



**UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA**

**DIAGNÓSTICO DEL PROCESO DE EMBUTICIÓN DE
LAVAPLATOS DE LA EMPRESA SOCODA: DETECCIÓN
DE DEFECTOS Y POSIBLES SOLUCIONES**

OSCAR ANDRÉS REGINO AGAMEZ

Universidad de Antioquia

Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería de
Materiales

Medellín, Colombia

2019



**DIAGNÓSTICO DEL PROCESO DE EMBUTICIÓN DE LAVAPLATOS DE LA
EMPRESA SOCODA: DETECCIÓN DE DEFECTOS Y POSIBLES SOLUCIONES**

INFORME FINAL DE SEMESTRE DE INDUSTRIA

OSCAR ANDRÉS REGINO AGAMEZ

PROYECTO PREVIO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:

INGENIERO DE MATERIALES

ASESOR POR PARTE DE LA UNIVERSIDAD

RICARDO EMILIO ARISTIZABAL SIERRA

ASESOR POR PARTE DE LA EMPRESA

RICARDO BUILES ESCOBAR

UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA

FACULTAD DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE MATERIALES

MEDELLÍN

2019

Contenido

LISTA DE FIGURAS	3
LISTA DE TABLAS	3
1.RESUMEN	4
2. INTRODUCCIÓN.	4
3. OBJETIVOS.....	5
3.1 Objetivo general	5
3.2 Objetivos específicos	6
4 Marco Teórico.....	6
4.1 Embutido	6
4.1.1 Zona del ala	7
4.1.2 Zona de pared	7
4.1.3 Zona del fondo:.....	7
4.2 Lubricante	8
4.2.1 Biocidas:.....	9
4.2.2 Inhibidores de corrosión.....	9
4.2.3 Lubricantes:	9
4.2.4 Agente antiespumante:.....	9
4.3 Medida del blanco de embutido	10
4.4 No conformidades y posibles causas.....	11
4.4.1 Corte perimetral.....	12
4.4.2 Corte de canastilla:	12
4.4.3 Marcado:	12
4.4.4 Empaque y transporte	12
4.5 Conformabilidad	13
4.6 Acero inoxidable AISI SAE 304.....	13
4.7 Acero inoxidable AISI SAE 430.....	13
4.8 Descripción de los efectos de cada aleante en el acero inoxidable	14
4.8.1 Cromo:	14
4.8.2 Níquel:.....	14
4.8.3 Carbono:.....	14
4.8.4 Molibdeno:	14
4.8.5 Manganeso:	14
4.8.6 Silicio:	15
4.8.7 Cobre:.....	15

4.9 Sensibilización	15
4.10 Inclusiones no metálicas	15
5 METODOLOGÍA	16
5.1 Búsqueda bibliográfica	16
5.2 Metodología para determinar los defectos.....	16
5.3 Recopilación de datos.....	16
5.4 Posibles soluciones.....	17
5.5 Ensayos de laboratorio	17
5.5.1 Metalografía	17
5.5.2 Ensayo de tracción.....	17
5.5.3 Composición química mediante espectrometría de emisión óptica.....	18
6 Resultados y análisis	18
6.1 Control de materia prima:	21
6.2 Corte:	22
6.3 Blanco de Embutido	24
6.4 Preparación de lubricante:	25
6.5 Línea 1	27
6.5.1 DESTACKER	27
6.5.2 Lubricadora	27
6.5.3 Prensas de embutición.....	28
6.6 Caracterización de materiales.	29
6.6.1 Composición química	29
6.6.2 Análisis microestructural	30
6.6.2.1 Tamaño de grano	33
6.6.3 Ensayo de tracción.....	34
6.7 Ensayos de embutición.....	37
6.7.1 Deformación sufrida por el blanco durante la embutición.....	37
6.7.2 Variación de parámetros	39
7 Implementación de posibles soluciones	43
7.1 Tren de corte.	43
7.2 Preparación de lubricante:	45
7.3 Media luna	46
7.4 Rotura de lámina	46
7.5 Arrugas	46

8 Conclusiones.....	46
9 Recomendaciones adicionales.....	47
10 referencias bibliográficas.....	48

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1** Procesos de formado metálico comprendido en la manufactura de una lata de aluminio de dos piezas para bebidas.
- Figura 2** Estado tensional en la zona de la pared (Schey, 2000)
- Figura 3** Simulación con elementos finitos del producto de embutido
- Figura 4** desarrollo de una caja de base rectangular
- Figura 5** No conformes de abril de 2018 hasta abril de 2019
- Figura 6** No conformes de marzo y abril de 2019
- Figura 7** Defectos en corte
- Figura 8** Blanco teórico para lavaplatos de referencia 60 x 40
- Figura 9** Preparación de lubricante
- Figura 10** Defectos de embutido
- Figura 11** Composición química de la muestra OC
- Figura 12** Composición química de la muestra MCP
- Figura 13** Metalografías tomadas en la dirección normal a la laminación, atacadas durante 2 minutos
- Figura 14** Metalografías tomadas en la dirección paralela a la laminación, atacadas 1min 30s
- Figura 15** Tamaños de grano
- Figura 16** Grafico esfuerzo deformación
- Figura 17** Ensayo de embutición con nodos
- Figura 18.** Medidas del espesor de lámina embutida
- Figura 19** Plantilla para medir las dimensiones
- Figura 20** Tanque de preparación de lubricante
- Figura 21** Planos Maquina de ensayo ERICHSEN

LISTA DE TABLAS

- Tabla 1** Estadística de unidades no conformidades de abril de 2018 hasta abril de 2019
- Tabla 2** Calculo de área superficial
- Tabla 3** tamaños de grano
- Tabla 4** Resultados ensayo de tracción
- Tabla 5** propiedades de rollos analizados del proveedor Columbus
- Tabla 6** Defectos presentados en la embutición
- Tabla 7** Medidas de aletas de recorte del ensayo
- Tabla 8** Medidas de aletas de recorte sin variación de parámetros
- Tabla 9** Datos obtenidos desde el 20 de febrero hasta 07 de junio

DIAGNÓSTICO DEL PROCESO DE EMBUTICIÓN DE LAVAPLATOS DE LA EMPRESA SOCODA: DETECCIÓN DE DEFECTOS Y POSIBLES SOLUCIONES

1. RESUMEN

Socoda es una compañía con más de 65 años de experiencia en la producción de lavaplatos, destacada por la diversidad de productos que esta maneja. Entre la gran variedad de estos últimos existe la referencia 60 x 40, la cual presenta en su producción no conformidades tales como la media luna, la rotura de lámina y arrugas. Las no conformidades de esta referencia representan casi un 40% de la cantidad de no conformes totales en el año 2018. Debido a esto surge la necesidad de realizar un diagnóstico de las posibles causas de las no conformidades e implementar posibles soluciones con el fin de disminuirlas. Por lo cual se realizó un seguimiento al proceso de embutido para conocer las posibles causas de las no conformidades, en las que se encontró procedimientos realizados de forma inadecuada, que consistía en una forma errónea de preparar el lubricante y grandes desperdicios de material. Adicional a eso se realizó la caracterización de la materia prima, donde se descubrió que uno de los proveedores de materia prima envía acero con precipitaciones de carburos e inclusiones no metálicas. Esto afecta en gran medida la producción de lavaplatos, principalmente en la no conformidad de rotura de lámina. También se hicieron algunos ensayos en las prensas de embutición donde se descubrió que los mapas de lubricación presentan grandes cambios cuando estos son modificados mínimamente y que la rebaba influye en el defecto de media luna. Todo esto nos llevó a realizar las siguientes sugerencias, un equipo de ensayo erichsen para determinar la embutibilidad de la lámina, una caracterización periódica del acero de los proveedores, la implementación de formatos para el control de lámina, un tanque de preparación de lubricante para evitar errores en la preparación y arrumar la lámina siempre en la misma dirección de corte.

Palabras claves: Embutición, acero inoxidable, no conformes, lavaplatos 60x40.

2. INTRODUCCIÓN.

El embutido es un proceso en el cual se deforman láminas metálicas para la generación de cuerpos con geometrías huecas como cajas, cilindros y algunas otras más complejas; en este caso se trata del tanque de los lavaplatos elaborados en la empresa Socoda. La embutición sustituye algunos procesos tales como la soldadura y maquinado, lo que hace que el producto pueda ser fabricado en serie con mayor rapidez, a menor costo y de esta manera se obtenga una mayor productividad. [5]

Luego de la etapa de embutido se da paso a un proceso de calibración y estampado, en el cual se le da profundidad al tanque, y en caso de ser necesario, dependiendo de la referencia, se realiza un estampado en la pieza, para así ser llevado a la fase de corte en el que se eliminan los excedentes de las láminas, luego se realizan los cortes de canastilla y marcado para finalmente ser empacados y enviados.

El tanque del lavaplatos es fabricado en acero inoxidable, el cual es una aleación que tiene como aleante principal el cromo y puede contener carbono, níquel, molibdeno, silicio y manganeso entre otros. Estos aleantes le otorgan al acero una buena resistencia a distintos tipos de corrosión, principalmente a la oxidación. Esta resistencia se debe a una capa de óxido de cromo (Cr_2O_3), que recibe el nombre de cromita, la cual protege el acero de los ambientes oxidantes [6]. Los materiales utilizados para la producción de lavaplatos son los aceros AISI SAE 304 y 430 por su bajo costo y sus buenas propiedades mecánicas y anticorrosivas.

Los parámetros más importantes en el proceso de embutido son: el material utilizado, el calibre de la lámina, la presión, la velocidad, el lubricante y los mapas de lubricación, ya que afectan de manera directa la producción, pudiendo generar durante la fase de embutido una serie de problemas entre los que podemos encontrar: media luna, rotura de lámina, arrugas, ondulaciones, entre otros. Dichos problemas ocasionan la pérdida de la pieza, lo que requerirá un reproceso o que esta sea vendida por un precio más bajo. Debido a las grandes pérdidas que generan las piezas no conformes en la producción de lavaplatos, surge la necesidad de realizar un diagnóstico de los factores que los aumentan a lo largo del proceso y que de esta manera afectan la producción, para así plantear posibles soluciones. Luego de una revisión del estado de la producción se decidió tomar para el estudio el lavaplatos de referencia 60x40, ya que este es el que más no conformidades presenta, siendo para el 2018 un 39.30% de la cantidad total de no conformes.

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo general

Realizar un diagnóstico del proceso de embutido de lavaplatos en la empresa Socoda de manera que se puedan identificar los defectos más comunes y sugerir posibles soluciones para disminuir los no conformes.

3.2 Objetivos específicos

- Establecer las condiciones actuales en la línea de embutición de lavaplatos de la empresa Socoda.
- Identificar las causas de no conformidad más comunes en los lavaplatos.
- Plantear alternativas que permitan disminuir los productos no conformes a lo largo del proceso.

4 MARCO TEÓRICO

4.1 Embutido

El embutido es un proceso en el cual se toma una pieza en bruto de hoja plana de acero, también conocida como blanco o desarrollo, de forma rectangular o redonda con el fin de obtener un objeto de forma hueca. Esta se mantiene sujeta por medio de placas de sujeción integradas en los moldes, luego de esto la parte del molde que posee el punzón, baja y empuja la lámina dentro de la cavidad del molde haciendo que esta tome la forma deseada. Por sujetar no se debe entender que la placa queda totalmente fija, si no que existe una adhesión del borde del blanco con la superficie del molde, de tal forma que permita el flujo del metal sin generar deformaciones como pliegues o arrugas. Este proceso tiene la capacidad de producir piezas con gran profundidad, pero también puede ser utilizado para la elaboración de partes poco profundas. En la *Figura 1 (Figura 16.31 [5])* podemos apreciar la ilustración del proceso de embutido en el cual se le da la forma a la pieza y el re-embutido en el cual se le da las dimensiones finales a la pieza embutida. También se pueden embutir piezas sin placas de sujeción, pero esto se hace principalmente para piezas poco profundas o de geometrías muy sencillas.

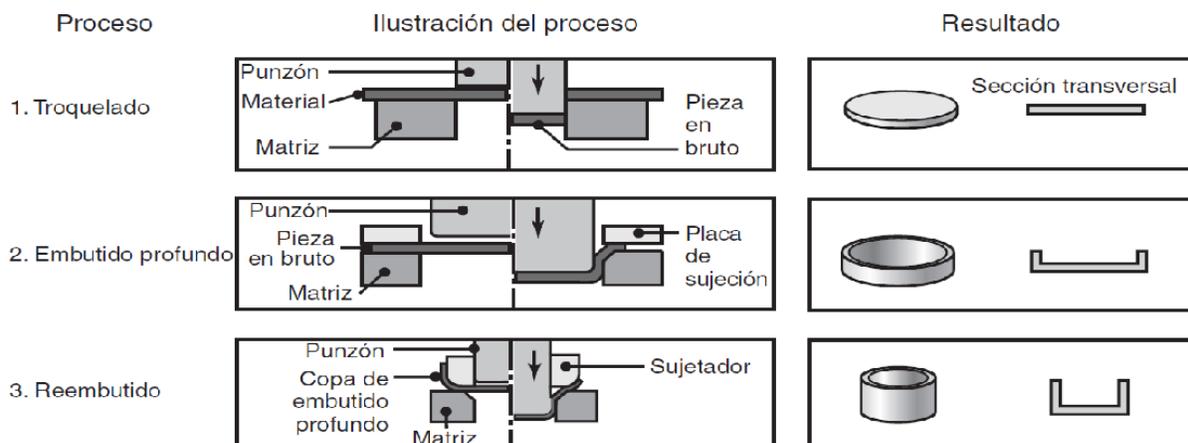


Figura 1. Procesos de formado metálico comprendido en la manufactura de una lata de aluminio de dos piezas para bebidas. [5].

La hoja metálica en la operación de embutido no debe cambiar su espesor, por lo que se asume que el área del blanco debe ser igual o superior al área de la pieza. Aunque a nivel práctico esto no se cumple con exactitud se destaca la importancia del espesor del blanco, ya que si este es muy pequeño a la hora del embutido puede generar piezas con un espesor muy delgado y con propiedades mecánicas bajas o inclusive generar roturas durante el proceso.

Durante el proceso de embutido el material experimenta una serie de esfuerzos que generan estados de tensión y deformación, que se pueden describir por medio de una continua serie de campos tensoriales que varían con el tiempo y se pueden simplificar en función de la zona de trabajo. En una embutición rectangular los estados de tensión y deformación se analizan en tres zonas principalmente:

4.1.1 Zona del ala: Esta es la zona correspondiente del blanco que no penetra entre el punzón y la matriz. La presión que ejerce el punzón durante la embutición en el fondo de la pieza genera un esfuerzo de tracción sobre la pared y este ejerce sobre el ala una tracción en la dirección radial. A la vez cuando el metal fluye dentro de la matriz la dimensión del ala disminuye, lo que genera una compresión circunferencial, que puede generar la formación de arrugas, pandeo y pliegues, para evitar que esto ocurra se hace uso de las placas de sujeción. En resumen, en esta zona tenemos esfuerzos de tracción radial, compresión circunferencial y en menor medida compresión en la dirección del espesor.

4.1.2 Zona de pared: Zona correspondiente a la pared de la pieza y al metal en contacto entre el punzón y la matriz. Cuando el punzón ejerce presión sobre la base o fondo se transfiere un esfuerzo de tracción sobre la pared y esto tiene como consecuencia un alargamiento en esta zona con dirección del esfuerzo y una contracción en sentido circunferencial. La deformación en el sentido circunferencial es impedida por el punzón y la matriz, lo que ocasiona que las dimensiones permanezcan constantes en este sentido. En resumen, en esta zona tenemos esfuerzos de tracción longitudinal, tracción circunferencial y una compresión en la dirección del espesor.

4.1.3 Zona del fondo: Esta zona corresponde al fondo de la pieza y por una ausencia supuesta de rozamiento entre el blanco y el punzón existe una tracción biaxial.

En la *figura 2*. podemos observar algunos de los esfuerzos que soporta el blanco en el proceso de embutición, los cuales fueron descritos anteriormente.

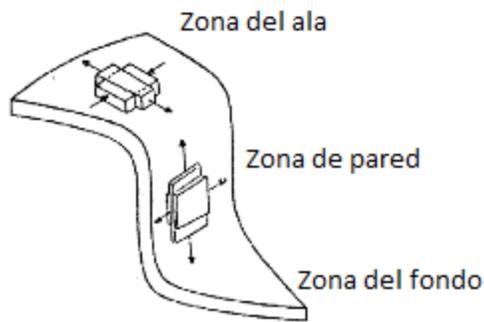


Figura 2. Estado tensional en la zona de la pared (Schey, 2000) [13]

En la figura 3 podemos observar una simulación con elementos finitos en la cual, los elementos son triángulos lineales en 2D que se van ajustando a la geometría y deformación que sufre el blanco durante el proceso. Las zonas que sufren una mayor deformación tendrán un mayor número de elementos con un tamaño reducido. En la figura 3a observamos los nodos en la lámina antes del embutido y en la figura 3b podemos observar la pieza luego del proceso. [13]

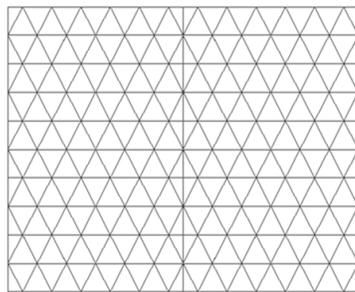


Figura 3a. Visión general de la malla antes de la deformación [13]

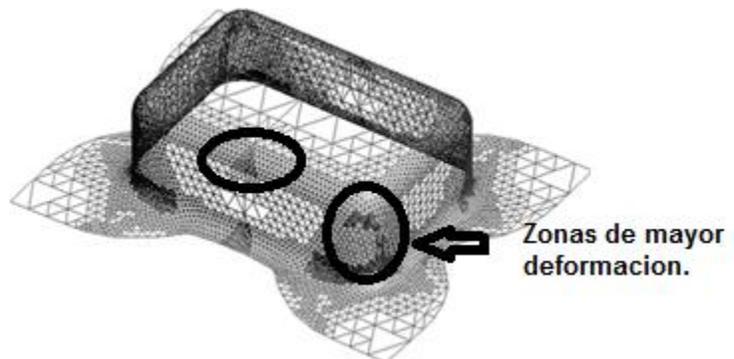


Figura 3b. Visión general de la malla al finalizar el proceso de embutición [13]

Figura 3 Simulación con elementos finitos del producto de embutido

4.2 Lubricante

En el proceso de embutido uno de los factores más importantes es la lubricación, ya que con esta se reduce el rozamiento entre la lámina de acero, el pisador y la matriz, lo que nos permite tener un mejor acabado superficial en la pieza final, una mayor vida útil de la pieza y de los troqueles de embutición, ya que estos sufren un menor desgaste. Adicional a esto

también se tiene que el esfuerzo requerido para la embutición es menor, lo que implica un menor gasto energético. [15]

Esta lubricación debe ser controlada mediante mapas de lubricación, ya que existen partes de la lámina que sufren mayores esfuerzos que otras y mediante la lubricación las mismas fluyen dentro de la cavidad de los moldes, si la lubricación es excesiva habrá de igual forma un flujo excesivo de material, pero si esta es poca, la lámina tenderá a generar fracturas. La elección del lubricante adecuado para el proceso va relacionada con el tipo de material a embutir y la geometría de la pieza. El utilizado en este caso por la empresa es un lubricante sugerido por el diseñador de los troqueles de embutición, se trata entonces de un lubricante semisintético que debe mezclarse con agua el cual no se nombra por confidencialidad de la empresa.

Los fluidos base agua para trabajo en metales deben ser mezclados apropiadamente para obtener su máximo desempeño, se deben mantener en el rango de concentración apropiado y este debe ser monitoreado para garantizar que la mezcla aun conserve la proporción adecuada. En la actualidad existen varios tipos de fluidos de base acuosa, entre ellos se encuentran aceites solubles, fluidos semisintéticos y fluidos sintéticos. Estos fluidos deben ser mezclados en las cantidades exactas para cada una de las aplicaciones, teniendo en cuenta que es preferible evitar realizar las acciones manuales, ya que estas dan una alta posibilidad de error, como lo es la adición imprecisa de los volúmenes, lo que varía la concentración en la mezcla dando así una proporción no indicada. Por otro lado, se genera un orden de adición incorrecto si se adiciona agua al concentrado, pues existe la posibilidad de formación de una emulsión inversa y esto afecta el desempeño en el trabajo del fluido.

Es fundamental conocer que estos fluidos poseen algunos ingredientes para mejorar sus propiedades, entre los cuales encontramos:

4.2.1 Biocidas: Son los encargados de combatir las bacterias y hongos que pueden dañar el lubricante y originan la rancidez.

4.2.2 Inhibidores de corrosión: Se encargan de prevenir la corrosión tanto en la maquinaria como en la pieza trabajada.

4.2.3 Lubricantes: Se encargan de disminuir el desgaste en la maquinaria aumentando su vida útil, incrementan la productividad y mejoran el acabado.

4.2.4 Agente antiespumante: Este agente evita que se forme espuma en el lubricante y cuando esta se forma ayuda a que desaparezca.

El agotamiento selectivo de los ingredientes del lubricante se da cuando se expone a diferentes ambientes la mezcla, como ejemplo tenemos la suciedad en los recipientes o en el agua, lo que hace que el biocida se agote, generando problemas de bacterias y hongos. [11]

4.3 Medida del blanco de embutido

El tamaño del blanco de embutición es otro factor que hay que considerar, ya que es uno de los parámetros más importantes, pues si este es de un tamaño pequeño puede que exija demasiado el material ocasionando daños en la pieza final, y si este es muy grande puede generar un exceso de sujeción generando arrugas y otros problemas de embutido, por tanto, a continuación, se describen los pasos para el cálculo del desarrollo teórico para una pieza rectangular.

Existen varias formas de calcular el desarrollo teórico de una pieza de embutición, pero guiados por el libro *Estampado en frío de la chapa* [12], la similitud con los blancos prácticos y la facilidad de cálculo se ha escogido el método que se describe a continuación:

1. Se comienza trazando un cuadro con las dimensiones de los lados de la pieza sin incluir los radios de las esquinas a_1 y b_1 (ver figura 4.)
2. Se añaden las longitudes correspondientes a los desarrollos de los radios de la base y la altura de la pieza sin este radio.
3. Seguidamente se calcula el diámetro que corresponde a un desarrollo de un cilindro imaginario con la fórmula $D = \sqrt{d^2 + 4dh}$ donde d es el diámetro de las esquinas y h es la altura
4. El límite de los chaflanes se determina por el diámetro D menos g donde g es un valor determinado experimentalmente, en el que el chaflán de la esquina mide la tangente del diámetro aproximadamente $g = \frac{D}{32}$
5. Por último, tenemos la unión de las caras por el radio R que es igual al desarrollo del radio de la base más la altura [12].

Los pasos mencionados los podemos observar en la figura 4. en la cual se tiene los datos de cada una de las partes del desarrollo.

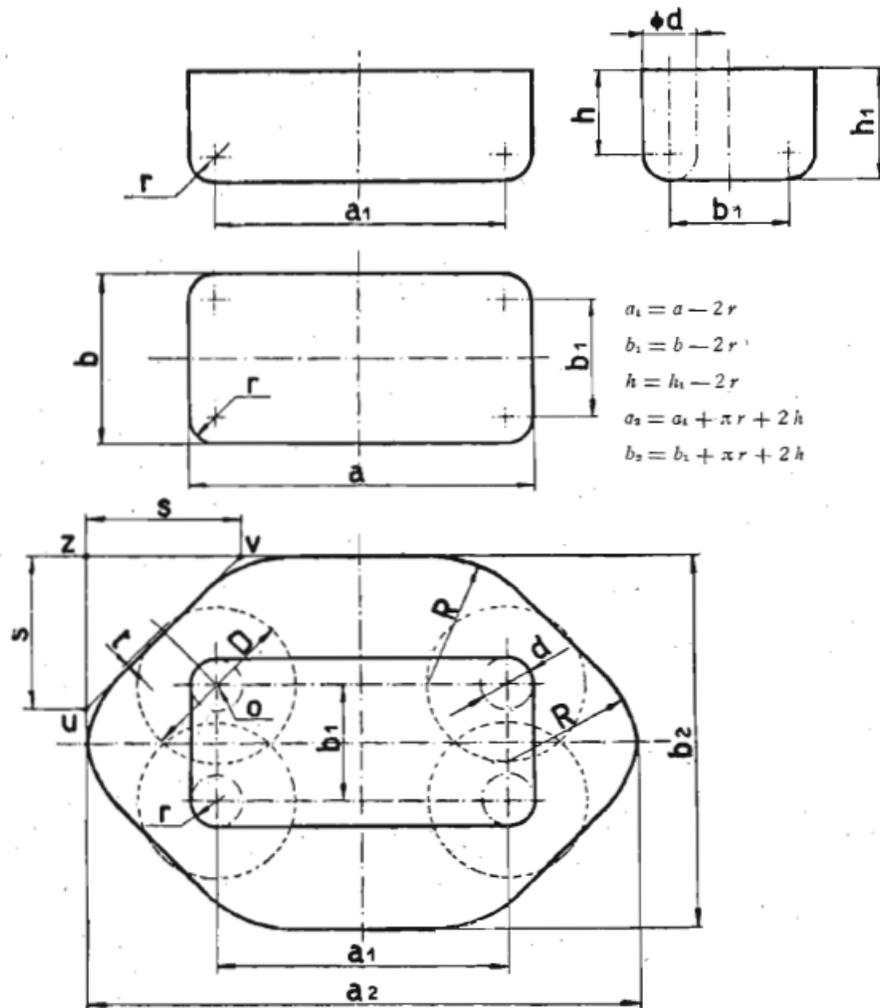


Figura 4. desarrollo de una caja de base rectangular [12]

4.4 No conformidades y posibles causas

Existen varios factores que pueden generar una gran cantidad de defectos en el embutido como lo son:

- Durante todo el proceso de embutido, el desplazamiento de la pieza dentro del molde genera esfuerzos circunferenciales en el borde de la misma, lo que tiende a ocasionar que esta se doble.
- Las arrugas se pueden generar si no se tiene la presión suficiente, por eso para evitarlas o disminuirlas se debe controlar la fuerza de sujeción en función del recorrido del punzón, si la fuerza es excedida se puede generar la ruptura de la lámina.
- La lubricación, ya que si esta no se aplica de la manera correcta el material fluye más en una dirección que en otra, lo que genera el defecto de media luna.

- Las propiedades mecánicas de la lámina, si esta presenta baja ductilidad, no tendrá la elongación suficiente para soportar los esfuerzos que se imprimen durante el proceso y el material sufrirá fractura.

Los factores antes mencionados son los principales problemas que se pueden presentar durante el proceso de embutido de láminas metálicas, pero existen más que se podrían abordar a lo largo del desarrollo de este trabajo, estos se deben directamente a errores relacionados con los operarios entre los cuales tenemos [3][12].:

4.4.1 Corte perimetral: En este proceso los principales defectos y sus causas son: tallones, logo contrario, rayas. Estos defectos son principalmente causados por descuidos de los operarios, por ejemplo, el logo contrario se da cuando los operarios de troquelaría no realizan el montaje de la parte que imprime el logo de la forma adecuada y este queda invertido, los tallones y rayas se presentan por suciedad presente al momento de embutido o debido a que la lámina presentaba este problema antes del embutido.

4.4.2 Corte de canastilla: En este proceso los principales defectos y sus causas son: rebabas, rotura de canastilla, tallones, profundidad de canastilla no indicada, doble corte. La rebaba se presenta cuando el troquel ha sufrido algún daño o ya necesita mantenimiento debido a su alto uso, el resto de defectos se da por mala calibración del equipo o descuido del operario que realiza un proceso de corte sobre otro que ya había realizado, como es el caso del doble corte.

4.4.3 Marcado: En este proceso los principales defectos y sus causas son: marcado no definido, doble marca, manchado. La doble marca se da por descuido del operario que imprime el logo dos veces en un mismo lavaplatos, mientras que los otros dos defectos se dan por un mal calibrado del equipo de marcación laser el cual tiene un marcado poco definido o un exceso de este.

4.4.4 Empaque y transporte: En este proceso se puede presentar atascamiento de un lavaplatos con otros, ya que son empacados de a 5 unidades, golpes durante su movilización y transporte, aunque esto ocurre con muy poca frecuencia, tanto que no es considerado en el análisis.

4.5 Conformabilidad

Es la capacidad que posee un material para ser deformado mediante procesos como laminación, flexión, embutición profunda, entre otros. Esta es mayor cuando la capacidad de deformarse en la zona plástica sin fractura es mayor y cuando el límite elástico tiene un valor menor. El endurecimiento por deformación puede ser una ventaja, pero si este es excesivo puede impedir la deformación localizada generando daños en las piezas trabajadas. [8]

4.6 Acero inoxidable AISI SAE 304

Debido a su alta resistencia a la corrosión y buenas propiedades mecánicas tal y como lo es la adecuada ductilidad, el acero AISI SAE 304 es el más utilizado entre los aceros inoxidables. Estas propiedades mecánicas son atribuidas a aleantes como el manganeso, cromo y níquel los cuales le aportan al acero dureza, resistencia al desgaste, resistencia a la tracción y tenacidad. Por otro lado, las propiedades también aumentan debido a la transformación de la fase austenita presente en la estructura, dicha fase se transforma en martensita inducida por tensión. La alta resistencia a la corrosión se debe al contenido de cromo que este posee, el cual es aproximadamente de un 18% y forma una película protectora pasiva de apariencia brillante y delgada. Todas estas propiedades, su buena capacidad de embutición, soldabilidad y su bajo costo, comparado con los demás aceros inoxidables con propiedades similares hacen que este sea utilizado para grandes producciones y por esto es el acero que se utiliza para la producción de lavaplatos [4] [1].

4.7 Acero inoxidable AISI SAE 430

El acero inoxidable AISI 430 es considerado un acero inoxidable de tipo ferrítico, es utilizado en gran proporción a nivel industrial debido a su bajo costo, buenas propiedades mecánicas y buena resistencia a la corrosión, más aún cuando este posee un pulido brillante. La alta resistencia a la corrosión se da debido a su contenido de cromo, este elemento en contacto con el oxígeno del ambiente genera una delgada capa de óxido de cromo que lo hace resistente a medios oxidantes [2]. Este acero contiene entre 16 y 18% de cromo y como máximo hasta 0,12% de carbono, dicho material tiene la cualidad de ser magnético lo que hace que se diferencie con facilidad del tipo 304, algunas de las aplicaciones de este acero son vajillas, cubiertos, cocinas, entre otros [7].

4.8 Descripción de los efectos de cada aleante en el acero inoxidable

Cada uno de los elementos aleantes presentes en el acero tiene un efecto específico, anteriormente se dio una idea de ellos, pero en este apartado se dará el efecto generado por cada uno de estos. Las excelentes propiedades mecánicas y la alta resistencia a la corrosión son características obtenidas por la adición de elementos y dependen del tipo de elemento y la cantidad adicionada, lo cual nos otorga la posibilidad de crear un amplio grupo de materiales, estos aleantes son.

4.8.1 Cromo: para los aceros inoxidables este es el elemento más importante, ya que confiere al acero la autoprotección contra varios tipos de corrosión, esto lo hace formando una capa uniforme y delgada de óxido de cromo, esta es la encargada de la protección del material. Este elemento también aumenta la resistencia a la fatiga, el límite elástico y la tenacidad.

4.8.2 Níquel: es un elemento estabilizador de la austenita, aumenta la tenacidad y la ductilidad y disminuye la corrosión en medios ácidos, aumenta la capacidad de temple y muestra mayor facilidad de formar martensita a mayor contenido del elemento.

4.8.3 Carbono: Este elemento se encuentra siempre presente en el acero, en proporciones diferentes dependiendo del tipo de acero, este elemento confiere propiedades como alta resistencia, dureza y templabilidad. Pero el aumento de la concentración del mismo elemento está afiliado a una mala soldabilidad y aumento de la fragilidad del acero. Este elemento es un fuerte estabilizador de la austenita, siendo más efectivo que el níquel hasta 35 veces, por ende, un acero austenítico con un bajo contenido de carbono requiere un alto contenido de Ni. A pesar de ello al ser un elemento formador de carburos, al estar en grandes cantidades puede favorecer el aumento de la susceptibilidad del acero a la corrosión intergranular.

4.8.4 Molibdeno: Este elemento mejora la templabilidad, la resistencia a la tracción, aumenta la resistencia química y la pasividad de los aceros inoxidables. También aumenta la resistencia a la corrosión por picadura y hendidura, mejorando en las aplicaciones donde se encuentra en contacto con sustancias salinas y ácidas.

4.8.5 Manganeso: es un elemento utilizado como desoxidante y evita el desprendimiento de gases en la solidificación del acero, lo que podría generar poros concentradores de esfuerzos, disminuyendo en gran medida las propiedades del material. También mejora la ductilidad en caliente y aumenta la solubilidad del nitrógeno.

4.8.6 Silicio: este elemento incrementa la resistencia a la oxidación a altas temperaturas y en soluciones fuertemente oxidantes a temperaturas bajas. También estabiliza la fase ferrítica en el acero.

4.8.7 Cobre: Este elemento es adicionado con la finalidad de aumentar la resistencia del acero al ataque de corrosión por picadura, haluros o mejorar la resistencia a la oxidación. Otros elementos que se utilizan con este mismo fin son el aluminio, titanio y niobio.

Existen otros elementos que son adicionados, pero en pequeñas cantidades como los son el azufre y el fósforo, las características que aportan estos elementos comparada con los elementos antes mencionadas son bajas, el fósforo aumenta la resistencia a la tensión y maquinabilidad y el azufre mejora la mecanización. En general se consideran impurezas [9] [10] [19].

4.9 Sensibilización

Los carburos son precipitados posicionados hacia los límites de grano o en sitios preferenciales para la nucleación al interior del grano, en forma de $M_{23}C_6$ cuando se enfría o calienta lentamente un acero inoxidable en un rango de temperaturas entre los 400 °C y 900 °C, esto se da porque los límites de grano son zonas de relativa alta energía. Cuando los carburos se forman, las zonas aledañas a los límites de grano quedan empobrecidas en Cr aproximadamente menor al 12%. Debido a esto se puede producir un ataque localizado cuando se interacciona con un ambiente corrosivo y como consecuencia se tiene un acero inoxidable sensibilizado. Esta precipitación de carburos también afecta las propiedades mecánicas del material, los carburos precipitados en los bordes de grano impiden el libre movimiento de estos bordes durante la deformación, esto se debe a que los precipitados halan el límite de regreso a su posición debido a la fuerza restrictiva que estos realizan. Un tamaño de grano fino y la reducción de movilidad de los límites de grano, dan paso a un gran número de anclajes Y apilamientos los que ocasionan en el material un incremento de dureza y resistencia. [20]

4.10 Inclusiones no metálicas

Son partículas de sulfuros, óxidos, aluminatos, escorias y silicatos, presentes en varias cantidades y posiciones, dispersas en los productos terminados. Estas son consideradas defectos cuando están presentes en los aceros y son catalogadas en función de su tamaño y densidad. Estas inclusiones pueden ser de dos tipos, endógenas las que se forman en la elaboración y solidificación del acero, cuando los sulfuros y óxidos se precipitan por la reacción del oxígeno con el silicio o aluminio y del azufre con el manganeso. El segundo tipo son las inclusiones exógenas, que son procedentes de la contaminación externa, como la erosión mecánica o química que sufren los refractarios en contacto con el acero fundido durante la colada. Las

inclusiones no metálicas son causadas principalmente por realizar de manera incorrecta las técnicas de desoxidación, alto contenido de azufre en la colada, mala elección de refractarios, temperaturas incorrectas en la colada y una velocidad inadecuada en la colada.

Las inclusiones no metálicas alteran las propiedades mecánicas y físicas del acero como la resistencia a la fatiga, la ductilidad, la calidad del acabado, la resistencia a la corrosión, capacidad de soldadura y la capacidad de corte. Durante los procesos como la forja o el laminado, las inclusiones se orientan en la dirección de la fibra, formando cadenas o formas de rosarios las más duras y alargándose las más plásticas. [23]

5 METODOLOGÍA

5.1 Búsqueda bibliográfica

Como estrategia de búsqueda se realizó consultas en science direct, scielo, ASTM, libros digitales y físicos para obtener información acerca del embutido profundo. Se hizo búsquedas en las referencias de algunos de los artículos referenciados para profundizar en el tema. Se buscó (embutido profundo o deep drawing) y los principales problemas relacionados con el embutido profundo. Los artículos no fueron filtrados por fechas, ya que la información solicitada en los últimos años presenta principalmente simulaciones del proceso.

5.2 Metodología para determinar los defectos

Para no conformidades presentes durante los procesos se realizó una búsqueda bibliográfica, adicional a esto la empresa ya tenía estipulado la mayoría de los defectos lo que fue de gran ayuda, tanto en el tren de corte como en las prensas de embutición, por lo que a consideración nuestra quedaron pocos defectos y algunos están relacionados principalmente a problemas con las propiedades mecánicas y fases presentes en el material analizado. Los demás defectos fueron observados a medida que iba se iba trabajando como es el caso de la unión de colada, el cual no estaba incluido en los planes de inspección de la empresa.

5.3 Recopilación de datos

Para la recopilación de datos se usaron formatos que debían ser llenados por los operarios, el formato empelado en las prensas de embutición, ya estaba establecido en la empresa, aunque este sufrió algunas modificaciones para que la toma de datos fuera más sencilla y completa. Para los operarios del tren de corte se implementó un formato, ya que estos no registraban la información correspondiente a su proceso. Esta

información fue recogida diariamente para su digitalización y evitar pérdidas de información.

5.4 Posibles soluciones

La implementación de posibles soluciones se realizó luego de identificar los problemas que presenta la empresa y de una respectiva búsqueda bibliográfica. De esta última se tomaron ideas para la implementación de las posibles soluciones. Adicional a esto, fueron de gran utilidad las sugerencias del personal de la empresa, quienes asesoraron en los productos que se podrían realizar a partir de los materiales recuperados.

5.5 Ensayos de laboratorio

Para que sea posible establecer una relación entre la microestructura, la composición química, las propiedades mecánicas y físicas de un material, se debe realizar una serie de ensayos a las muestras a analizar. Entre los cuales tenemos:

5.5.1 Metalografía

La metalografía es la ciencia que estudia la estructura interna de metales y aleaciones, de esta manera se relaciona la estructura del metal con las propiedades mecánicas y físicas que este presenta. Entre las características estructurales que podemos apreciar mediante la metalografía tenemos las inclusiones no metálicas, las fases presentes en la estructura, tamaño, morfología y distribución del grano, entre otras.

Para la preparación de las muestras se siguió el procedimiento que indica la norma *ASTM E3 - 11 (2017)*. Se cortaron muestras del acero antes de la embutición y las muestras fueron montadas en baquelita para su posterior desbaste y pulido. Las muestras se montaron en la dirección normal y paralela a la dirección de laminación, esto con la finalidad de observar la estructura del acero y las imperfecciones que puedan estar presentes, la probeta montada paralela a la dirección de laminación se observa con la intención de ver la deformación de la estructura por el proceso de laminación y si hay precipitación de carburos presentes en la estructura será posible observarlos sin ataque. [14][16]

5.5.2 Ensayo de tracción

El ensayo de tracción o prueba de tensión proporciona información sobre la resistencia y ductilidad de un material sometido a un esfuerzo de tracción uniaxial. Entre los valores que nos arroja este ensayo encontramos el límite de elasticidad, la ductilidad, resistencia última, entre otros. La prueba se realizó bajo las especificaciones de la norma *ASTM E8*, en la cual especifica las dimensiones de las probetas para el material a ensayar. El ensayo consiste en someter a un esfuerzo creciente el metal hasta que se produzca la rotura y registrar la relación entre la carga (esfuerzo) y el desplazamiento (deformación). En este ensayo se utiliza una máquina universal la cual mide

la resistencia del material a una fuerza estática. Las probetas para este ensayo fueron cortadas en la dirección perpendicular a la dirección de laminación, ya que en esta dirección las propiedades del metal se esperaba que fueran menores, esta lamina poseía un acabado brillante llamado acabado BA. [17]

5.5.3 Composición química mediante espectrometría de emisión óptica

Se realiza este ensayo con un espectrómetro de emisión óptica BRUKER Q8 MAGELLAN, el material de referencia usado fue BAS 467/1, equipo utilizado para determinar la composición química de metales, por medio de la vaporización de la muestra y el análisis de la chispa que se forma. Se excitan átomo e iones, que se desprenden en el proceso y emiten luz que es conducida hacia los sistemas ópticos. Esta luz es analizada mediante detectores foto electrónicos fotosensibles, los que transforman la energía en forma de cargas eléctricas para su posterior análisis.

6 RESULTADOS Y ANÁLISIS

Luego de la revisión de la base de datos de la empresa, se realizó una recopilación de información desde el mes de abril de 2018 a abril de 2019 con la finalidad de conocer con certeza cuales son los defectos que más se presentan y en que proporciones, para enfocarnos primeramente en estos, buscando sus causas y posibles soluciones. Podemos apreciar en la tabla 1 que los proveedores presentan en el siguiente orden los porcentajes de no conformes iniciando con Acerinox, con un 23,93% de no conformes, seguido por Outokumpu con 18,22%, Columbus con 5,63% y finalizando YIEH CORP con 5,5%. Esta tendencia de conformes puede estar relacionada con las propiedades mecánicas de los materiales, tales como el porcentaje de elongación y el límite elástico, además su microestructura y otras propiedades presentes en el material que se analizaran más adelante, como el tamaño de grano, inclusiones y precipitados.

También podemos observar que la no conformidad que más se presenta es la media luna. Esta última hace referencia al flujo excesivo de material dentro de la cavidad del molde que es ocasionada principalmente por una mala lubricación. Por lo tanto, cuando hay exceso de lubricante en una zona determinada el material fluye más en esa dirección que en las otras. Otra de las posibles causas se debe a las dimensiones del blanco, ya que si este es muy pequeño no tiene la cantidad suficiente de material para el estiramiento que sufre. Por último, la rebaba puede ocasionar una mayor sujeción de la lámina en una dirección dentro del molde haciendo que el lado opuesto fluya más. En la figura 5 podemos apreciar que es la no conformidad más común y se presenta directamente proporcional a la cantidad de material embutida por cada uno de los proveedores,

indicando que las propiedades mecánicas de la lámina no afectan en gran medida en este defecto. La segunda no conformidad que más se presenta es la rotura de la lámina, la cual ocurre cuando la lámina se fractura, bien sea de forma horizontal o vertical, y puede ser causada por muchos factores como la inadecuada fuerza del pisador (generalmente insuficiente), lo que ocasiona que el material se arrugue haciendo que no sea posible su desplazamiento al interior de la matriz. Otros factores que causan la rotura de la lámina son las bajas propiedades mecánicas del acero, un adelgazamiento excesivo del material (por flujo de material excesivo en una sola dirección o mal centrado de la pieza), mala lubricación, endurecimiento por deformación, excesiva velocidad de embutición, descentramiento del punzón, problemas de molde como radios muy pequeños o el huelgo muy pequeño. La tercera no conformidad más común son las arrugas, que son ocasionadas casi siempre por la poca fuerza en la placa de sujeción que causa que el material fluya con una velocidad excesiva dentro del mismo y no le permite su deformación plástica. Esto se produce casi siempre en los radios de la pieza y en la aleta superior del estampado. Otros factores que pueden ocasionar la formación de arrugas son la excesiva velocidad de embutición y una lámina con un espesor no constante. Para las no conformidades de rotura de lámina y arrugas, vemos en la figura 5 que, aunque YIEH CORP es el proveedor más utilizado, presenta una menor cantidad de piezas con estos defectos que COLUMBUS. De manera similar ocurre con ACERINOX y OUTOKUMPU, lo que nos indica que las propiedades mecánicas y físicas del acero influyen en gran medida en estos defectos. Se agruparon de esta manera los proveedores, ya que las cantidades de material embutido son equiparables. La cuarta no conformidad que se presenta, los tallones, aparece en pequeñas proporciones en comparación con las 3 descritas anteriormente. Esta última es causada cuando elementos pequeños, exceso de plástico o la quemadura de este aparecen durante la embutición, ocasionando que el producto final quede con marcas o realces que dañan su geometría.

Tabla 1. Estadística de unidades no conformidades de abril de 2018 hasta abril de 2019

Proveedor	Total embutido	Nc: No Conformes								
		Arrugas	Media Luna	Manchas	Tallones	Rayas	Rotura Lámina	Total	% Nc	% Nc Total
Acerinox	4188	334	393	0	0	0	277	1004	23,97%	0,01
Columbus	45372	367	1367	0	0	0	821	2555	5,63%	0,02
Outokumpu	6135	216	540	45	0	28	289	1118	18,22%	0,01
YIEH CORP	53742	241	1964	16	11	41	683	2956	5,50%	0,03
Total	109437	1158	4264	61	11	69	2070	7633		

%Nc Total embutido	1,06%	3,90%	0,06%	0,01%	0,06%	1,89%
%Nc - Total Nc	0,15	0,56	0,01	0	0,01	0,27

% Nc: hace referencia a la cantidad de no conformes con respecto al total embutido de cada uno de los proveedores

%Nc total: es la relación entre la cantidad de no conformes del proveedor con respecto a la cantidad total embutida de todos los proveedores

%Nc total embutido: es la relación entre el total de cada uno de los defectos con respecto a la cantidad de no conformes

%Nc – total Nc: es la relación entre el total de cada no conformidad con respecto al total embutido.

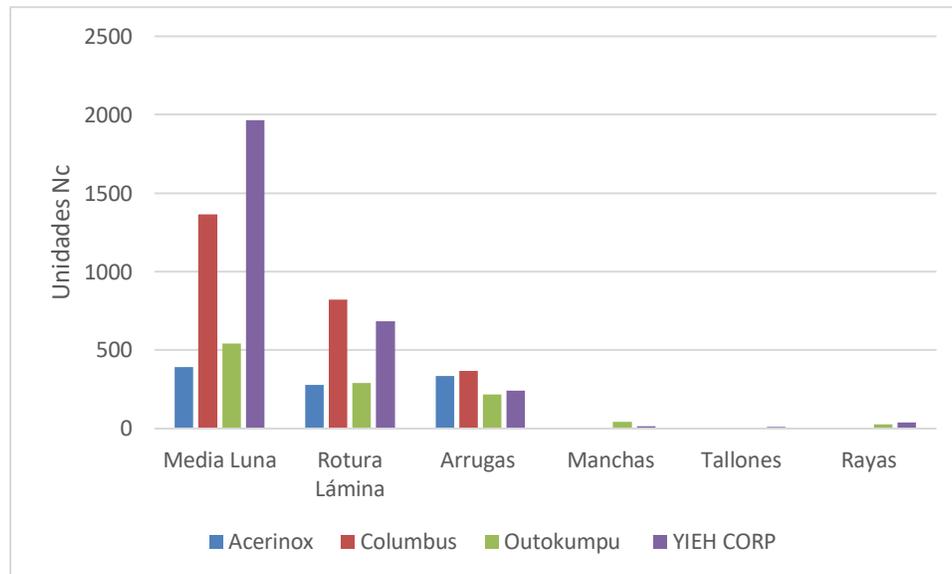


Figura 5 No conformes de abril de 2018 hasta abril de 2019

Para los meses de marzo y abril solo se trabajó con lámina de los proveedores COLUMBUS y YIEH CORP, gracias a que estos dos proveedores presentaron menor porcentaje de no conformidades, de los cuales se obtuvo un 6,69% de no conformes para COLUMBUS y un porcentaje de 12,77 para YIEH CORP lo que hizo que incrementara el porcentaje en la tabla general, pero aun así el proveedor que menor porcentaje de no conformes presenta sigue siendo YIEH CORP.

En la figura 6 podemos apreciar un gran incremento en la cantidad de no conformes presentes para YIEH CORP, comparado con el proveedor Columbus que tuvo menos de la mitad en cuanto al porcentaje. Estos resultados se obtuvieron principalmente debido a problemas con las propiedades de la lámina y problemas de la línea 1.

Unos de los problemas que se pudo apreciar fue el alto límite de elasticidad que presentaba el acero de ambos proveedores, acompañado esto de la falla de la lubricadora cuando se estaba embutiendo la lámina del proveedor YIEH CORP, este fue el único afectado por este problema, ya que cuando se inició el lote del proveedor COLUMBUS este problema ya se había solucionado. Otra de las diferencias que hubo a la hora de embutir, fue que la lámina del proveedor YIEH CORP cuando se inició la embutición tuvo bajo

limite elástico por lo cual no hubo que realizar cambios en el troquel, se trabajó todo el lote completo con las calzas que normalmente tiene y se modifican en casos de emergencia. Caso contrario ocurrió con el proveedor Columbus el cual presentó muchos inconvenientes al inicio del lote, por lo que el molde tuvo que ser modificado cambiando las calzas en su interior para variar la presión a lo largo de la superficie y así poder embutir el lote.

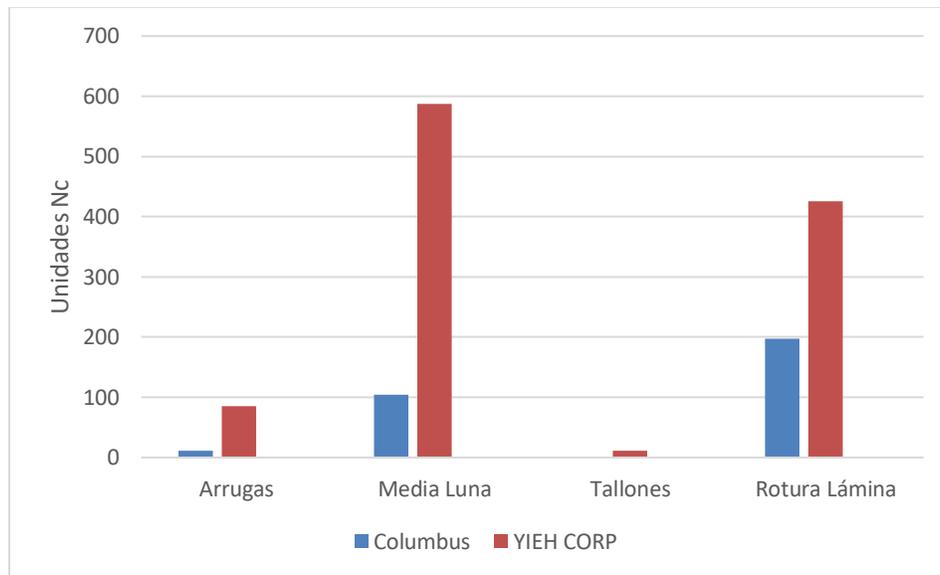


Figura 6 No conformes de marzo y abril de 2019

Posteriormente a la revisión de la base de datos, se realizó un seguimiento al proceso de embutido de lavaplatos en la empresa Socoda, se evidenció falta de control en algunos de los procesos y otros realizados de forma inadecuada, lo cual hace que se produzcan una gran cantidad de no conformes a lo largo del procesamiento de los productos. A continuación, se describen cada uno de los inconvenientes encontrados, la identificación de los modos de falla, sus posibles causas, la caracterización de la materia prima y algunos ensayos de embutición realizados.

6.1 Control de materia prima: En el tren de corte donde se realiza la revisión de la materia prima comprada, tenemos que los operarios son los principales encargados de aceptar y rechazar la lámina, pero estos no tienen el conocimiento suficiente para realizar esta tarea, por lo cual ellos están desperdiciando grandes cantidades de acero útil en el proceso de corte, ya que si la lámina presenta algunos defectos pequeños o medianos está siendo utilizada en procesos de un valor muy bajo comparado con el valor de esta, como lo es el caso de los rieles en el cual se puede utilizar material más económico. En la recepción de lámina hay partes del rollo que posee

problemas como manchas (figura 7j), unión de colada (figura 7i), golpes (figuras 7a y 7e y 7g), rayas (7b), que son ocasionados en el transporte, vienen con estos problemas del proveedor o a la hora de montar los rollos en el tren de corte. Esta lámina no tiene un fin definido y los operarios la están utilizando para rieles.

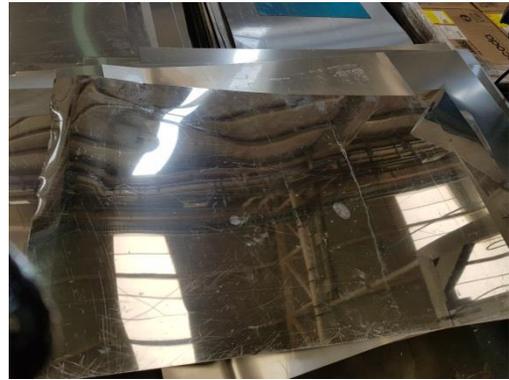
No existen pruebas de laboratorio para la verificación de la calidad del acero comprado, y se guían principalmente por el porcentaje de elongación, sin tener en cuenta otros factores que pueden afectar la lámina como es la composición química, el límite elástico, la resistencia a la tensión, el tamaño de grano, precipitados, inclusiones y si este posee algún tipo de tratamiento que pueda afectar el metal en el proceso de embutido.

6.2 Corte: En el tren de corte hay mucho desperdicio de material por parte del operario como se comentó anteriormente. En muchas ocasiones hay láminas que por un mal plastificado (figura 7d) se convierte en chatarra, esto sucede aproximadamente entre 6 y 8 blancos por rollo ya que quedan mal plastificadas las 3 primeras, a la mitad del rollo se acaba el rollo de plástico protector de lámina y toca montar uno nuevo, en este proceso pueden quedar entre 3 y 4 láminas lo que equivale a 14 kg aproximadamente para la referencia en cuestión, para otras los kilos pueden aumentar en gran medida. La lámina mal plastificada por lo general se almacena de forma inadecuada y sufre golpes, rayas, quiebres, entre otros (figura 7e, 7g, 7b, 7g.), por lo cual no puede ser usada para el fin con el que fue cortada y termina siendo chatarra, esto también ocurre con algunas láminas buenas cuando no tienen el cuidado necesario. Lo mismo ocurre con parte de la lámina que posee una cinta que no permite que el rollo se desenrolle en el transporte (figura 7c), esta está siendo usada para la elaboración de rieles porque no se le quita esta cinta, y esto se presenta en los 4 primeros blancos y los 3 últimos del rollo. Por otro lado, cuando la lámina choca contra la cuchilla de corte esto genera daños en el metal el cual toma una forma cóncava (figura 7f) o talla (figura 7a) lo que puede dañar el blanco o generar problemas en la línea de embutido. También se presenta un mal enderezado que generalmente es por mal manejo del equipo por parte del operario lo que genera problemas en la línea de embutido.

Otro problema que se observó a la hora de cortar es que se cortaron láminas que no tenían las propiedades mecánicas suficientes, y al este tener una medida tan pequeña no puede ser utilizado en otro producto, lo que ocasiona que haya arrumes de lámina catalogada como no conforme sin un propósito definido, además esta ocupa espacio en la planta, pues no puede ser echada a la chatarra debido a su alto costo. No hubo forma de cuantificar la cantidad desperdiciada de lámina, ya que no se tenía un control ni en blancos ni en peso.



a) Golpes, tallones y mal plastificado



b) Rayas



c) Cinta de inicio y final del rollo



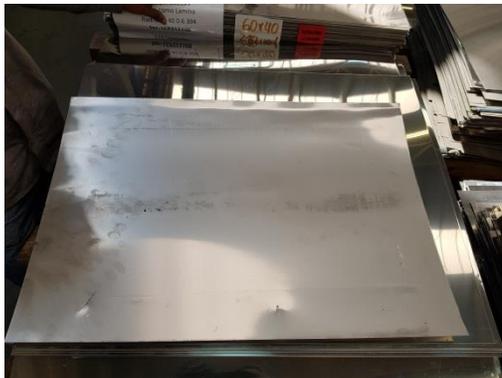
d) Mal plastificado



e) Golpes



f) Pandeo



g) Golpes



h) Quiebre de lamina



i) Unión de colada



j) Manchas

Figura 7. Defectos en corte

6.3 Blanco de Embutido

Como el blanco de embutición es uno de los parámetros principales a tener en cuenta, se realizó el cálculo del área superficial de la pieza, con el fin de saber si el blanco actual cumple con el área suficiente como para que este no sufra deformación y si la sufre no sea lo suficiente para generar defectos en la pieza final, por lo que se tomó el plano de la pieza y se realizó el cálculo como lo podemos ver en la *tabla 2*. El lavaplatos de la referencia analizada tiene un área de 0,435 m². El blanco actual tiene un peso de 2.21 Kg y el retal luego del corte tiene un peso aproximado de 0,5605 Kg lo que nos da como resultado un 25% del peso total, el área del blanco actual es de 0,464 m² si restamos el 25% del retal, tenemos que el área utilizada del blanco es de 0,348 m² con una diferencia de 0,116 m², lo que nos da un valor considerable de área. Indicando así que el área total usada del blanco actual es inferior un 20% al área total de la pieza, lo que puede ser un causante de los principales problemas presentes actualmente en el proceso de embutido en la empresa. Ya que si tenemos un blanco muy pequeño el material debe ser forzado a fluir dentro del molde, pero deformando su estructura lo que ocasiona un adelgazamiento y si este es excesivo ocasiona la rotura, también puede ocasionar que, debido a la deformación, el blanco se endurezca excesivamente haciendo frágil el material lo que puede ocasionar rotura del tanque. Por la pequeña dimensión del blanco al este fluir dentro del molde puede ocasionar un flujo que exceda el límite permitido, lo que ocasiona el defecto de media luna. Por eso surge la necesidad de realizar el cálculo del blanco teórico para esta pieza con la finalidad de modificar el blanco actual para evitar así la posible formación de defectos ocasionado por el tamaño del blanco.

Tabla 2 Calculo de área superficial

Tipo Geometría	Cantidad	Largo	Ancho	A Tot mm2
Rectángulo	2	350	96	67200
Rectángulo	2	152	96	29184
Rectángulo	1	252	450	113400
	Cantidad	r	h	
Cilindro	1	95	96	57302,784
Cilindro	0,5	45	252	35625,744
Cilindro	0,5	45	450	63617,4
	Cantidad	r		
Esfera	0,5	45		12723,48
	Cantidad	Largo	Ancho	
Perímetro	1	600	400	
	1	540	340	56400
Área total				435453,4

El cálculo realizado para el blanco teórico se realizó siguiendo los pasos de la referencia [12] y el resultado lo podemos observar en la *figura 8* el cual es el blanco propuesto para la empresa, aunque este puede estar sujeto a modificaciones para disminución de costos.

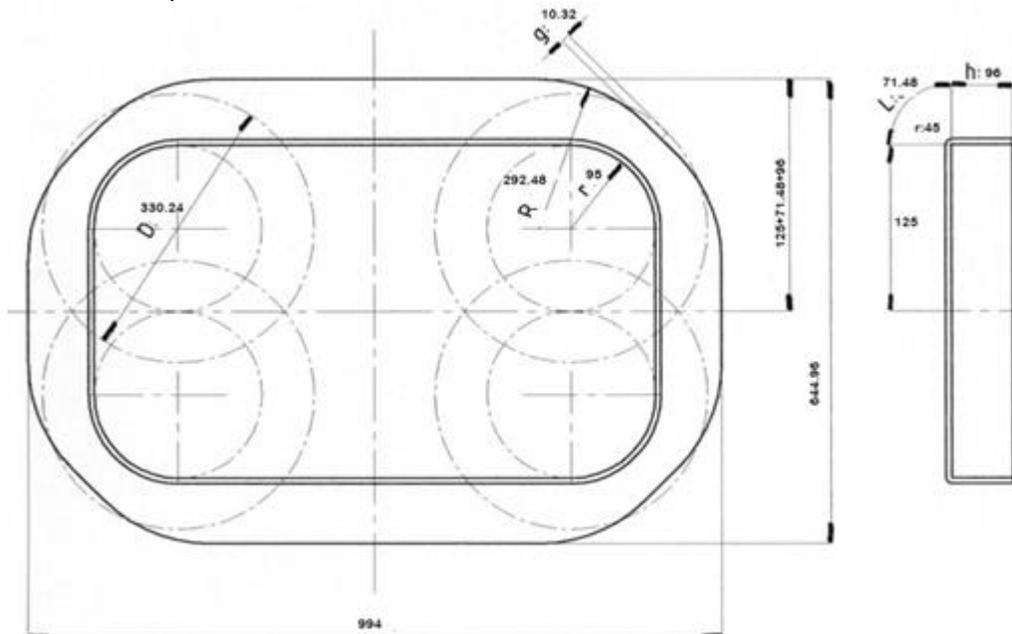


Figura 8 Blanco teórico para lavaplatos de referencia 60 x 40

6.4 Preparación de lubricante: La lubricación es uno de los parámetros más importantes en el proceso de embutido, por tal motivo la preparación de lubricante se debe realizar de una manera cuidadosa, evitando al máximo las variaciones en este a lo largo de todo el proceso, para que

este no sea un factor causante de no conformidades a la hora de embutir. En el momento la empresa no tiene un encargado directo de la supervisión en cuanto a preparación de lubricante y todo lo que esto conlleva. Al observar y analizar cómo se prepara este, se encontró que se estaba realizando de forma inadecuada y sin control alguno, ya que se está utilizando agua de un contenedor en el que se almacena una gran cantidad de suciedad como partículas de madera, bacterias, gusanos, polvo, entre otros (figura 9b). El agua utilizada es una mezcla de agua de lluvia y agua del acueducto local (figura 9a), por lo que existe la presencia de iones cloruros en la misma, los cuales son causantes de la corrosión por picadura que pueden afectar las piezas embutidas y los moldes de embutido. Esta suciedad presente en el agua para la preparación del lubricante puede ser causante de agotamiento selectivo del agente biocida, el cual luego de la preparación no tendrá forma de protegerse contra las bacterias y hongos.

Por otro lado, tenemos las partículas presentes en la mezcla (figura 9d), estas pueden generar tallones en la pieza a la hora de realizar el embutido, ya que en la embutición el blanco copia la forma detallada del molde por lo que la inclusión de partículas de gran tamaño genera la deformación de la pieza. Estas partículas también pueden generar el taponamiento de las boquillas de la lubricadora, dejando así mapas de lubricación mal aplicados a la hora de embutir.

También se observó que la forma de mezclar el lubricante estaba siendo realizada de inadecuadamente en cuanto al mezclado, ya que se estaba vertiendo en el recipiente primero las porción de grasa y luego la porción de agua (figura 9c), lo que hace que se genere una emulsión inversa ocasionando inestabilidad en esta, debido a que los emulsificantes capturan parte del agua, esto genera la pérdida de agentes anticorrosivos, biocidas, variaciones de concentración y algunos otros problemas que se ven reflejados a la hora de embutir y luego del embutido, cuando el metal presenta formación de algún tipo de ataque.



a Suministro de agua



b Suciedad presente en el agua



c Suministro de lubricante



d Lubricante del fondo de la marmita

Figura 9 Preparación de lubricante

6.5 Línea 1

6.5.1 DESTACKER

En el proceso de embutido ocurren fallos que generan no conformidades, comenzando con el *destaker* que es la parte inicial de la línea 1, el cual es el equipo encargado de transportar la lámina del arrume cortado hasta la banda transportadora para su lubricación, en este transporte ocurren fallos como el choque del *destaker*, caída de lámina por fallos de las ventosas, levantamiento de más de una lámina, dejar caer la lámina desde muy alto, dejar caer la lámina antes del punto indicado. Toda esta serie de hechos generan por lo general daños en la lámina que no permiten su embutición y paros no programados de la línea lo cual hace que los otros robots programados sufran un descalibrado generando así más no conformes. De igual manera puede ocurrir con los robots que tiene la línea 1 de embutido, los cuales son los encargados de transportar la lámina lubricada, el producto luego del primer embutido, el producto reembutido, el corte perimetral y el transporte final de este.

6.5.2 Lubricadora

En la lubricadora puede ocurrir: taponamiento, mal calibrado, fugas de aire, rotura de mangueras, fugas de lubricante, entre otros problemas que se pueden presentar. Estos inconvenientes generan falta o exceso de lubricante, que el mapa de lubricación quede corrido o una mala aplicación de la dosis correcta en el área de la lámina. Lo que afecta de manera directa a la hora de embutir ya que se generan defectos como rotura de lámina, media luna y arrugas. Que son los principales defectos encontrados en la embutición. El mapa de lubricación corrido también se puede dar debido a un mal centrado de lámina.

6.5.3 Prensas de embutición

En la línea 1 de embutido trabajan en total 4 personas. Dos encargados principales y dos ayudantes, de los cuales trabajan dos por turno, un principal y un ayudante, los operarios tienen diferentes formas de trabajar, algunos modifican los mapas de lubricación, otros modifican la medida del centrado, y ajustes de este tipo. Ellos lo hacen porque, aunque la línea está automatizada cada uno tiene una forma de trabajo la cual cree es más conveniente. Esto genera que al realizar cambio de turno y por ende de operario se presenten no conformidades debido a los cambios que realizan en los parámetros del equipo.

En las prensas de embutido los principales defectos que se presentan son:

6.5.4 Media luna: Lo podemos observar en la figura 10a y 10b. Algunos productos con este defecto son vendidos como excedente, que es un producto reprocesado con un valor comercial más bajo para que la pérdida no sea total. No todos pueden ser clasificados como excedentes y son vendidos como chatarra.

6.5.5 Rotura de lámina: Se observa en la figura 10c y 10d. Los productos con este defecto tienen pérdida total, ya que no hay forma alguna de recuperarlos. Son vendidos como chatarra.

6.5.6 Arrugas: Se observa este defecto en la figura 10e. Al igual que la media luna, cuando las arrugas en el lavaplatos son leves, estos pueden ser vendidos como excedentes. Los que el personal de calidad no considere son enviados a la chatarra.

6.5.7 Tallones: Observado en la figura 10f. Como este defecto se presenta principalmente en los radios, que son las zonas más marcadas, lo que se catalogan como excedentes son tan pocos que no se encontró registro de esto. Los que se presentaron a lo largo del trabajo fueron enviados a la chatarra.



a) Media luna 1



b) Media luna 2



c) Rotura de lámina



d) Rotura de lámina



e) Arrugas



f) Tallones

Figura 10 Defectos de embutido

6.6 Caracterización de materiales.

6.6.1 Composición química

En la figura 11 y 12 se puede observar los resultados de los ensayos de composición química, el equipo utilizado y las condiciones en las cuales fueron realizados los ensayos. Estos ensayos se realizaron en el laboratorio de espectrometría de la Universidad de Antioquia. Los resultados nos indican

que ambos aceros conciden con el rango del acero inoxidable AISI 304, Según la norma ASTM A240/A240M – 18.[21]

Descripción del Método	
Método de análisis:	Espectrometría de emisión óptica (OES)
Equipo:	BRUKER Q8 MAGELLAN
Materiales de referencia:	BAS 467/1
Condiciones de análisis:	Humedad: 39% Temperatura: 20.9°C

Resultados			
Elemento	%p/p	Elemento	%p/p
Carbono (C)	0.041	Arsénico (As)	<0.00050
Silicio (Si)	0.490	Boro (B)	0.00024
Manganeso (Mn)	1.065	Cobalto (Co)	0.229
Fósforo (P)	0.040	Niobio (Nb)	0.0081
Azufre (S)	0.0071	Plomo (Pb)	0.0016
Cromo (Cr)	18.54	Estaño (Sn)	0.00087
Molibdeno (Mo)	0.0095	Titanio (Ti)	0.0075
Níquel (Ni)	8.317	Vanadio (V)	0.223
Cobre (Cu)	0.039	Tungsteno (W)	<0.0020
Aluminio (Al)	0.0041	-----	-----

Figura 11 Composición química de la muestra OC

Descripción del Método	
Método de análisis:	Espectrometría de emisión óptica (OES)
Equipo:	BRUKER Q8 MAGELLAN
Materiales de referencia:	BAS 467/1
Condiciones de análisis:	Humedad: 40% Temperatura: 20.9°C

Resultados			
Elemento	%p/p	Elemento	%p/p
Carbono (C)	0.019	Arsénico (As)	0.0019
Silicio (Si)	0.457	Boro (B)	0.00077
Manganeso (Mn)	1.180	Cobalto (Co)	0.120
Fósforo (P)	0.033	Niobio (Nb)	0.016
Azufre (S)	0.016	Plomo (Pb)	0.0017
Cromo (Cr)	18.41	Estaño (Sn)	0.0070
Molibdeno (Mo)	0.220	Titanio (Ti)	0.011
Níquel (Ni)	8.232	Vanadio (V)	0.180
Cobre (Cu)	0.210	Tungsteno (W)	0.010
Aluminio (Al)	0.0069	-----	-----

Figura 12 Composición química de la muestra MCP

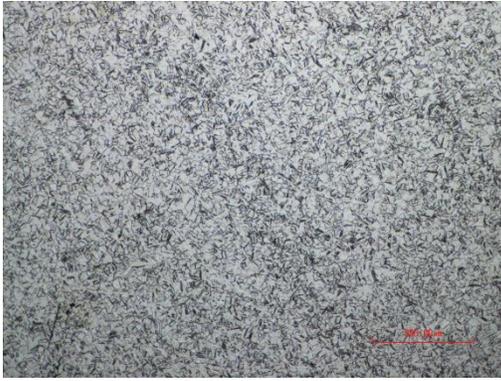
6.6.2 Análisis microestructural

En las figuras de la 13 se puede apreciar las micrografías en la dirección normal a la laminación y en las figuras 14 se puede apreciar las micrografías en la dirección paralela a la laminación para los materiales analizados, ambas a diferentes aumentos y correspondientes a un acero inoxidable 304

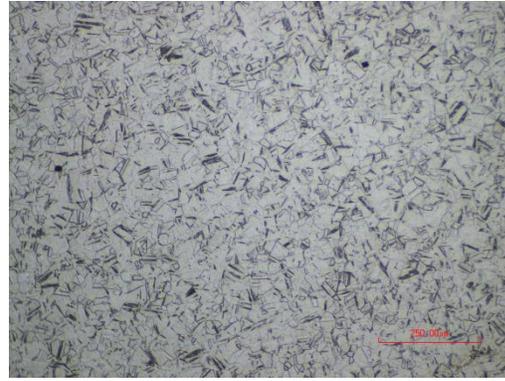
de dos proveedores llamados OC (YIEH CORP) y MCP (COLUMBUS). Las muestras fueron preparadas bajo la norma ASTM E3 [14] en la cual se especifica la forma de reparación de las muestras. Estas muestras luego del pulido en lijas y paños fueron atacadas electrolíticamente con ácido oxálico para que revelaran su microestructura.

La muestra marcada como OC presenta una microestructura austenítica correspondiente al acero AISI SAE 304 con pocos precipitados de carburos, en la cual podemos apreciar maclas que dividen algunos granos (figuras de la 13a a la 13d), al observar la muestra sin ataque no se aprecian inclusiones no metálicas en la dirección de laminación (figura 14b), ni grandes deformaciones en los granos (figuras 14d y 14f) lo que indica un grano recristalizado.

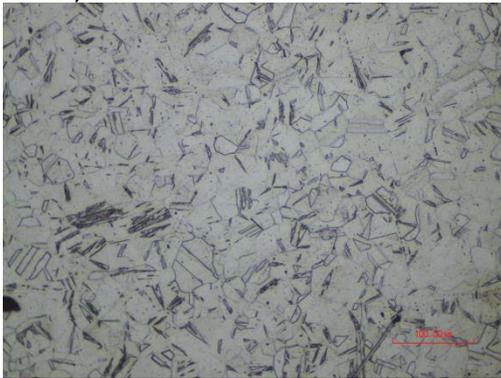
La muestra MCP aunque posee un porcentaje de carbono inferior al 0.03% como nos indicó el ensayo de composición química, presenta precipitaciones de carburos, principalmente en la zona de los límites de grano, al ser esta atacada con ácido oxálico, se puede evidenciar la sensibilización que sufre la pieza por el empobrecimiento de cromo en las zonas aledañas a los límites de grano (figuras de la 13e a la 13h), esto puede deberse a un mal tratamiento térmico, el cual puede ser calentamiento o enfriamiento lento lo que da la posibilidad de la formación de los carburos. Como anteriormente se dijo esta pieza puede sufrir fácilmente ataques en medios agresivos, en el cual su resistencia a la corrosión será mucho menor comparada con respecto a la muestra Oc. También es de esperar que las propiedades mecánicas de esta lámina sean modificadas por la precipitación de los carburos, lo que hace que esta sea más dura y más resistente, lo que podría ocasionar problemas a la hora de embutir, ya que su ductilidad disminuye y la fragilidad aumenta lo que sería un gran problema para el proceso. En la figura 14a, se muestra la micrografía de la muestra MCP sin ataque, donde podemos ver pequeñas inclusiones no metálicas, las cuales fueron catalogadas como sulfuros de manganeso presentes en la microestructura, determinado así debido a la deformación que estas sufren con la laminación [20]. En las figuras 14c y 14e podemos apreciar la microestructura en esta dirección en la cual no se observa grandes deformaciones en los granos lo que nos indica que el acero tuvo un proceso de recristalización.



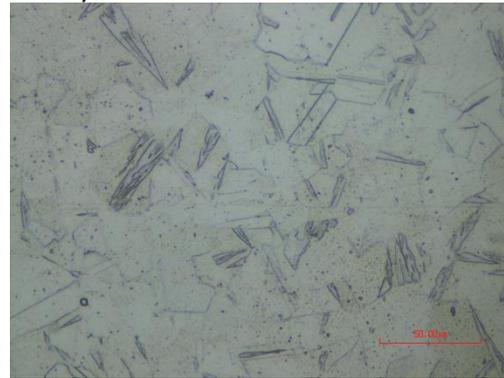
a) Oc a 50 aumentos



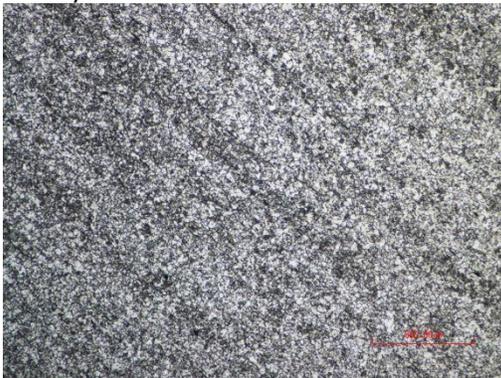
b) Oc a 100 aumentos



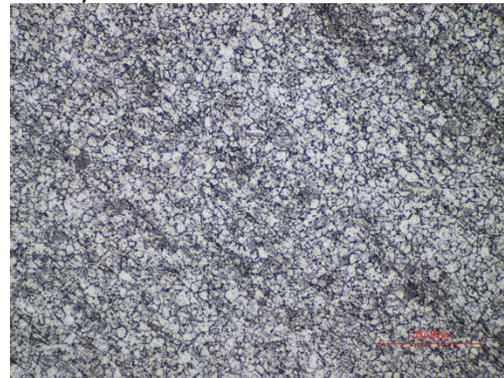
c) Oc a 200 aumentos



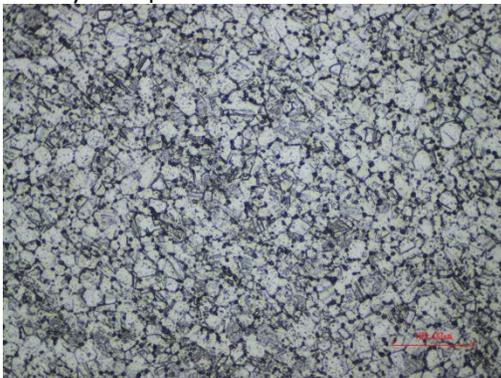
d) Oc a 500 aumentos



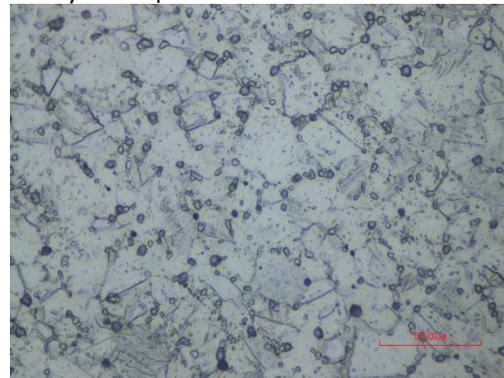
e) Mcp a 50 aumentos



f) Mcp a 100 aumentos

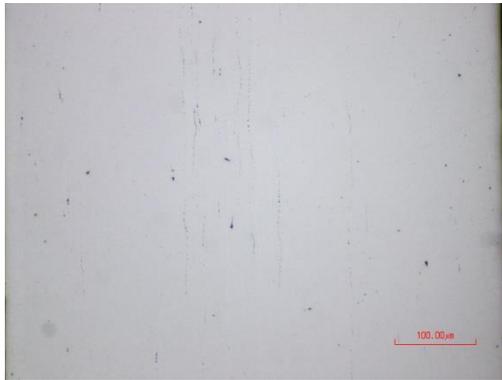


g) Mcp a 200 aumentos



h) Mcp a 500 aumentos

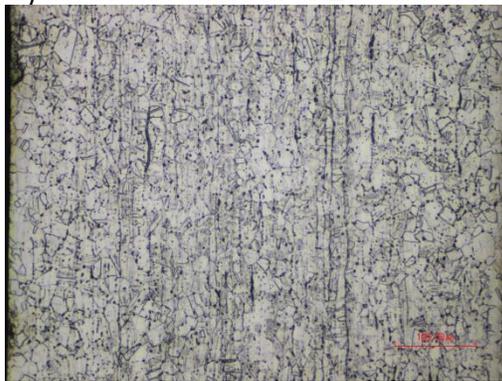
Figura 13 Metalografías tomadas en la dirección normal a la laminación, atacadas durante 2 minutos.



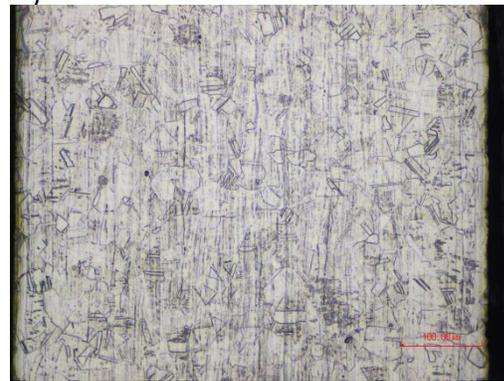
a) MCP sin atacar a 200 aumentos



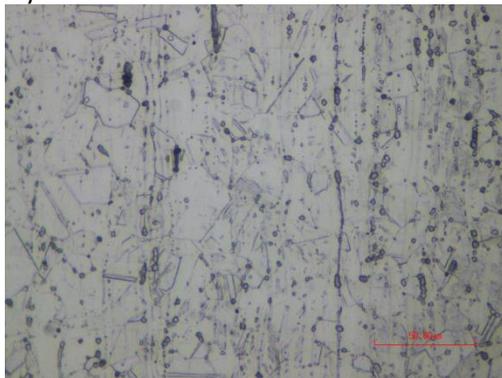
b) Oc sin atacar a 200 aumentos



c) MCP a 200 aumentos



d) Oc a 200 aumentos



e) MCP a 500 aumentos



f) Oc a 500 aumentos

Figura 14 Metalografías tomadas en la dirección paralela a la laminación, atacadas 1min 30s

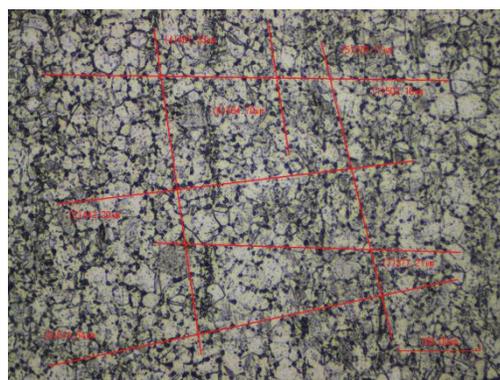
6.6.2.1 Tamaño de grano

Para la realización de la media de tamaño de grano, se siguió el procedimiento que indica la norma ASTM E112 – 12. [22] Se tomaron fotos de la micrografía de diferentes proveedores de acero a un aumento de 200x, luego de esto se realizaron líneas a lo largo de la imagen con dimensiones

conocidas y se determinó el tamaño promedio del grano, medido por la intersección de los granos con las líneas hechas como se ve en la *figura 15a* y *15b* para cada uno de los proveedores. Se calculó el tamaño promedio de los granos, la desviación estándar de los datos y el intervalo de confianza con la finalidad de conocer si los valores obtenidos si son confiables, estos datos se pueden observar en la *tabla 3*. Como resultado se tuvo que la muestra OC presentó un tamaño promedio de 30,33 micras, con un nivel de confianza de 98% y para la muestra MCP se tuvo un tamaño promedio de 3,71 con un nivel de confianza del 92%. Por lo que es de esperarse que la muestra MCP presente valores más altos en las propiedades mecánicas en el ensayo de tracción que la muestra OC.



a. Muestra Oc



b. muestra Mcp

Figura 15 Tamaños de grano.

Tabla 3 tamaños de grano

	Oc	Mcp
Tamaño de grano promedio (micras)	30,33	23,71
Desviación	3,54	3,29
Nivel de conf.	98%	92%

6.6.3 Ensayo de tracción

Luego de realizado en el ensayo de tracción, como era de esperarse, después de observar las micrografías se puede evidenciar una mayor resistencia en la muestra MCP que en la muestra OC. En la *tabla 4* se pueden ver los resultados del ensayo y analizar como la tensión máxima, el límite de elasticidad o la tensión de fluencia es mucho mayor para la muestra marcada como MCP que para la muestra OC. Por otro lado, se observa que la elongación es mayor para la muestra OC que para MCP. Como se mencionó anteriormente este aumento de las propiedades mecánicas va relacionado con la precipitación de los carburos en los límites de grano y las

inclusiones no metálicas, que le proporcionan una mayor rigidez a la estructura. Aunque no se le puede atribuir la totalidad del aumento en las propiedades a esto, ya que, por otro lado, el tamaño de grano más fino de la muestra MCP es otro de los factores influyentes en el aumento de estas propiedades. El tratamiento térmico aplicado también afecta las propiedades del material. Si el recocido no fue aplicado correctamente pueden existir granos con deformación, que no recrystalizaron o no lo hicieron completamente, lo que hace que la estructura esté más rígida y sea más difícil de deformar. También pueden existir tensiones internas en el material que hacen que este sufra daños. Hay que aclarar que para la aplicación que se le da en la empresa, un acero con una mayor ductilidad es más adecuado para el proceso de embutido, por lo cual al comparar estos dos aceros, el marcado como OC presenta grandes ventajas comparado con la muestra MCP, ya que a la hora de embutir el acero marcado como OC debe presentar menores inconvenientes que la muestra MCP, y la resistencia a la corrosión de esta muestra también será mayor, por lo que en conclusión, el acero marcado como OC supera en todas las propiedades al acero marcado como MCP para la aplicación que la empresa le da. Se realizó el gráfico de esfuerzo deformación ingenieril de los dos aceros para que el lector pueda ver con mayor facilidad los resultados antes presentados (*Figura 16*). En la última podemos observar el comportamiento de los dos aceros al ensayo. La muestra OC presenta un comportamiento más dúctil comparado con la muestra MCP, ya que esta sufre mayor deformación. Adicional a esto en la parte final de la gráfica OC se encuentra una deformación producida por pequeñas fisuras, esto es debido al adelgazamiento que este metal sufre, lo cual indica gran ductilidad. En la gráfica podemos observar que la muestra MCP presenta una mayor resistencia a el esfuerzo aplicado. El pico que se observa a una deformación de 0,4 se debe al retiro del extensómetro, esto con el fin de evitar daños en el equipo.

Tabla 4 Resultados ensayo de tracción

Muestra	Ts Mpa	E Gpa	Ys 0.2% Mpa	Elong %	Reducción de área %	Espesor mm	Ancho	Longitud Calibrada mm
MCP	683,53	203,38	276,25	59,52	43,62	0,57	12,48	50
OC	636,46	203,43	144,11	66,27	46,85	0,58	12,42	50

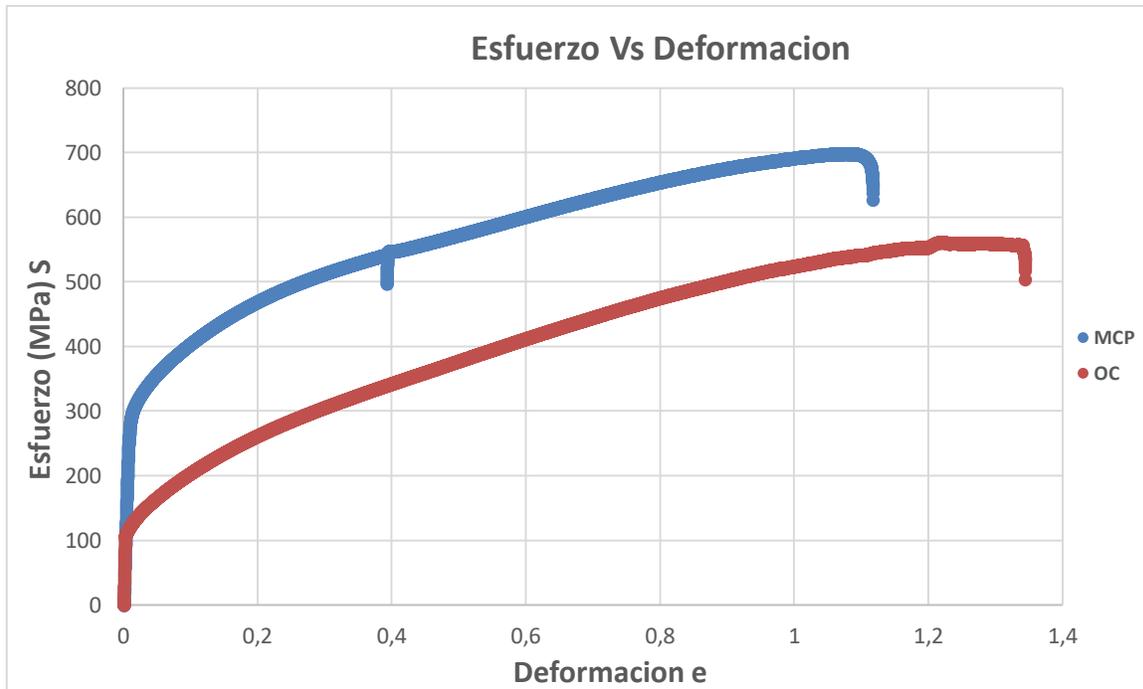


Figura 16 Grafico esfuerzo deformación

Luego de la revisión bibliográfica [8] en la que se encontró que a menor límite de elasticidad habría una mejor conformabilidad del acero, se compararon rollos de un mismo proveedor con una misma elongación, pero con diferentes límites de elasticidad. Se encontró que la tendencia es que los rollos que presentan un límite de elasticidad más alto son los rollos que presentan un mayor número de no conformidades, esto no se dio siempre ya que este no es el único factor que puede causar las no conformidades. Se sabe que existen operarios con más experiencia que otros (por lo que los rollos analizados fueron trabajos por un mismo operario), pero sigue esta tendencia como podemos observar en la *tabla 5*, la cual nos indica la composición del acero y algunas de sus propiedades mecánicas y la *tabla 6*, que nos indica la cantidad de no conformes de cada rollo y el tipo de no conformidad. Podemos observar que el rollo que presenta un límite de 285.22 MPa tuvo una cantidad de no conformes inferior al rollo que presenta un límite de elasticidad de 308.48 MPa, confirmando lo dicho anteriormente basado en la literatura.

Tabla 5 propiedades de rollos analizados del proveedor Columbus

% Elongación	%Cr	%Ni	%C	%Si	%Mn	%P	%N	DUREZA HV	Ys Mpa	Ts Mpa
58%	17.8	8.945	0.039	0.401	1.275	0.032	0.031	165	308.48	631.87
58%	17.65	8.325	0.043	0.357	1.216	0.034	0.051	148	285.22	603.25

Ys: límite elástico
Ts: tensión máxima.

Tabla 6 Defectos presentados en la embutición

Descripción de la No Conformidad	Rollo	Total embutido Unidades	Total NC Unidades
Arrugas	02T5CM-A	1108	78
	05T4RC-B	1030	2
Total Arrugas			80
Media Luna	02T5CM-A	1108	245
	05T4RC-B	1030	35
Total Media Luna			280
Rotura de la Lámina	02T5CM-A	1108	126
	05T4RC-B	1030	37
Total Rotura de la Lámina			163
Total general			523

6.7 Ensayos de embutición

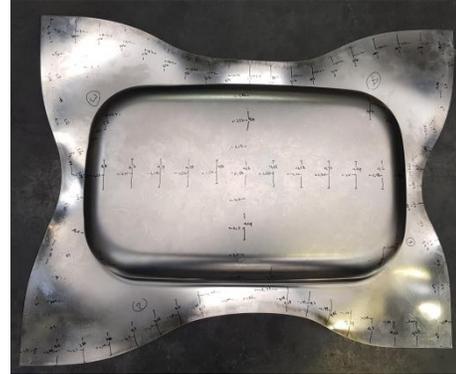
6.7.1 Deformación sufrida por el blanco durante la embutición.

Con la finalidad de conocer la deformación que sufre el acero durante la embutición, se realizó una marcación de nodos a un blanco, los nodos son triángulos de 2 cm de alto por 4cm de ancho o base y ese se aplicó en todo el blanco de embutición como se puede ver la *figura 17a*. Luego de marcada la pieza fue embutida y se realizaron las respectivas mediciones a los nodos antes hechos como se puede ver en la *figura 17b*. una vez realizado este procedimiento se pudo ver y analizar la deformación que sufre la lámina. En la cual se encontró que la zona que más deformación sufre son los radios en las esquinas de la pared, ya que en esta zona el blanco se estira entre 6.6 mm y 10.2 mm en la zona superior, en la zona inferior sufre una contracción que va desde 1 mm hasta 3 mm. Estos cambios de dimensiones pueden generar un adelgazamiento excesivo del acero ocasionando rotura. En las zonas de aletas el blanco sufre deformación apreciable a simple vista ya que este fluye en dirección radial, pero al realizar las mediciones, los nodos no sufren grandes deformaciones, estas van desde 1mm en contracción hasta 2 mm en estiramiento a lo ancho de la pieza, a lo largo de la pieza tenemos deformaciones un poco más grandes que van desde 1.5 mm en contracción hasta 2.7 mm en estiramiento. Las zonas de las esquinas no sufren deformación, ya que las dimensiones permanecen constantes, esto se debe a que esta zona queda comprimida por las placas de sujeción de los moldes. Otra de las zonas donde los nodos no sufrieron grandes cambios es la zona de la pared de la pieza, en la cual la compresión máxima fue de 0.7mm y el estiramiento

máximo fue de 2.2 mm. Otra de las zonas críticas donde hubo una deformación apreciable es el fondo de la pieza en el cual se encontró deformaciones que van desde 2.2 mm hasta 8 mm en estiramiento, ya que en esta zona no se observó contracción alguna.



17a. Blanco con malla de nodos



17b. Pieza embutida

Figura 17 Ensayo de embutición con nodos

Debido a las grandes deformaciones que sufre la lámina y a la posibilidad de un adelgazamiento excesivo se realizó un corte a una de las piezas embutidas con el defecto de media luna para analizar el comportamiento del espesor de lámina a lo largo de toda la pieza.

Se observó un aumento de espesor en la zona en la que se presenta la media luna pasando de un espesor aproximando de 0.6 mm a un espesor de 0.84 mm en la parte más alta, este disminuyó a medida se acercaba al centro llegando hasta un espesor de 0.502 mm en esa zona, en la dirección en la cual la aleta quedó excesiva fue en la parte cerca del cilindro, el adelgazamiento máximo de este fue de 0.487 mm. En general el comportamiento fue de un espesor decreciente desde la pared hasta llegar a la base. A medida que se acerca a los cilindros que tiene como base, el espesor disminuye y cuando llega hasta esta zona el espesor aumenta, lo que nos indica que la pared es una zona que sufre tracción y los cilindros de la base sufren compresión, que hace que su espesor aumente como podemos observar en la *figura 18*. Este comportamiento se observó a lo largo y ancho de la pieza, la zona del centro de la pieza también sufrió adelgazamiento, aunque este fue menor comparado con la zona cerca a los radios de la base.



Figura 18 Medidas del espesor de lámina embutida

6.7.2 Variación de parámetros

Se realizaron algunas pruebas para comprobar si los problemas mencionados por los operarios son en realidad factores influyentes. Se cortaron algunos blancos para la prueba y se embutieron realizando las siguientes variaciones, se empezó trabajando con el mapa de lubricación que tenían luego de realizar un lote de varias piezas los operarios, ya que con este mapa el equipo estaba puesto a punto, como los operarios pararon la maquinaria alrededor de 10 minutos se embutió un blanco patrón sin modificación alguna de los parámetros, con la intención de conocer si este tiempo de espera afectaba el proceso. Para el cual no se tuvo una variación considerable que pueda ser atribuida a este paro. Luego de esto con los mismos parámetros se introdujeron 3 blancos que estaban con el plástico corrido para analizar cambios debido a este defecto, seguido a esto se sacó otra muestra patrón para observar cómo varía con respecto al primer patrón. Se prosiguió con la evaluación de 3 blancos a los cuales se les ubico la rebaba al lado opuesto a las pruebas iniciales y luego del ensayo se embutió otra muestra patrón con la finalidad de comparar, luego de esto se realizaron cambios en los mapas de lubricación para observar el comportamiento de la lámina con respecto a este parámetro.

Una vez realizado todo esto se midieron los retales, que son los recortes que quedan luego del proceso final fueron montados en una plantilla (*figura 19*) para medir como varían las aletas de estos, la plantilla tiene marcas a la mitad de cada uno de los lados para garantizar que la medición siempre se realice en el mismo punto.



Figura 19 Plantilla para medir las dimensiones

En el seguimiento al proceso se pudo observar que los cambios observados en las medidas de las aletas del retal sin modificación alguna de los parámetros de embutición, pueden ser ocasionadas por que en la lubricación, pues esta se deposita en forma atomizada, las pequeñas gotas se depositan sobre la superficie de la maquinaria y con el tiempo esta empieza a gotear sobre la lámina, estas pequeñas gotas que caen sobre la lámina son las que pueden generar cambios aun cuando no se realiza variación alguna sobre la lámina, mapa de lubricación o plastificado. Este factor de las gotas es muy difícil de controlar debido a que no se puede tapar esta superficie debido a la geometría del equipo. Por esta razón y para que el ensayo sea representativo se realizaron las pruebas por triplicado ya que embutir una sola pieza no nos da un resultado confiable, por otro lado, el resultado de las 3 láminas tampoco es 100% confiable, ya que en la embutición a medida que se realiza el proceso se van presentando grandes cambios, pero debido a los costos que implica esta prueba no se puede realizar con un mayor número de blancos. Los resultados obtenidos se pueden ver en la *tabla 7*. Cuando se tienen mapas de lubricación con poca concentración o dicho de otra manera cuando la cantidad de lubricante es poca, puede ocasionar quemadura de plástico, lo que ocasiona arrugas principalmente en las esquinas de la pieza, si esto se controla la mayoría de lavaplatos pueden salir en buen estado, pero hay que aclarar que el hecho de trabajar con cantidades pequeñas de lubricante puede ser riesgoso para la troquelaría, ya que al tener tanta fricción entre la pieza y el troquel, si esta primera se fractura puede generar daños en el segundo. Lo que implica grandes pérdidas para la empresa. Por

lo cual no es recomendable trabajar a pequeñas cantidades de lubricación.

Cuando la rebaba no se encuentra toda en la misma dirección, ocasiona que la lámina fluya más en uno de sus lados, ya que la fricción que sufre esta es mayor debido que el mapa que el operario tiene como parámetro está diseñado para que controle la fricción que esta genera solo en uno de los lados del troquel, lo que ocasiona la generación de media luna por retención en uno de los lados y exceso de lubricación en el otro. Por tanto, siempre se debe ubicar la rebaba en una sola dirección. Algo importante que se pudo observar es, cuando este caso se presenta los blancos siguientes así estén en la misma dirección que los blancos iniciales presentan problemas, esto puede suceder debido a que el troquel queda con exceso de lubricante en uno de sus lados y hace que la lámina fluya en exceso, por lo que hay que realizar cambios en los mapas de lubricación para controlar el proceso.

En los blancos analizados con plástico corrido no se observó grandes cambios como en la rebaba, pero la acumulación de grasa debido a que esta se queda retenida luego de un número de piezas embutidas, puede generar no conformidades y que el operario deba realizar cambios en los mapas de lubricación. No se puede afirmar algo preciso sobre esto ya que las tres muestras puede que no tengan el mismo comportamiento que un lote de gran magnitud.

Cuando tenemos exceso de lubricación en la superficie de la lámina, esta fluye excesivamente dentro de la cavidad del troquel lo que ocasiona el defecto de media luna, quedando la pieza con un espesor mayor a este lado comparado con el lado opuesto, como ocurrió en las muestras en las que los mapas de lubricación eran del 50% y 100%. La pieza que poseía 50% de lubricación arriba y abajo salió de buena calidad inclusive cuando la pieza anterior y siguiente presentaron problemas de arruga por falta y exceso de lubricación. Se observó también en esta prueba que la falta de lubricante afecta en pequeñas proporciones a la pieza que sigue cuando se realizan cambios en la lubricación, caso contrario a lo que ocurre cuando tenemos mapas de lubricación con exceso de lubricante, para el cual se deben embutir varios blancos para corregir los defectos.

En la tabla las muestras marcadas arriba y abajo con un porcentaje, hace referencia a los mapas de lubricación superior e inferior, y el porcentaje indica la cantidad de lubricante aplicado en cada uno de los mapas, bien sea completo, sin las zonas laterales o con variaciones de concentración en una misma superficie y la clasificación nos indica si el producto salió en buenas condiciones o qué tipo de defecto presentó.

Tabla 7 Medidas de aletas de recorte del ensayo

#	Muestra	A	B	C	D	Clasificación
1	Patrón 1	1.73	1.08	1.64	1.74	Bueno
2	Patrón 2	1.88	1	1.4	1.56	Bueno
3	Plástico corrido (1)	1.04	1.37	2.34	1.44	Bueno
4	Plástico corrido (2)	1.02	1.34	2.7	0.94	Bueno
5	Plástico corrido (3)	1.27	1.35	2.35	1.08	Bueno
6	Rebaba(1)	0.43	1.32	2.8	1.04	Bueno
7	Rebaba(2)	0.52	1.3	2.41	1.4	Bueno
8	Rebaba(3)	0	1.94	2.84	1.17	Bueno
9	patrón 4	0.39	1.15	2.45	1.31	Bueno
10	Patrón 5	1.15	1.11	2.18	1.56	Bueno
11	arriba y abajo 10%(1)	2.28	2.26	2.21	0.78	Bueno
12	arriba y abajo 10%(2)	3.26	1.25	1.5	1.02	Bueno
13	arriba y abajo 10%(3)	3.57	1.51	1.13	0.98	Bueno
14	arriba y abajo 10%(4)	2.87	1.43	2.23	1.05	Bueno
15	arriba y abajo 10%(5)	2.92	1	2.23	1.05	Bueno
16	arriba y abajo al 50%(3)	3.47	1.49	0	1.29	Media luna
17	arriba y abajo al 50%(2)	3.48	1.75	0	1.11	Media luna
18	arriba y abajo al 50%(1)	2.92	2.35	0	0.58	Media luna
19	arriba y abajo al 100%(1)	3.22	2.02	0	0.86	Arrugas y media luna
20	arriba y abajo al 100%(2)	3.2	1.94	0	0.94	Arrugas y media luna
21	Arriba 100% abajo 10%	1.69	1.75	1.02	1.06	Arrugas
22	arriba 10% abajo 100%	1.69	1.75	1.02	1.06	Arrugas
23	50% en ambos sin esquinas	3.5	1.08	2.39	0.28	bueno
24	10% todo y 100 en un lado	0	3.73	4.71	0	Arruga

Anterior a este ensayo se realizó la media de los mismos lados en el retal durante la embutición para muestras con los mismos parámetros como el mismo mapa de lubricación, la presión, entre otros. Se tomaron 3 muestras por cada uno de los mapas para observar cómo cambian las medidas sin alterar los parámetros. En la *tabla 8* se puede observar cómo varían las dimensiones de las aletas de la pieza, aun cuando no hay variaciones en la lubricación lo que indica que hay otros factores que pueden influir durante la embutición, como lo es la caída de la gota de lubricante sobre la superficie.

Tabla 8 Medidas de aletas de recorte sin variación de parámetros

Muestra	A	B	C	D
1	2.21	1.32	2.26	2.03
2	2.61	1.13	1.47	2.67
3	2.71	1.28	1.45	2.37
4	2.29	1.13	1.97	1.82
5	3.5	1.19	0.51	2.77
6	2.32	1.55	1.92	2
7	4.9	1.14	1.25	2
8	3.12	1.86	3.48	1.24
9	3.36	2.22	2.22	1.41
10	4.5	2.16	0	1.79
11	3.27	1.92	0.12	1.75
12	3.52	2.04	0	1.79
13	1.92	1.57	2.46	1.64
14	0.47	1.96	3.94	1.5
15	2.16	1.13	2.82	1.38
16	1.66	2.08	2.2	1.26
17	1.32	2.93	2.42	1.88
18	1.78	2.09	2.1	1.05
19	0.1	2.6	2.72	1.22
20	0.28	2.62	1.64	1.32
21	1.08	2.55	1.79	1.53

7 IMPLEMENTACIÓN DE POSIBLES SOLUCIONES

7.1 Tren de corte.

Para el tren de corte como no se tenía control alguno sobre la materia prima, se implementó un formato adicional al que ya tenían, en el cual los operarios deben reportar y marcar con un distintivo la lámina que sale no conforme por corte y especificar si esta es para reclasificar o no conforme para realizar su respectivo reproceso. Con la ayuda de este formato, ellos mismos se tomaron el trabajo de replastificar y quitar la cinta a la lámina que cumple con las especificaciones para blanco, disminuyendo así en gran medida el

problema de desperdicio de lámina. Por otro lado, en conjunto con la implementación del formato con ayuda de un encargado de la trazabilidad de la lámina, se realizó la tarea de reclasificar arrumes de lámina que se encontraban en el tren de corte y de reclasificar la lámina que salía no apta para blanco en el tren de corte, disminuyendo así en gran medida la cantidad de desperdicio de lámina. Con esto se logró darle utilidad a láminas que anteriormente eran usadas en rieles o echadas a la chatarra, laminas con defectos con cintas, mal plastificadas, con manchas, entre otros. No hay forma precisa de comparar la cantidad de lámina que se desperdiciaba anteriormente, ya que no se tenía control alguno sobre esta, pero por lo observado y la cantidad de material recuperado se puede decir que se le ahorró a la empresa una gran cantidad de material y dinero como lo podemos apreciar en la *tabla 9*.

Tabla 9. Datos obtenidos desde el 20 de febrero hasta 07 de junio.

RECUPERACION DE LAMINA EN BLANCOS						
referencia	peso	disponibles	entregadas	kg disponibles	kg entregados	kg total
Blanco Rad. 60 x 40	2.21	2	24	4.42	53.04	57.46
Blanco T -50	2.5	1	49	2.5	122.5	125
Blanco 45 x 49	2.2		1		2.2	2.2
Blanco T- 40	2.2	21	14	46.2	30.8	77
Blanco 80 x 43	2.73	9	43	24.57	117.39	141.96
Riel 420	1.87		14		26.18	26.18
Blanco Rad. 62 x 48	2.66	3	22	7.98	58.52	66.5
Blanco 53 x 43	2	5	11	10	22	32
Blanco 50 x 35	2.06		2		4.12	4.12
Blanco 84 x 51	3.3		8		26.4	26.4
Blanco 94 x 43	3.19		23		73.37	73.37
Blanco 1.20 x 60	4.9	6	1	29.4	4.9	34.3
Blanco 1.00 x 51 DT	4		5		20	20
Blanco Rad. 1.20 0.7	5.66	2	7	11.32	39.62	50.94
Blanco Rad. 1.20 0.6	4.85	1		4.85		4.85
Blanco Rad. 1.50 x 52	6.99		3		20.97	20.97
Blanco Rad.	4.87	5	2	24.35	9.74	34.09

1.00 x 52						
Blanco Rad. 82 x 50	4	2	1	8	4	12
Blanco Rad. 1.80 x 52	6.3	4	1	25.2	6.3	31.5
Blanco Vital 1.00 x 52	4.21	1	8	4.21	33.68	37.89
Blanco Esf. 320	0.92	6		5.52		5.52
Blanco Esf. 420 Pando	1.43	4		5.72		5.72
Blanco Marco Shut 1450mm	5	2		10		10
Blanco 1.80 x 60	7.24	1		7.24		7.24
Totales		75	239	231.48	675.73	907.21

7.2 Preparación de lubricante: Con el fin de evitar que el lubricante se siguiera preparando de una forma inadecuada se implementó un recipiente de mayor capacidad el cual consta de un tanque de 55 galones, un mezclador eléctrico, un medidor de contenido, un filtro para llenado y una llave para evacuar el lubricante mezclado. El último lo podemos observar en la *figura 20*. Esto se realizó para que el lubricante se pudiese mezclar de manera correcta y con la menor cantidad de impurezas posible para su conservación.



Figura 20 Tanque de preparación de lubricante

7.3 Media luna

- Como primera medida se debe ajustar las dimensiones del blanco ya que este puede ser la causa principal del problema.
- Ajustar los mapas de lubricación de manera uniforme, de tal manera que el flujo del material sea igual en todas las direcciones.
- Realizar un buen centrado del blanco y corroborar si el centrador se encuentra ajustado de manera adecuada, ya que si el blanco no está en la mitad puede fluir más en una dirección.

7.4 Rotura de lámina

- Ajustar la presión del pisador o fuerza de pisado, la cual no puede ser muy pequeña porque genera arrugas, ni muy grande porque no permite un buen flujo del material y ocasiona la rotura de la lámina.
- Revisar la ficha técnica y realizar el ensayo *erichsen* a la lámina mucho antes de la embutición para corroborar si esta posee las propiedades adecuadas para la embutición y si se tiene duda con respecto a las propiedades del material se podrían realizar ensayos de laboratorio.
- Verificar el centrado de la pieza y el centraje punzón-matriz para evitar que la lámina sea embutida más en una dirección que en otra.
- Controlar la velocidad de embutición, la cual debe ser lenta para los aceros de estructura austenítica como el AISI 304.

7.5 Arrugas

- Al igual que en la rotura de lámina se debe ajustar la fuerza de pisado, la cual no puede ser muy pequeña porque genera arrugas, ni muy grande porque no permite un buen flujo del material y ocasiona la rotura de la lámina.
- Reducir la velocidad de embutición.
- Si el problema se presenta aún luego de hacer cambios en láminas y proveedores se debe revisar la holgura entre la matriz y el punzón.

8 CONCLUSIONES

Luego del diagnóstico realizado se pudo evidenciar la falta de control en la materia prima por parte de los operarios y a su vez, la falta de control de los encargados de calidad, pues hubo grandes cantidades de lámina almacenada de forma inadecuada en los procesos de corte, laminas lubricadas y no embutidas en las prensas que terminaron siendo almacenadas en la zona de no conformes, algunas con pequeñas imperfecciones como lo fue el mal plastificado. Por otro lado, encontramos que los principales defectos que se presentan en el proceso de embutido van directamente relacionados con las propiedades mecánicas de la lámina como una baja ductilidad y un

alto módulo de elasticidad y pueden ir acompañados de las dimensiones del blanco, ya que, según la teoría, el blanco de embutición con el que se trabaja en la empresa presenta dimensiones pequeñas para la pieza producida y este sufre una deformación excesiva durante el embutido. Otro de los factores que afecta de manera significativa la producción de lavaplatos son los mapas de lubricación, pues se pudo observar que con pequeñas variaciones en los mapas de lubricación tenemos grandes cambios en el producto final, por lo que surgió la necesidad de preparar el lubricante de una forma más rigurosa con la finalidad de evitar taponamiento de las boquillas de lubricación, concentraciones erróneas y el agotamiento selectivo de los componentes del lubricante. También se evidenció que la dirección de la rebaba y el mal plastificado hacen que la aleta del producto embutido varíe ocasionando el defecto de media luna y un amarre excesivo de la lámina en la zona de la rebaba.

La microestructura del acero nos arrojó datos de suma importancia como fue la identificación de precipitados de carburos en los límites de grano e inclusiones no metálicas, lo que ocasiona que la estructura del material adquiera una rigidez que contribuye a la factura del material a la hora de embutir, esto también afecta la protección contra la corrosión del acero inoxidable, por lo que pueden presentarse devoluciones de productos por problemas de corrosión.

9 Recomendaciones adicionales

- Para evitar el corte de lámina que no cumpla con las especificaciones y que este material pueda ser utilizado en otro tipo de producto, una de las recomendaciones que se le hace a la empresa es que realice un equipo *erichsen* para medir la embutibilidad de la lámina, ya que este dato sería de gran ayuda para evitar cortes innecesarios, desperdicio de láminas y pérdida de tiempo en cambios de troquelaría. Con ayuda de uno de los ingenieros de la empresa se diseñó el plano del equipo y se dejó un documento que indica la forma de realizar el ensayo y la norma *ASTM E643 – 15* para la realización de este ensayo. En la *figura 21* se puede visualizar el plano realizado.

- [3] Menchi, A. R., Castillo, H. I. M., Lange, D. F. De, García, P. D. J., & Rodríguez, G. M. (2014). Análisis del efecto de diversos parámetros geométricos en la altura permisible de embutido de formas rectangulares, (October).
- [4] Pham, H. T., & Iwamoto, T. (2018). An evaluation of fracture properties of type-304 austenitic stainless steel at high deformation rate using the small punch test. *International Journal of Mechanical Sciences*, 144(May), 249–261. <https://doi.org/10.1016/j.ijmecsci.2018.05.056>
- [5] Schmid, S. R., & Kalpakjian, S. (2015). *Manufactura, ingeniería y tecnología*.
- [6] SERGIO ALEJANDRO LEAL ALANIS. (2011). CARACTERIZACIÓN DE ACEROS INOXIDABLES Y ESTUDIO DE SU RESISTENCIA MECÁNICA Y CONFORMABILIDAD. *Junio Del 2011*, 144. Retrieved from <http://eprints.uanl.mx/2495/1/1080049438.pdf>
- [7] RONALD, G., & PEDRO, R. (2011). EVALUACIÓN DEL DETERIORO MICROESTRUCTURAL DE UN ACERO INOXIDABLE DÚPLEX, EXPUESTO A UN AMBIENTE CORROSIVO DE CLORURO DE SODIO (NaCl) al 3%.
- [8] Castillo Gutiérrez, D. (2010). Estudio de la conformabilidad en aceros AHSS y aceros de embutición.
- [9] GUTIERREZ CHANGO, P. E. (2014). ANÁLISIS DE LOS PROBLEMAS DE CORROSIÓN EN LA SOLDADURA DE LOS ACEROS INOXIDABLES AISI 304L Y 316L.
- [10] SERGIO ALEJANDRO LEAL ALANIS. (2011). CARACTERIZACIÓN DE ACEROS INOXIDABLES Y ESTUDIO DE SU RESISTENCIA MECÁNICA Y CONFORMABILIDAD. *Junio Del 2011*, 144. Retrieved from <http://eprints.uanl.mx/2495/1/1080049438.pdf>
- [11] Sales, M. M. (n.d.). FLUIDOS PARA TRABAJO DE METALES BASE AGUA – PRÁCTICAS APROPIADAS DE MEZCLADO, 2–5.
- [12] Rossi, M. (1979). *Estampado en frío de la chapa*.
- [13] GUTIÉRREZ, J. M. (2015). ANÁLISIS COMPARATIVO DEL COMPORTAMIENTO DE ACEROS DE MUY ALTA RESISTENCIA (DUAL-PHASE) EN PROCESOS DE EMBUTICIÓN DE CHAPA DE PIEZAS SIN SIMETRÍA DE REVOLUCIÓN. UNIVERSIDAD NACIONAL DE EDUCACIÓN A DISTANCIA.

- [14] Norma, A. (2011). *E3-11 Standard Guide for Preparation of Metallographic Specimens 1*. ASTM Copyright., 1–12.
<https://doi.org/10.1520/E0003-11.2>
- [15] B, Wassilieff. (1996). *EBUTICION*.
- [16] Fernando Guzman Ornelas. (2013). Análisis de Aceros por Microscopía Óptica. *Instituto Politecnico Nacional - Escuela Superior De Ingeniería Mecánica Y Eléctrica*, 1–78. Retrieved from
<http://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/12065/ANALISISACERO.pdf?sequence=1>
- [17] Standard, A. (2004). Standard test methods for tension testing of metallic materials metric. *Annual Book of ASTM Standards*, 3, 57–72.
<https://doi.org/10.1520/E0008>
- [18] Picas Barrachina, J. (2005, 01). Espectrómetro para análisis de metales. Servicios Científico-técnicos de la UPC. Obtenido 05, 2019, de
<https://www.upc.edu/sct/es/equip/509/espectrometro-analisis-metales.html>
- [19] Bhandari, J., Lau, S., Abbassi, R., Garaniya, V., Ojeda, R., Lisson, D., & Khan, F. (2017). Accelerated pitting corrosion test of 304 stainless steel using ASTM G48; Experimental investigation and concomitant challenges. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 47, 10–21.
<https://doi.org/10.1016/j.jlp.2017.02.025>
- [20] Vargas, F. (1990). EFECTO DE LA SENSITIZACIÓN EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN ACERO INOXIDABLE AISI 304L
- [21] Stainless, F., & Plate, H. S. (2011). Standard Specification for Chromium and Chromium-Nickel Stainless Steel Plate , Sheet , and Strip for Pressure Vessels and for General. *Annual Book of ASTM Standards*, 1–12.
<https://doi.org/10.1520/A0240>
- [22] Astm Standard. (2012). E112-12:Standard Test Methods for Determining Average Grain Size. *ASTM International*, E112-12, 1–27.
<https://doi.org/10.1520/E0112-12.1.4>
- [23] Barroso Herrero, S, & Carsí Cebrián, M. (2013). PROCESADO Y PUESTA EN SERVICIO DE MATERIALES.