

**ESTUDIO DE LA MICROESTRUTURA GENERADA POR
DEFORMACION PLÁSTICA SEVERA (SPD) EN CANAL
ANGULAR DE SECCIÓN CONSTANTE (ECAP/ECAE) A UN
ACERO INOXIDABLE AISI/SAE 305**

Universidad Distrital Francisco José De Caldas

Facultad Tecnológica

Ingeniería Mecánica

Propuesta de Grado Ingeniería Mecánica.

Director: RICARDO ENRIQUE PORRAS BOADA

Autores: Iván Andrés Hoyos Mateus. 20142375009.

Miguel Ángel Huertas Ibáñez. 20142375015.

Bogotá 2017

Tabla de contenido	pagina
1. Planteamiento del problema.	3
1.1 Estado del arte.	3
1.2 Justificación	7
2. Objetivos	8
2.1 Objetivo general	8
2.2 Objetivos específicos	8
3. Marco teórico	9
3.1 Aceros inoxidable	9
3.2 Técnicas de deformación plástica severa	10
3.2.1 Molienda mecánica	11
3.2.2 Presión en canal Angular de sección constante	11
3.2.3 Torsión en alta presión	11
3.2.4 Unión por laminación acumulada	12
4. Metodología	13
5. Cronograma	14
6. Presupuesto y fuentes de financiación	15
6.1 Recursos	15
6.1 Recursos	16
6.1 Recursos	17
7. Bibliografía	18

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

Desde que el ser humano comenzó a trabajar con metales para hacer distintas herramientas que lograran satisfacer diferentes necesidades hasta este momento en que muchos productos requieren de este por sus grandes cualidades y propiedades mecánicas, durante las últimas décadas se han desarrollado varios procesos para obtener tamaños de grano muy finos. Los cuales incrementan las propiedades de resistencia a la fatiga y tenacidad a la fractura en el material, anteriormente se hacía solo un proceso térmico para modificar la microestructura; o un proceso mecánico y varias veces los dos; es decir un proceso termo-mecánico. Todos estos procesos se traducen en una variación de la estructura cristalina la cual da como resultado un cambio en el comportamiento mecánico, se busca un mejoramiento de las propiedades a cambio de la disminución del tamaño de grano. [1] [2]

En el grupo de investigación GEAUD se ha planteado la necesidad de producir materiales manométricos masivamente, para lo cual se plantea trabajar con deformación plástica severa, por la facilidad, bajo costo y debido a que se cuenta con la maquina universal de ensayos que tiene gran capacidad, para deformar materiales como: aceros, aleaciones y materiales blandos, variando dureza y la capacidad de deformarse plásticamente en frio.

Para lo cual se diseñará y construirá un molde para hacer deformación plástica severa con la técnica de presión en canal angular de sección constante, y se darán 4 giros de 90 grados. El material a usar será Acero inoxidable AISI/SAE 305. Este proceso produce materiales con tamaños pequeños de grano, es decir sub-micrométricos (100–1000nm) y nano-métricos inferiores a (100nm). Dependiendo el número de pasadas. [1] [2]

1.1 ESTADO DEL ARTE

El estudio de los aceros y aleaciones han estado presentes en la humanidad y han determinado el desarrollo de estas, se pudo ver su auge en los últimos siglos. Debido a sus múltiples aplicaciones y a que sus propiedades permiten ser materiales confiables y

mundialmente usados; su fabricación y proceso define parte de la industria y por lo tanto el desarrollo de un país, tanto los aceros como las diversas aleaciones encierran un proceso técnico bastante competido y rentable, por ello se estudian y desarrollan procesos en su fabricación, así como en la modificación de las propiedades posterior a la fabricación. [1] [2]

Existe una relación entre la estructura y la propiedad de todos los metales policristalinos, la estructura cristalina es la forma en que se cristalizan los metales y difieren debido a los elementos puros de porcentaje en peso que los componen, es por ello que tienen sus clasificaciones según sus elementos de aleación y propiedades mecánicas ; la cristalización de los metales se puede cambiar o modificar después de su fabricación ,este cambio en la cristalización se denomina alotropía y cambia con el aumento o disminución de la temperatura. El campo que estudia este cambio se llama tratamiento térmico y consiste en elevar la temperatura por encima o por debajo de la temperatura de cristalización según sea el caso.

Existen varios tipos de tratamientos térmicos los cuales buscan mejorar una o varias propiedades mecánicas para desarrollar un proceso para un producto, siendo llamado acero al hierro que se mezcla con el carbono siendo este último el que responde por las propiedades; por otro lado, si él se mezcla con elementos puros como; Al, Mn, Mo, Cr, Cu, entre otros mejora sus propiedades y además son estos elementos aleantes quienes responden por esa mejora. De manera similar ocurre para las aleaciones donde el mayor porcentaje es aluminio, cobre etc. Donde los elementos aleantes en porcentajes bajos son los que modifican las propiedades del metal y por lo tanto varía su microestructura.

Dentro de los tratamientos térmicos más comunes están : normalizado, recocido temple, revenido, todos los tratamientos buscan homogenizar el material en una sola microestructura , es decir en lo posible sea una misma, se hace por medio del calentamiento hasta cierta temperatura seguido de un sostenimiento y por ultimo un enfriamiento brusco, el normalizado se calienta por encima de la temperatura crítica del metal, pero por debajo de la temperatura de fusión , se sostiene por un largo tiempo y se enfría dentro del horno para que el cambio en la estructura sea controlado, este

proceso mejora la ductilidad, disminuye la dureza , mejora la maquinabilidad, más fácil al doblar , conformar u otro tipo de proceso.

El recocido tiene un principal objetivo el cual es aliviar las tensiones internas, estas son provocadas por la diferencia entre las estructuras cristalinas del material, y al ser sometido a un esfuerzo promueve las microgrietas y posibles fallas. Debido a esto se calienta el material alrededor de la temperatura crítica y luego se sostiene un largo tiempo dependiendo del volumen de la pieza y se enfría en cualquier medio. Estas tensiones pudieran estar allí por mecanizado, embutido conformado, o en el proceso de la fabricación del lingote, este proceso homogeniza la microestructura, pero promoviendo la transformación de los cristales duros a los blandos, por lo cual el proceso disminuye la dureza y aumenta la conformabilidad. [3]

Por último, el temple con revenido, proceso que buscan aumentar la dureza superficial o total del metal; para ello se calienta el horno por encima de la temperatura de recristalización, pero por debajo de la temperatura de fusión con un sostenimiento corto y un enfriado con alta velocidad en diversos medios.

Este anterior proceso se le conoce como temple y busca llevar el cristal que se encuentra por encima del punto eutectoide a la estructura del metal, de manera seguida se hacen revenidos según se necesite para transformar las estructuras retenidas; proceso que al igual que todos se inicia con calentamiento de la pieza por debajo de la temperatura crítica y se sostiene en cortos periodos posteriormente es enfriado con velocidades medias de enfriamiento.

Este aumento superficial de la dureza y un corazón tenaz permite fabricar herramientas como cuchillos , punzones , piñones, entre otros el normalizado recocido y temple , son denominaciones usadas en los aceros tanto al carbono como aleados , para las aleaciones existen procesos similares con otros nombres pero el mismo principio ; todos esos procesos arrojan una estructura única, esa estructura hereda una particularidad en sus distribuciones , formas y tamaños designada metalografía; pero esta no se puede observar a simple vista por lo que se debe usar un microscopio óptico para diferenciar las particularidades. También se debe hacer un proceso a la superficie para que sea visible en el microscopio. Actualmente estos equipos vienen con una

cámara para registrar estos fenómenos (foto microestructura) quienes son una evidencia de lo que se obtuvo con el proceso. [3]

La metalografía muestra la forma de cristalización, distribución y tamaño de grano para un metal y proceso, las pruebas y ensayos permiten ver que propiedades mecánicas tiene dicho metal, por lo cual se busca modificar el tamaño de grano para obtener un aumento en las propiedades mecánicas, hasta ahora se han presentado dos formas de cambiar el tamaño, forma y distribución del grano, la primera es por variación de la temperatura (tratamiento termomecánico), y la segunda es por la adición de elementos aleantes. Existe una tercera forma que es por deformación plástica severa SPD (several plastic deformation).

Deformación Plástica Severa (SPD): consiste en someter un material policristalino bajo altas presiones casi hidrostáticas y este debe soportar alta deformabilidad sin alterar sus dimensiones sin daños, roturas y grietas en el metal, además debe ser homogénea toda la microestructura de la pieza y debe refinarse y disminuirse el tamaño de grano. Dando como resultado materiales metálicos de tamaño de grano ultrafino UFG (Ultra Fine – Grain). Los que deben tener tamaños de granos inferiores a $1\ \mu\text{m}$ y muestran un incremento sustancial en las propiedades mecánicas, físicas y químicas con respecto a las convencionales. Debido a que poseen gran fracción de volumen de límites de grano; las propiedades que mejoran son: resistencia Mecánica, dureza, tenacidad, y ductilidad a temperaturas altas, coeficiente de expansión térmica, calor específico, resistividad química permeabilidad magnética.

En los metales que se obtienen por tratamiento termo-mecánico o por cambio de la composición, se observan bordes de grano con bajos ángulos; mientras por SPD los ángulos pequeños en borde de grano no ocurren, ya que poseen altos ángulos y al mismo tiempo tamaño pequeño de grano. Los métodos SPD más usados son: Torsión a alta presión el cual no varían sus dimensiones lo cual produce una reducción en el tamaño de grano, sin romperse o agrietarse. Además, se podría decir que la microestructura formada en el centro es distinta debido a la ley de tensiones, pero esto no ocurre la muestra presenta un grano homogéneo con más de $\frac{1}{4}$ de giro.

Presión en el canal de ángulo constante ECAP/ECAE (Equal Channel Angular Presising) es un proceso parecido a extruir un material, consiste en presionar un metal policristalino a través de una matriz; la cual produce que el material se deforme plásticamente produciendo que el tamaño de grano se reduzca y se refine aumentando sus propiedades; presenta varias rutas para reducir el tamaño de grano a la medida deseada, ruta A no se hace rotar la muestra, ruta B rotación de 90° con cambio de sentido $+90^\circ$ o -90° ... y ruta BC rotación en la misma dirección $+90^\circ$, $+90^\circ$ entre otras. [1] [2] [4]

1.2 JUSTIFICACIÓN

Debido a la necesidad de atender y estar presentes en la evolución de la tecnología relacionada con los materiales metálicos y la obtención de nano-materiales metálicos, debido a que aumentan sus propiedades mecánicas generando una tecnología y desarrollo, en la academia como en la industria nacional; se estudiara el efecto que tiene una deformación plástica severa en un acero inoxidable sometido a presión en canal angular constante. Puesto que el volumen de fabricación de aceros aleados y nano-materiales en una práctica desplazada a ámbitos justamente académicos y en escala muy reducida en Colombia.

Además, porque es una tecnología emergente que permite continuar con conocimientos previamente vistos como lo es la metalografía, los tratamientos térmicos, resistencia de materiales, diseño de materiales entre otras. Las cuales son materias principales sobre las que se fundamenta la Ingeniería Mecánica, estas debido a su afinidad servirán para direccionar el estudio sobre los materiales con el tamaño de grano ultrafino UFG; que permitirá optar al título de Ingeniero Mecánico. [1] [2] [3]

2. OBJETIVOS.

2.1 OBJETIVO GENERAL.

Obtener una reducción en el tamaño de grano y determinar la relación de la estructura con las propiedades mecánicas de un acero inoxidable sometido a deformación plástica severa en el canal angular de sección constante.

2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS.

- Diseño y construcción de una matriz para realizar una deformación plástica severa en canal angular de sección constante.
- Alistamiento y preparación de las probetas según norma para ser sometidas a deformación en presión en canal angular con sección constante.
- Realizar las pruebas en la Maquina universal de Ensayos.
- Realizar la toma de imágenes metalográficas.
- Toma de micro durezas.
- Medir las propiedades Mecánicas y la microestructura de la probeta posterior al procedimiento de deformación.

3. MARCO TEORICO.

3.1 ACEROS INOXIDABLES.

Los primeros trabajos que se realizaron en aceros inoxidable son del siglo XIX en este tiempo descubrieron que el hierro mezclado con ciertos metales, como el cobre y el níquel permitían una resistencia mejor a la oxidación que el hierro ordinario. Hacia 1865 ya se producían estos tipos de acero aunque en cantidades muy limitadas, generalmente realizaban aceros con 25 y 35% de níquel estos resistían muy bien la acción de la humedad del aire y del ambiente; pero se trataba de fabricaciones en muy pequeña escala que nunca se continuaron. En esa época no se llegó a estudiar ni a conocer bien esta clase de aceros. En 1872 Woods y Clark fabricaron aceros con 5% de cromo que tenían también mayor resistencia a la corrosión que los hierros ordinarios de esa época. En 1892 Hadfield, en Sheffield Inglaterra, estudió las propiedades de ciertos aceros aleados con cromo y dio a conocer en sus escritos que el cromo mejoraba sensiblemente la resistencia a la corrosión. En 1904-1910, Guillet y Portevin, en Francia, realizaron numerosos estudios sobre aceros aleados con cromo y níquel, llegaron a fabricar aceros muy similares a los típicos aceros inoxidable que se usan en la actualidad, pero hasta entonces nunca le dieron especial atención a la característica de inoxidable. Las propiedades y composiciones de los aceros inoxidable se mantuvieron en secreto por los países bélicos mientras duró la primera guerra mundial. Posteriormente, a partir de las pocas aleaciones experimentadas en 1920, y de un limitado número de tipos comercialmente disponibles en 1930, la familia de los aceros inoxidable ha crecido en forma impresionante. En la actualidad se cuenta con un gran

número de tipos de acero inoxidable en diversas presentaciones, y con una gran variedad de acabado y dimensiones. [5]

3.2 Técnicas de deformación plástica severa.

El proceso de refinar los tamaños de grano en los materiales que aportan mejoras en sus propiedades físicas y mecánicas se hace necesario optimizar día a día los procesos para la mejora en la fabricación y en la materia prima, que cumpla con las necesidades en los procesos que se van a utilizar, la técnica de deformación plástica severa nace gracias a esa búsqueda, de cada día obtener por medio de investigación mejores materiales que satisfagan a la industria y el Mercado que se beneficia del mismo. [2] [3]

3.2.1 Molienda Mecánica.

La molienda mecánica es un proceso en el cual el material se introduce en un molino de bolas, este es una máquina que por medio del giro y unas esferas de gran peso hacen que el material sea triturado hasta obtener polvo metalúrgico, una vez se tenga el polvo metalúrgico con las condiciones necesarias se procede a realizar su consolidación; es un proceso que se llama compactación estática en tibio y consiste en compactar en frío el material a altas presiones, seguido de sinterización, que se efectúa a altas presiones y temperatura un poco menor que la de recristalización. Pero esta técnica no es del todo precisa porque aún no han podido controlar el tamaño de grano; lo cual produce materiales con dislocación e inestables en sus propiedades mecánicas y físicas. [3] [6]

3.2.2 Presión en canal angular constante (ECAP).

Es una técnica la cual consiste en hacer pasar un material por medio de una presión externa (Maquina universal de ensayos) en un canal que se encuentra en un molde o llamado también “dado” el cual posee una canal generalmente con un ángulo de 90° , para este caso 120° , Ocasionando que el material se deforme plásticamente al someterse a esa presión y haciéndolo pasar abruptamente por el canal ocasiona que internamente sus granos se unan más; produciendo así una reducción sustancial en el tamaño de grano lo cual se traduce en mejoras en el material tanto en sus propiedades mecánicas, físicas y químicas. Además de esto se existen rutas como lo son Ruta 1 sin rotación de la barra de material, ruta 2 con una rotación a 90° y ruta 3 con rotación a 180° . [3] [6] [7]

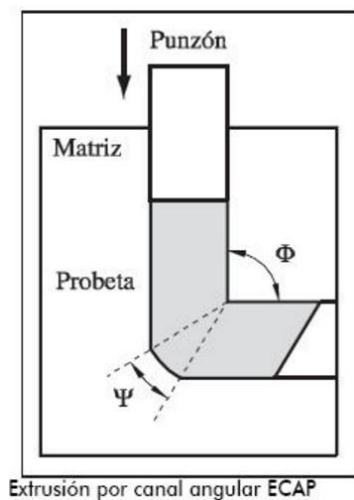


Fig. 1 Presión en canal angular constante (ECAP). [6]

3.2.3 Torsión en alta presión.

Es un proceso en el cual el material mecanizándolo en forma de disco delgado es deformado por torsión por medio de presión hidrostática. Al aplicar la carga el espesor del disco se mantiene constante debido a una cavidad ajustada y así se permite aplicar la presión hidrostática, todo esto se da por la ecuación $Y = (r/h)\phi$, donde r es la distancia hacia el centro de nuestro disco, ϕ es el ángulo de torsión y h es el espesor de nuestro material a ensayar. [3] [7]

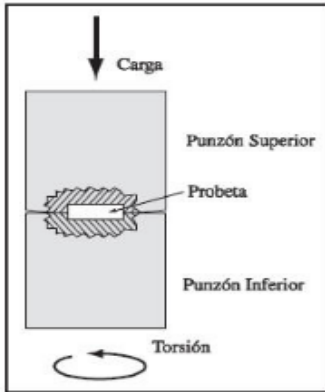


Fig. 2 proceso Torsión de alta presión. [6]

3.2.4 Unión por laminación acumulada.

Este proceso consiste en la reducción del espesor del material “chapa” por laminación. La chapa pasa por un tren de laminación convencional y es dividido en dos, después se pone una sobre la otra siendo sometida nuevamente a laminación. Las caras enfrentadas se desengrasan son cepilladas para conseguir una buena unión; corte, el proceso de cepillado, desengrasado y apilado se repiten varias veces hasta obtener una gran deformación acumulada en la lámina. En las variaciones de los procesos siempre se realiza el calentamiento de la lámina el cual se hace siempre por debajo de su temperatura de recristalización. [3] [7]

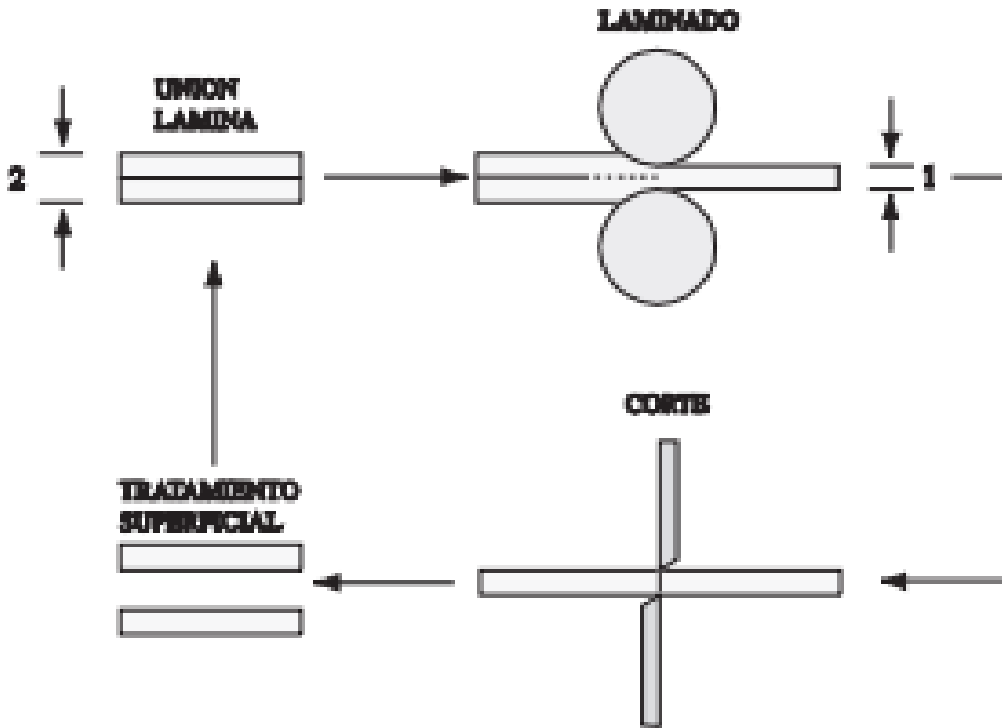


Fig. 3 Unión por laminación acumulada. [6]

4. METODOLOGIA.

El desarrollo de este proyecto, tiene el siguiente proceso de actividades. A continuación, se presentan dichos pasos.

- **Recopilación**
 - A) Realizar búsquedas en la red para encontrar documentación e información sobre deformación plástica severa.
 - B) Realizar lecturas detalladas, clasificar y analizar dicha información obtenida en la red.
- **Diseño**

- A) Toma de medidas y levantamiento de planos.
- B) Elección de las medidas y del diámetro de la probeta y espesor mínimo de pared para diseño de la matriz.
- C) Diseño de la matriz.
- **Fabricación y realización de pruebas**
 - A) Fabricación de la matriz
 - B) Montaje y realización de la deformación en la maquina universal de ensayos.
 - C) Preparación metalográfica de las probetas.
 - D) Toma de micrografías.
 - E) Realización de ensayo de microdureza.

5. CRONOGRAMA

A continuación, se presenta una tabla con la duración estimada de las actividades que se van a llevar a cabo para la consecución de este proyecto.

Tabla 1. Cronograma de actividades.

Actividades	Duración en semanas					
	1-3	3-6	6-9	9-12	12-16	16-20

Recopilación bibliográfica	X
Diseño de la matriz	X
Construcción de la matriz	X
Montaje de la matriz	X
Realización de pruebas de deformación plástica	X
Toma de micrografías	X
Toma de microdureza	X
Analizar resultados	X
Escribir el documento	X
Sustentar	X

6. PRESUPUESTO Y FUENTES DE FINANCIACIÓN

6.1 Recursos

Recursos humanos

- Tutor: Profesor de planta de la Universidad Distrital encargado de seguir el desarrollo del proyecto, realizar correcciones pertinentes y de guiar al ejecutor.
- Ejecutor: Encargado de desarrollar el proyecto, siguiendo las pautas del tutor.

Se estima un promedio de 15 horas por semana para el ejecutor y dos horas por semana para el tutor.

Recurso	Fuente de Financiación	Costo por hora	Horas Dedicadas	Costos
Director	Universidad Distrital F.J.C.	\$ 60.000	50	\$3'000.000
Ejecutor	Ejecutor	\$ 30.000	300	\$9'000.000
			Total, Horas: 350	Costos: \$12'000.000

Tabla 2. Costo. Recursos humanos

Recursos de hardware

Corresponde a los ordenadores y otros elementos físicos que se usarán durante el proyecto, se estima su costo según la duración estimada del proyecto.

Recurso	Fuente de Financiación	Tiempo de uso (meses)	Costos
Computador Portátil	Ejecutor	6	\$ 1'000.000
			Costos Totales: \$ 1'000.000

Tabla 3. Costo Recursos de Hardware

Recursos de software

Corresponde a los programas que se utilizaran durante el desarrollo del proyecto, se estima su costo según la duración estimada del proyecto.

Recurso	Fuentes de Financiación	Tiempo de uso (meses)	Costo Recurso	Costos Estimado de Uso
Windows 7	Ejecutor	6	\$ 10000	\$ 60.000
Microsoft Office Word	Ejecutor	6	\$ 15000	\$ 90.000
			Total	\$ 150.000

Tabla 3. Costo recursos de software

Recursos físicos diseño y fabricación.

Diseño de la matriz	40 horas	\$ 2'000.0000
Fabricación de la matriz	40 horas	\$ 2'000.0000
Laboratorio de metalografía	20 horas	\$ 2'000.0000
Laboratorio de resistencia de materiales	40 horas	\$ 2'000.0000
Total	160 horas	\$ 8'000.0000

Tabla 4: recursos físicos

Resumen de costos

A continuación, se relacionan los costos totales para la ejecución de este proyecto.

Recurso	Financiación Ejecutor	Costo Total Recurso
Humano	\$ 9'000.000	\$ 12'000.000

Hardware	\$ 1'000.000	\$ 1'000.000
Software	\$ 150.000	\$ 150.000
Recursos físicos diseño y fabricación	\$ 4'000.000	\$ 8'000.000
Insumos, fungibles y gastos	\$ 250.000	\$ 630.000
	Costo Total Ejecutor \$ 14'400.000	Costo Total Recursos \$ 21'780.000

Tabla 5. Resumen del costo general del proyecto

7. BIBLIOGRAFIA

Trabajos citados

- [1] O. AIMME, introduccion a la deformacion plastica severa SPD, AIMME instituto tecnologico metalmecanico, 2009.
- [2] M. Avalos, Estudio de Microestructura Generada por Deformación Plastica severa en acero f138 a través de ebsd, Rosario , Argentina, 2007.
- [3] J.M.Cabrera, Obtencion de Materiales Metalicos de Tamaño de Grano ultrafino, Bogota, 2008.
- [4] O. F. H. Cobos, Relación Microestructura y Propiedades de Cobre sometido a deformación Plastica Severa mediante Presión en canal Angular Constante , Madrid, UPC Universidad Politecnica de Catalunya, 2013.

- [5] Indura, Manual de los aceros inoxidables, Cerrillos, Chile: 2Mimpresoresltda, 2010.
- [6] B. R. Rodolfo, Severe plastic deformation for obtaining nanometric and ultrafine-grained materials.
- [7] J. M. C. Sesin, Desarrollo de aleaciones nanoestructurales de aluminio con propiedades mecánicas superiores mediante deformación plástica severa, Costa Rica, Revista.unam.mx, 2015.