas en frío y tratado para relajación. ASTM (2015) Recuperado de: <http://www.astm.org/Standards/A311.htm>

ASTM A36/A36M. Acero al Carbono Estructural. ASTM (2014). Recuperado de: <http://www.astm.org/Standards/A36.htm>

ASTM E18 – 19 Métodos de prueba estándar para la dureza Rockwell de materiales metálicos. ASTM (2019) Recuperado de: <http://www.astm.org/Standards/E18.htm>

ASTM E3 – 11(Reapproved 2017) Preparación de muestras metalográficas. ASTM (2017) Recuperado de: <http://www.astm.org/Standards/E3.htm>

ASTM E8/E8M – 16a Ensayo de tracción de materiales metálicos. ASTM (2016) Recuperado de: <http://www.astm.org/Standards/E8.htm>

BALVATÍN, A. Ensayos y propiedades mecánicas de los materiales. [En línea] Salamanca: DICIS, 2016. Recuperado en (11 Marzo 2019) Disponible en <http://www.dicis.ugto.mx/profesores/balvantin/documentos/Ciencia%20de%20Materiales%20para%20Ingenieria%20Mecanica/Unidad%20I%20-%201.%20Ensayos%20y%20Propiedades%20de%20Materiales.pdf>

CHAPARRO, S. M. COMPARACIÓN ENTRE FORMALETAS DE SISTEMA INDUSTRIALIZADO. Trabajo de grado Ingeniero Civil. Bogotá: Universidad Distrital Francisco José de Caldas. 2018 Disponible en <http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/7829/1/TorresChaparroSergioMauricio2018.pdf>

CENTRO DE EXCELENCIA TÉCNICA. Norma de construcción elementos estructurales en concreto. [En línea] Bogotá. Empresa de Servicios Públicos de Colombia (2018) Disponible en https://www.epm.com.co/site/Portals/3/documentos/Aguas/NC_MN_OC07_03_Elementos_estructurales_en_concreto.pdf?ver=2018-06-13-133333-567

ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA JULIO GARAVITO. Metalografía protocolo. Bogotá: 2011, p13.

FORMADCOL. Catálogo de productos [En línea] Piedecuesta: Formaletas Metálicas de Colombia (Recuperado el 18 Marzo 2019) Disponible en <https://www.formadcol.com/listaproductos.php?cate=Ng==>

FRANKLIN, Enrique. Organización de empresas. Análisis, diseño y estructura, México: McGRAW-HILL 1998, p95.

GARCÍA CORTÉS, A., & Martínez Arbelaéz, R. A. Diseño y prueba de formaletas de acero para paredes y columnas a partir del vaciado de concreto en la construcción de obras civiles. Trabajo de grado Ingeniero Civil. Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira. (2007). Disponible en <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/820/6935G216dp.pdf?sequence=1>

GRIÑAN, José. Encofrados. Barcelona, España: Ediciones CEAC, SA, 1969 p20.

LORENZO PLUMED, Pedro. Estudio de criterios de diseño y cálculo de encofrados de elementos verticales. Trabajo de grado Ingeniero de Caminos. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia, 2015.

NORMA SISMO RESISTENTE. NSR C.6.1. Reglamento colombiano de construcción sismo resistente. titulo c - concreto estructural. Bogotá, 2010.

NORMA TÉCNICA COLOMBIANA. NTC 1920. Acero estructural al Carbono. Bogotá, 2017

NORMA TÉCNICA COLOMBIANA. NTC 3318 Producción de concreto. Bogotá, 2008

PASCUAL, J. Técnica y práctica del tratamiento térmico de los metales ferreos. Madrid: Editorial Blume. 1970, p25.

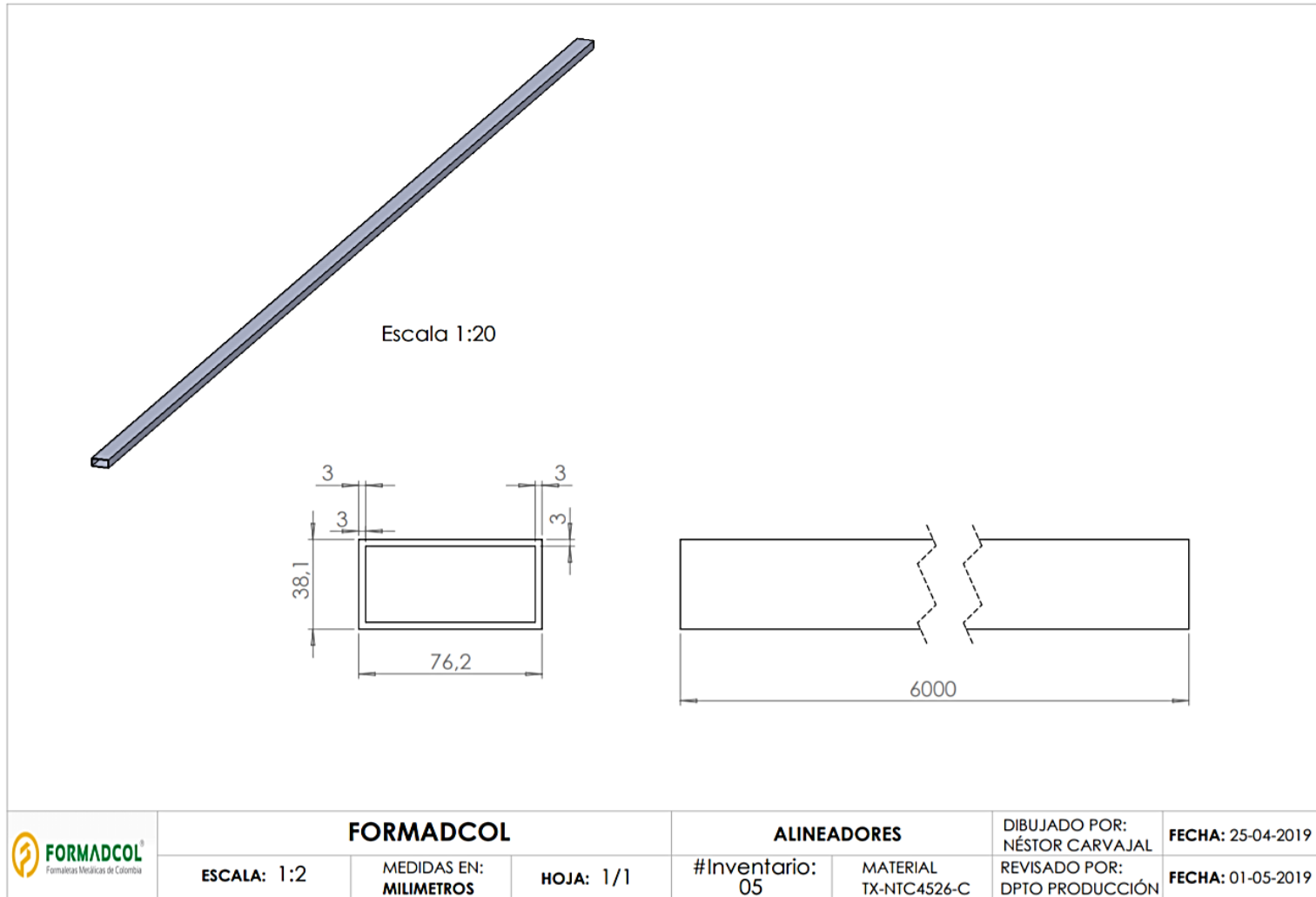
TERNIUM. Catalogo de soluciones Ternium Colombia [En línea] Bogotá: Ternium Colombia. 2018 (Recuperado 13 Abril de 2019) Disponible en <https://terniumcomprod.blob.core.windows.net/wp-content/2019/02/Catalogo-de-soluciones.pdf>

UNIVERSIDAD DE SANTIAGO DE CHILE. Estudio de aceros estructurales y de construcción soldados. [En línea] Chile: Universidad Santiago de Chile. 2012. (Recuperado 16 Abril de 2019) Disponible en <https://es.slideshare.net/FLDuran/experimental-n1-estudio-de-aceros-estructurales-y-de-construccin-soldados-proceso-de-soldadura-test-de-doblado-analisis-metalografico-y-dureza>

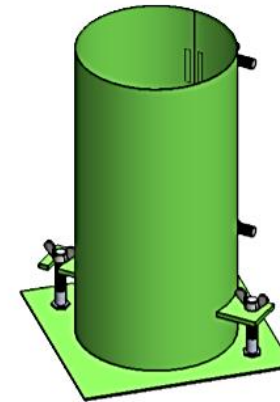
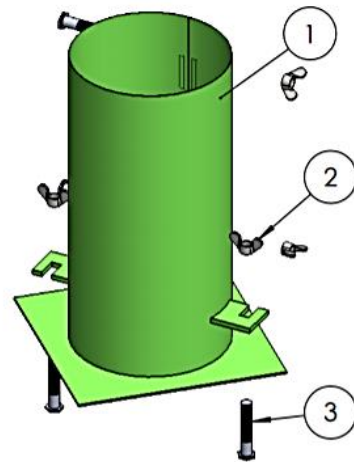
YEPES PIQUERAS, Victor. Qué son y para qué sirven los encofrados [En línea] Valencia: Universidad Politécnica de Valencia. 2017. (Recuperado 11 Marzo de 2019) Disponible en <https://victoryepes.blogs.upv.es/2017/03/01/que-son-y-para-que-sirven-los-encofrados/>

ANEXOS

Anexo A. Planos de productos incluidos en la guía técnica.



N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	Cilindro concreto	ACERO A-36	1
2	Varzta DIN 316 - M6 x 8	Varzta DIN 316 - M6 x 8	4
3	Tornillo	ACERO A-36 D=10mm	4



FORMADCOL

CILINDRO CEMENTO

DIBUJADO POR:
NÉSTOR CARVAJAL

FECHA: 25-04-2019

ESCALA: 1:5

MEDIDAS EN:
MILIMETROS

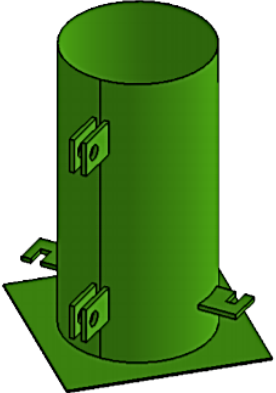
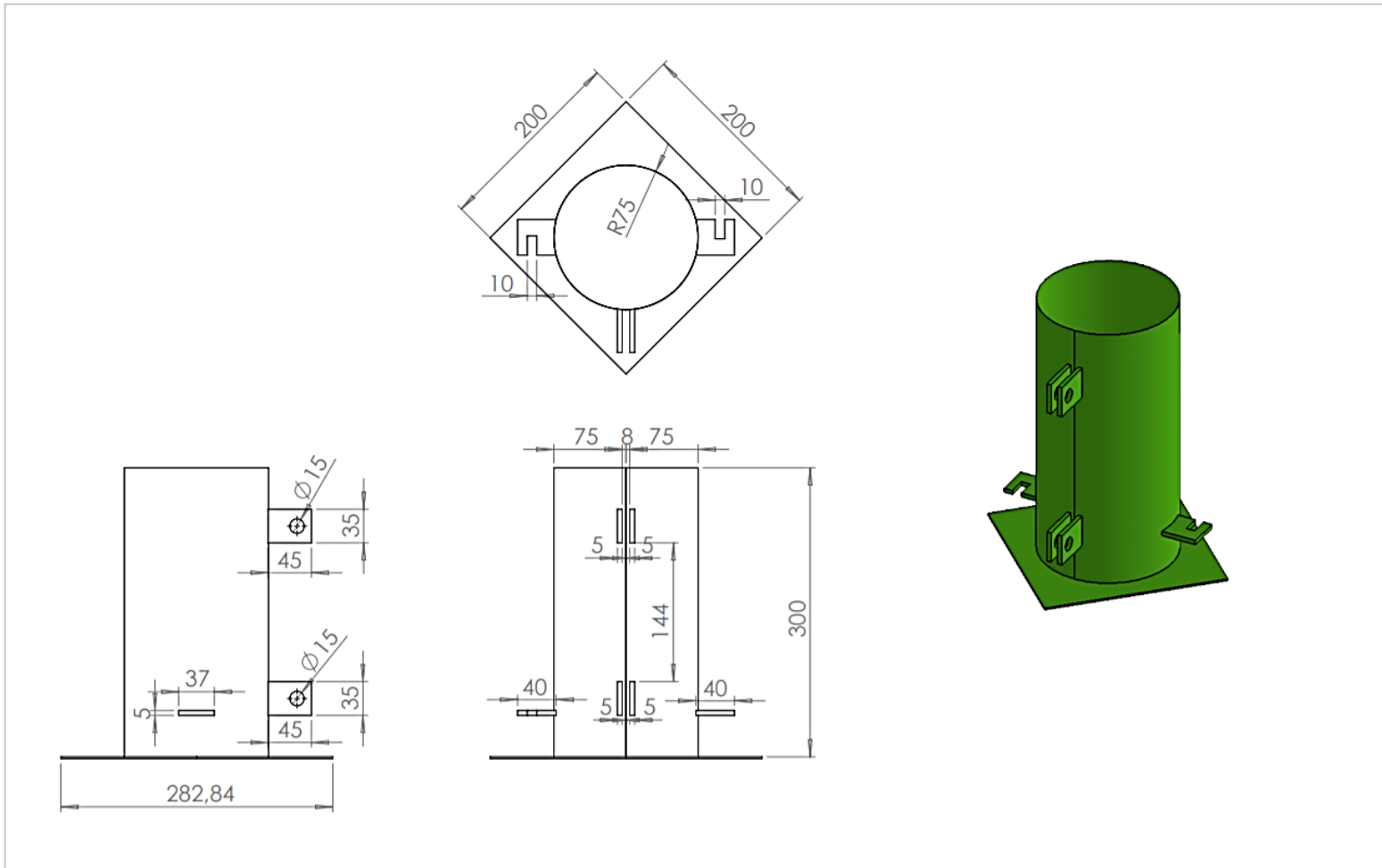
HOJA: 1/2


#Inventario:
11

MATERIAL

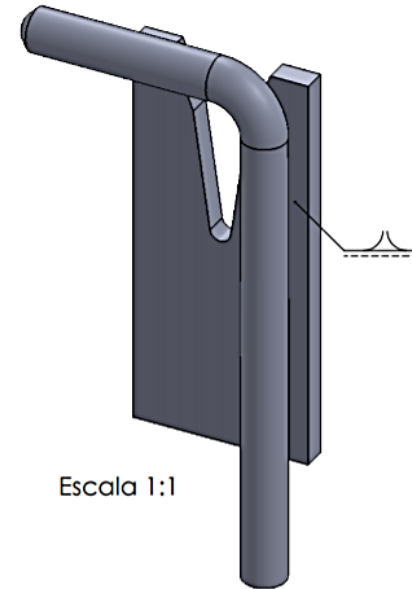
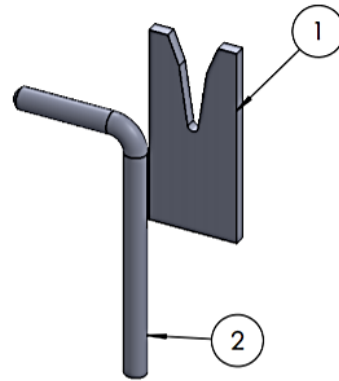
REVISADO POR:
DPTO PRODUCCIÓN

FECHA: 01-05-2019




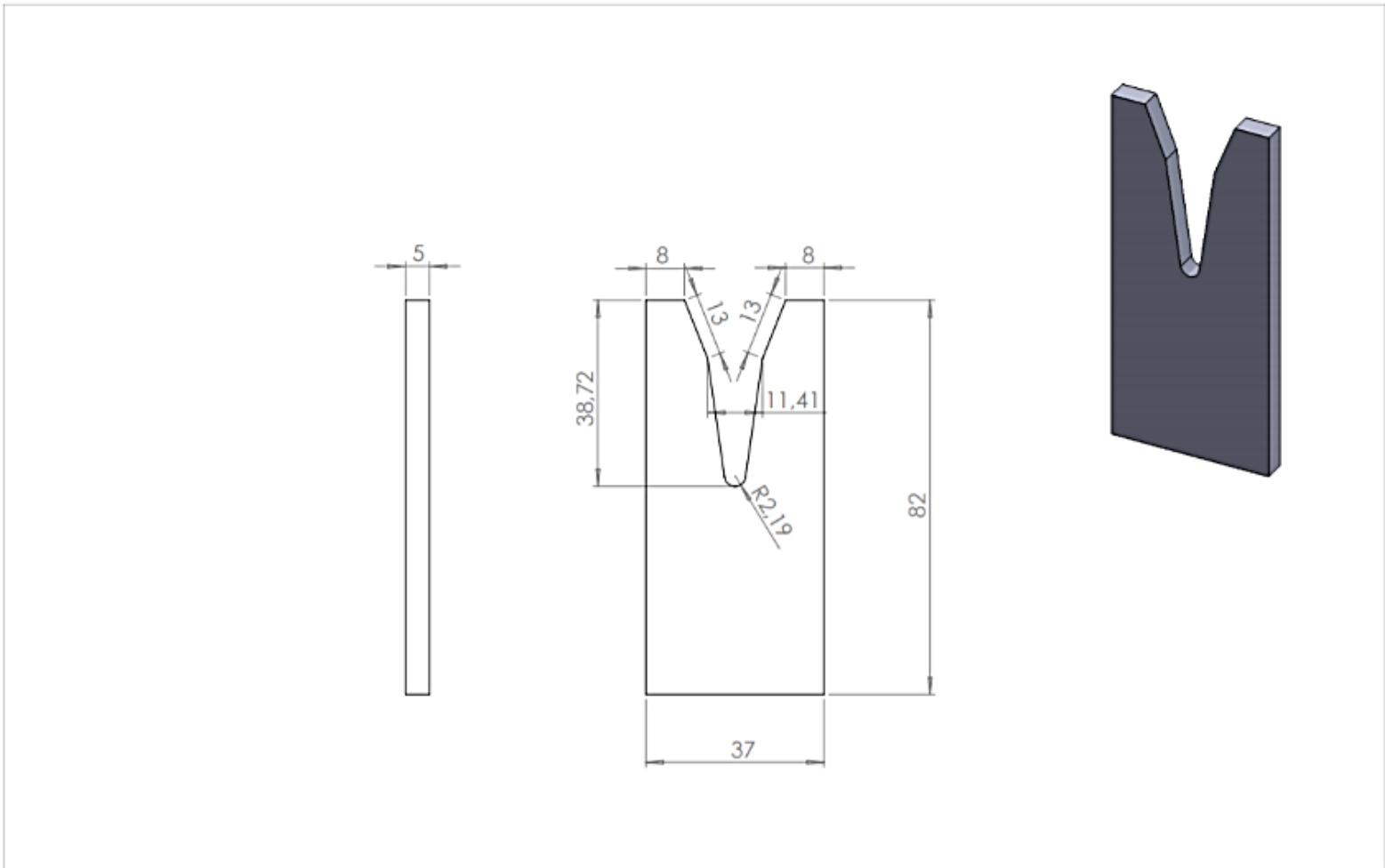
	FORMADCOL			CILINDRO CEMENTO		DIBUJADO POR: NÉSTOR CARVAJAL	FECHA: 25-04-2019
	ESCALA: 1:5	MEDIDAS EN: MILIMETROS	HOJA: 2/2	#Inventario: 10	MATERIAL ACERO A-36	REVISADO POR: DPTO PRODUCCIÓN	FECHA: 01-05-2019


N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	MATERIAL	CANTIDAD
1	Placa chapeta	Platina ACERO HOT-ROLLED	1
2	Pin chapeta 95x40	Varilla calibrada ACERO 1045	1

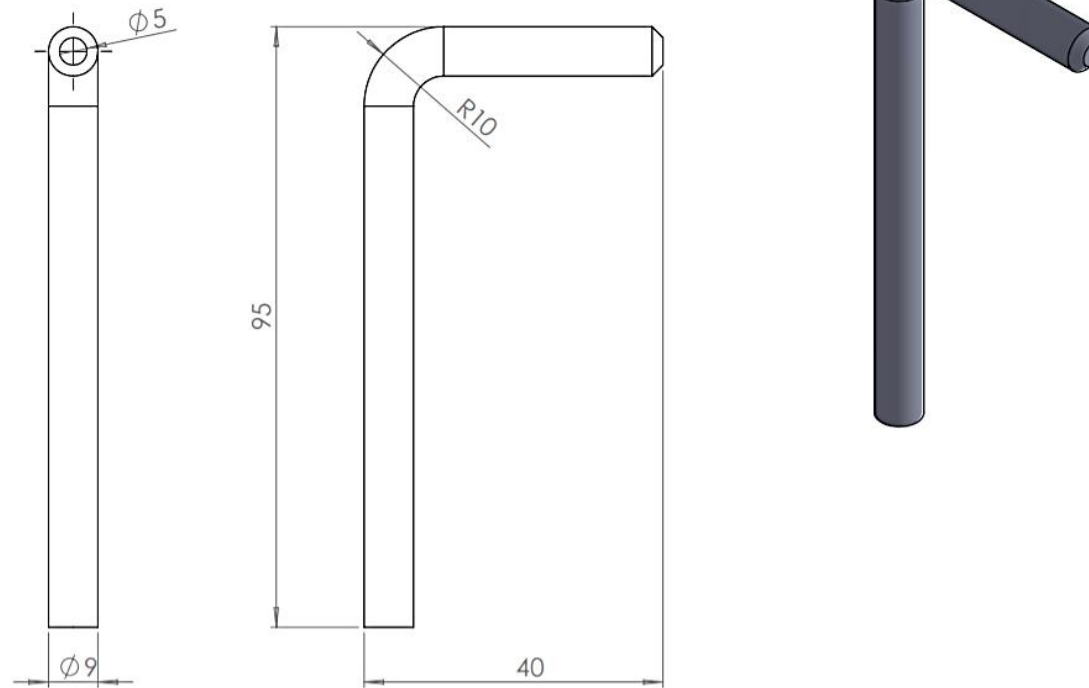


Escala 1:1

	FORMADCOL			CHAPETA		DIBUJADO POR: NÉSTOR CARVAJAL	FECHA: 25-04-2019
	ESCALA: 1:2	MEDIDAS EN: MILIMETROS	HOJA: 1/3	#Inventario: 03	MATERIAL -----	REVISADO POR: DPTO PRODUCCIÓN	FECHA: 01-05-2019



	FORMADCOL			PLATINA		DIBUJADO POR: NÉSTOR CARVAJAL	FECHA: 25-04-2019
	ESCALA: 1:1	MEDIDAS EN: MILIMETROS	HOJA: 2/2	#Inventario: 03	MATERIAL ACERO HOT-ROLLED	REVISADO POR: DPTO PRODUCCIÓN	FECHA: 01-05-2019



FORMADCOL

PIN 90X45

DIBUJADO POR:
NÉSTOR CARVAJAL

FECHA: 25-04-2019

ESCALA: 1:1

MEDIDAS EN:
MILIMETROS

HOJA: 3/3


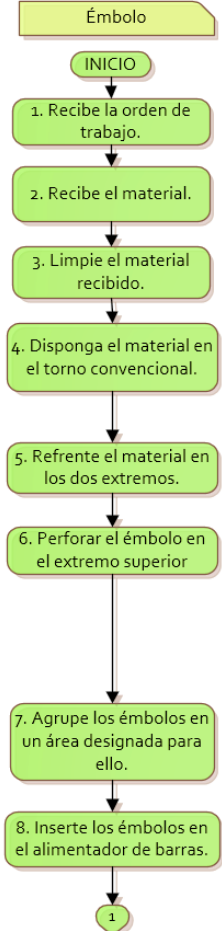
#Inventario:
03

MATERIAL
ACERO 1045

REVISADO POR:
DPTO PRODUCCIÓN

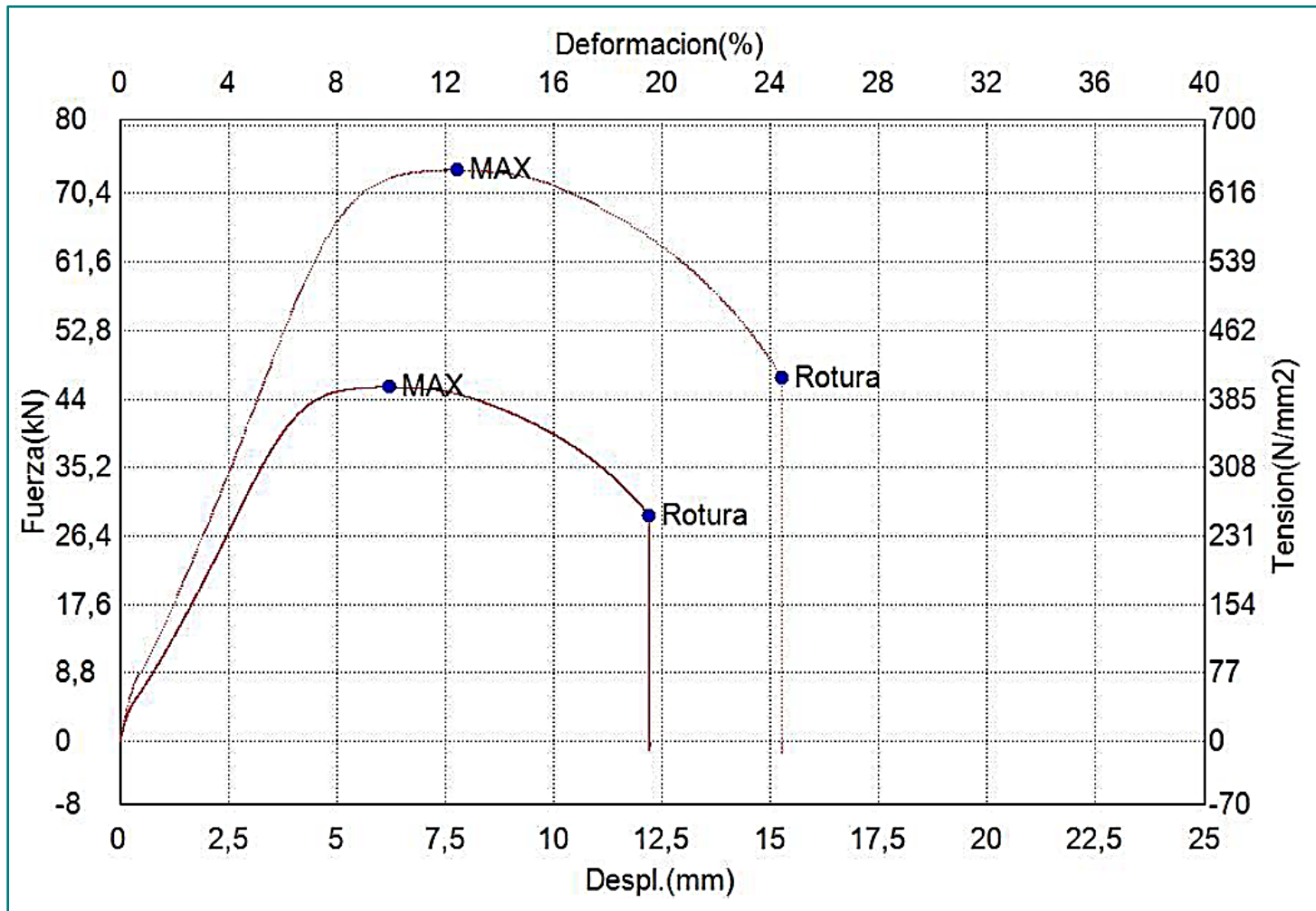
FECHA: 01-05-2019

Anexo B. Formato de información de procedimientos usado en la empresa

 FORMADCOL Formaletas Metálicas de Colombia		FORMATO DE PRODUCTOS Y PROCEDIMIENTOS		
		PROCEDIMIENTO: MARTILLO EXTRACTOR		Página 1 de 7
DIAGRAMA DE FLUJO	DESCRIPCIÓN	RESPONSABLE	TIEMPO ESTIMADO	DOCUMENTOS
<p>Émbolo</p>  <pre> graph TD INICIO([INICIO]) --> S1[1. Recibe la orden de trabajo.] S1 --> S2[2. Recibe el material.] S2 --> S3[3. Limpie el material recibido.] S3 --> S4[4. Disponga el material en el torno convencional.] S4 --> S5[5. Refrente el material en los dos extremos.] S5 --> S6[6. Perforar el émbolo en el extremo superior] S6 --> S7[7. Agrupe los émbolos en un área designada para ello.] S7 --> S8[8. Inserte los émbolos en el alimentador de barras.] S8 --> FIN([1]) </pre>	<p>A continuación encontrará una descripción del proceso de elaboración de los componentes del martillo extractor.</p> <p>1. El operario recibe las instrucciones para desarrollar el proceso desde el Departamento de ingeniería de la empresa.</p> <p>2. El operario recibe barras solidas de acero col-rolled de 45 cm de largo y 1.5" de diámetro.</p> <p>3. El operario limpia las barras con ACPM y una estopa con el fin de eliminar la grasa de su superficie.</p> <p>4. El operario dispone las barras en el torno convencional para iniciar el proceso. [Nota 1: El operario debe definir los extremos del émbolo. El extremo inferior que irá dentro del tubo y el extremo superior que irá fuera del tubo]</p> <p>5. El operario refrenta el material usando una cuchilla de refrentar en los dos extremos del émbolo (superior e inferior) con el fin de realizar un bisel de 1cm de ancho.</p> <p>6. El operario toma el émbolo y ubica la parte superior en el torno convencional y mediante una broca de centro lo perfora. [Nota 2: El orificio que queda servirá para ajustar el émbolo dentro del torno CNC] [Nota: Los procesos de refrentado y perforado se hacen con el propósito de condicionar el émbolo para los procesos que se harán en el torno CNC]</p> <p>7. El operario agrupa los émbolos en un área designada para ello para continuar el proceso.</p> <p>8. El operario introduce los émbolos en el alimentador de barras que los conduce al torno CNC</p>	<p>Operario torno convencional</p> <p>Operario transportador Operario torno convencional</p> <p>Operario torno convencional</p> <p>Operario torno convencional</p> <p>Operario torno convencional</p> <p>Operario torno convencional</p> <p>Operario torno convencional</p> <p>Operario torno convencional</p>	<p>60 [s]</p> <p>120 [s]</p> <p>30 [s]</p> <p>30 [s]</p> <p>420 [s]</p> <p>420 [s]</p> <p>120 [s]</p> <p>120 [s]</p>	<p>Tarjeta viajera</p>



Anexo I. Diagrama esfuerzo – deformación para probeta acero AISI SAE 1045 Cold-Rolled.



Anexo R. Diagrama esfuerzo – deformación para probeta acero A 36 Cold-Rolled

