



**UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**



**DETERMINACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO Y
MACROSCÓPICO EN RECIPIENTES DE ACEROS EMBUTIDOS Y
REEMBUTIDOS**

LA TORRE WILLIAM

Valencia, Agosto 2012



**UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**



**DETERMINACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO Y
MACROSCÓPICO EN RECIPIENTES DE ACEROS EMBUTIDOS Y
REEMBUTIDOS**

LA TORRE WILLIAM

Valencia, Agosto 2012



**UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**



**DETERMINACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO Y
MACROSCÓPICO EN RECIPIENTES DE ACEROS EMBUTIDOS Y
REEMBUTIDOS**

**TRABAJO ESPECIAL DE GRADO PRESENTADO ANTE LA ILUSTRE
UNIVERSIDAD DE CARABOBO PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO**

LA TORRE WILLIAM

Valencia, Agosto 2012



**UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**



CERTIFICADO DE APROBACIÓN

Los abajo firmantes, miembros del Jurado designado para evaluar el Trabajo Especial de Grado titulado *“Determinación del comportamiento mecánico y macroscópico en recipientes de acero embutido y reembutados”*, realizado por el bachiller *La Torre William C.I. V-13.218.038*. Hacemos constar que hemos revisado y aprobado dicho trabajo.

Prof. Oswaldo Urbano
Tutor

Prof. Carmelo Torres
Jurado

Prof. Argel Porrello
Jurado

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado a mis padres que desde siempre me han guiado, bendecido y apoyado en todo momento, dándome sus consejos y haciéndome una persona perseverante y constante; a mis hermanos, por estar presente y amenizar todos los instantes de mi vida, a mi esposa Carmen, mi bonita, por siempre estar a mi lado, brindándome todo su cariño, entrega, dedicación y sobretodo tenerme mucha comprensión y paciencia durante estos años de mi vida, a mi hijo Daniel Francisco quien es el regalo más hermoso que Dios me ha dado, entendimiento y motivo de mi superación, a mis suegros por recibirme como un hijo más y extenderme sus manos para salir adelante, a los amigos Juajueros, cuñados y resto de mi familia que siempre han estado conmigo y me han permitido ser una persona de bien....

William G. La Torre Ch.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por haberme dado la sabiduría y la fortaleza para que fuera posible alcanzar este triunfo. A mis padres por su cariño, apoyo, dedicación y empeño así como también ayudarme a ser una persona mejor cada día y por tanto esfuerzo para y que yo saliera adelante. A mi esposa por su cariño tan especial y su confianza de siempre.

A todos mis familiares y amigos que de una u otra manera estuvieron pendientes a lo largo de este proceso, brindado su apoyo incondicional.

Me permito dar un especial agradecimiento a la Universidad de Carabobo y en especial a la Facultad de Ingeniería Mecánica, por haberme recibido como alumno durante estos años y brindarme su conocimiento.

Al personal que labora en el Laboratorio de Materiales del departamento de Materiales y Procesos de Fabricación, por facilitarme su establecimiento para desarrollar mi estudio.

A la empresa Affinia Venezuela por haber depositado en mi su confianza para la realización de este trabajo de investigación.

Un especial agradecimiento a Víctor Oviedo, Néstor Parra, Darwin Vivas y Carlos Guerra, todos trabajadores de Affinia Venezuela, quienes me prestaron su valiosa colaboración.



**UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**



DETERMINACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO Y MACROSCÓPICO EN RECIPIENTES DE ACEROS EMBUTIDOS Y REEMBUTIDOS

**AUTOR: LA TORRE WILLIAM
TUTOR: OSWALDO URBANO
FECHA: AGOSTO, 2012**

RESUMEN

En este trabajo de investigación se estudió el comportamiento mecánico y macroscópico de los recipientes de acero embutidos y reembutidos utilizados en la fabricación de los filtros de Unidad Sellada Industrial de Affinia Venezuela, C.A. división Filtros Wix. Los ensayos utilizados para determinar el comportamiento mecánico fueron: tracción, microdureza Vickers, embutibilidad y macroscopía. En primera instancia se obtuvieron muestras de la bobina de acero utilizada en la fabricación de los envases, así como también 6 envases de muestra en cada paso de embutido. En el caso del ensayo de tracción las probetas se mecanizaron de la zona lateral del vaso y de la bobina de acero, ambos casos en el sentido de la fluencia del material. Igualmente obtuvieron probetas para el ensayo de microdureza Vickers de la bobina de acero, la zona lateral media y la zona curva donde se forma el domo del envase. Las probetas de embutibilidad se obtuvieron de la bobina de acero. Tanto para los ensayos mecánicos como para los estudios macroscopicos, se tabularon y graficaron los resultados obtenidos. Del ensayo de tracción se observó que existe un aumento de las magnitudes en el módulo de elasticidad, resistencia a la tracción, límite elástico. El mismo comportamiento se pudo observar en los resultados del ensayo de microdureza Vickers, en donde se verificó que existe un aumento luego de que se realiza el embutido en cada paso. Caso contrario con la ductilidad que disminuyó a medida que se deforma el acero; esto se produce debido a la deformación a la cual se somete el acero en cada paso embutido hasta la obtención del producto final ocasionando un endurecimiento por deformación en el material del envase. Adicionalmente se determinó que la zona de mayor generación de desperdicios corresponde a la zona lateral media la cual presentó un mayor endurecimiento.



ÍNDICE GENERAL

1.	EL PROBLEMA	3
1.1.	Planteamiento del problema.....	3
1.2.	Formulación del problema	7
1.3.	Objetivos	7
1.3.1.	Objetivo General	7
1.3.2.	Objetivos específicos	7
1.4.	Justificación	8
1.5.	Limitaciones.....	8
1.6.	Delimitaciones	9
2.	MARCO TEÓRICO	10
2.1.	Antecedentes de la investigación.....	10
2.2.	Propiedades mecánicas de los metales.....	10
2.3.	Ensayo de tracción	12
2.3.1.	Deformación elástica.....	13
2.3.2.	Deformación plástica.	14
2.3.3.	Fluencia y límite elástico.	14
2.3.4.	Resistencia a la tracción.....	15



2.3.5. Ductilidad.	17
2.3.6. Dureza.....	19
2.3.7. Ensayo de microdureza Vickers.	19
2.4. Proceso de embutido.	20
2.4.2. Ensayo de Erichsen.....	24
2.5. Análisis macroscópico.....	26
2.5.1. Defectos macroscópicos.	26
2.6. Variabilidad de las propiedades de los materiales.....	28
3. MARCO METODOLÓGICO.....	30
3.1. Nivel de la Investigación.....	30
3.2. Diseño de la investigación.....	30
3.3. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	31
3.4. Población.....	31
3.5. Muestra.....	31
3.6. Tamaño muestral.	33
3.7. Definición de variables.....	34
3.8. Técnicas de recolección de datos.	35
3.9. Materiales utilizados.....	35



3.10.	Equipos Utilizados.....	35
3.11.	Herramientas Utilizadas.....	36
3.12.	Procedimiento experimental.....	36
3.12.1.	Ensayo de tracción.....	36
3.12.2.	Ensayo de microdureza Vickers.....	39
3.12.3.	Ensayo de embutibilidad (Erichsen).....	41
3.12.4.	Análisis macroscópico.....	42
4.	RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	43
4.1.	Toma de muestras.....	43
4.2.	Ensayo de dureza.....	46
4.3.	Ensayo de tracción.....	48
4.4.	Ensayo de embutibilidad (Erichsen).....	54
4.5.	Ductilidad.....	55
4.6.	Análisis macroscópico.....	57
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	60
5.1.	Conclusiones.....	60
5.2.	Recomendaciones.....	61
6.	REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA.....	63



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Componentes de los filtros de aceite.	4
Figura 1.2: Engargolado del vaso con la tapa cubierta.	5
Figura 2.1: Aplicación de carga en la deformación de metales a) Tracción, b) Compresión, c) Cizalladura, d) Torsión.	11
Figura 2.2: Diagrama tensión deformación elástica.	14
Figura 2.3: a) Curva de tracción de un metal que muestra deformación elastoplástica. b) Curva típica de algunos aceros que muestran discontinuidad en la fluencia.	16
Figura 2.4: Curva típica de ensayo de tracción hasta la fractura.	16
Figura 2.5: Representación gráfica del ensayo de tracción de materiales frágiles y dúctiles.	17
Figura 2.6: Curva de tracción típicas del hierro a diferentes temperaturas.	19
Figura 2.7: Proceso de embutido de un vaso.	21
Figura 2.8: Etapas del proceso de embutido.	21
Figura 2.9: Fuerza aplicada durante el embutido.	23
Figura 2.10: Ejemplo de variación de espesor en un recipiente de fondo curvo.	23
Figura 2.11: Ejemplo de variación del espesor en un recipiente de fondo plano.	24



Figura 2.12: Esquema del ensayo de Erichsen.	24
Figura 2.13: Dimensiones del herramental para el ensayo de Erichsen según la ASTM E649-84.	25
Figura 3.1: Esquema del proceso de fabricación de los recipientes.	32
Figura 3.2: Muestras de vasos de las familias 791 y 218.	33
Figura 3.3: Resumen de probetas obtenidas de las muestras de recipientes recolectadas.	34
Figura 3.4: Sección utilizada para extraer las probetas de tracción.	37
Figura 3.5: Dimensiones de la probeta de tracción según ASTM E8-E8M. ...	37
Figura 3.6: Esquema de obtención de la probeta de tracción de cada recipiente.	38
Figura 3.7: Probetas de tracción obtenidas de los recipientes.	38
Figura 3.8: Zonas de los recipientes de donde se extrajeron las probetas.	40
Figura 3.9: Probetas para el ensayo de dureza.	40
Figura 3.10: Punto de medición de microdureza Vickers de cada probeta de dureza.	41
Figura 3.11: Probetas de ensayo de embutibilidad.	42
Figura 3.12: Probetas para el ensayo de embutibilidad.	42
Figura 4.1: Identificación de probetas obtenidas de la bobina de acero y el primer paso de embutido.	43



Figura 4.2: Identificación de probetas obtenidas de la familia 791.....	44
Figura 4.3: Identificación de probetas obtenidas de la familia 218.....	45
Figura 4.4: Gráfico de microdureza Vickers promedio de los recipientes	47
Figura 4.5: Determinación del esfuerzo de fluencia utilizando el método del 0,2%.....	49
Figura 4.6: Probetas de tracción ensayadas de la familia 218.....	49
Figura 4.7: Probetas de tracción ensayadas de la familia 791.....	50
Figura 4.8: Esfuerzo de Fluencia promedio en cada paso de embutido para cada familia de envases.....	52
Figura 4.9: Esfuerzo máximo promedio en cada paso de embutido para cada familia de envases.....	53
Figura 4.10: Gráfico de ductilidad promedio para cada familia de envase.....	57
Figura 4.11: Envases con los defectos mas comunes de la línea.....	59
Figura 6.1: Gráfico de esfuerzo-deformación para la probeta T791-2-1.....	65
Figura 6.2: Gráfico de esfuerzo-deformación para la probeta T791-2-2.....	65
Figura 6.3: Gráfico de esfuerzo-deformación para la probeta T791-2-3.....	66
Figura 6.4: Gráfico de esfuerzo-deformación para la probeta T791-2-4.....	66
Figura 6.5: Gráfico de esfuerzo-deformación para la probeta T791-2-5.....	67
Figura 6.6: Gráfico de esfuerzo-deformación para la probeta T791-2-6.....	67



Figura 6.7: Gráfico de esfuerzo-deformación para la probeta T791-3-168

Figura 6.8: Gráfico de esfuerzo-deformación para la probeta T791-3-2.....68

Figura 6.9: Gráfico de esfuerzo-deformación para la probeta T791-3-3.....69

Figura 6.10: Gráfico de esfuerzo-deformación para la probeta T791-3-4.....69

Figura 6.11: Gráfico de esfuerzo-deformación para la probeta T791-3-570

Figura 6.12: Gráfico de esfuerzo-deformación para la probeta T791-3-6.....70

Figura 6.13: Gráfico de esfuerzo-deformación para la probeta T791-4-171

Figura 6.14: Gráfico de esfuerzo-deformación para la probeta T791-4-2.....71

Figura 6.15: Gráfico de esfuerzo-deformación para la probeta T791-4-372

Figura 6.16: Gráfico de esfuerzo-deformación para la probeta T791-4-4.....72

Figura 6.17: Gráfico de esfuerzo-deformación para la probeta T791-4-573

Figura 6.18: Gráfico de esfuerzo-deformación para la probeta T791-4-6.....73

Figura 6.19: Gráfico de esfuerzo-deformación para la probeta T218-2-174

Figura 6.20: Gráfico de esfuerzo-deformación para la probeta T218-2-2.....74

Figura 6.21: Gráfico de esfuerzo-deformación para la probeta T218-2-3.....75

Figura 6.22: Gráfico de esfuerzo-deformación para la probeta T218-2-4.....75

Figura 6.23:76

Figura 6.24: Gráfico de esfuerzo-deformación para la probeta T218-2-5.....76



Figura 6.25: Gráfico de esfuerzo-deformación para la probeta T218-2-6	76
Figura 6.26: Gráfico de esfuerzo-deformación para la probeta T218-3-1	77
Figura 6.27: Gráfico de esfuerzo-deformación para la probeta T218-3-2	77
Figura 6.28: Gráfico de esfuerzo-deformación para la probeta T218-3-3	78
Figura 6.29: Gráfico de esfuerzo-deformación para la probeta T218-3-4	78
Figura 6.30: Gráfico de esfuerzo-deformación para la probeta T218-3-5	79
Figura 6.31: Gráfico de esfuerzo-deformación para la probeta T218-3-6	79
Figura 6.32: Gráfico de esfuerzo-deformación para la probeta T218-4-1	80
Figura 6.33: Gráfico de esfuerzo-deformación para la probeta T218-4-2	80
Figura 6.34: Gráfico de esfuerzo-deformación para la probeta T218-4-3	81
Figura 6.35: Gráfico de esfuerzo-deformación para la probeta T218-4-4	81
Figura 6.36: Gráfico de esfuerzo-deformación para la probeta T218-4-5	82
Figura 6.37: Gráfico de esfuerzo-deformación para la probeta T218-4-6	82



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1: Resultados del ensayo de microdureza para la bobina acero.	46
Tabla 1.2: Resultados del ensayo de microdureza para la zona curva del domo de cada envase.	46
Tabla 1.3: Resultados del ensayo de microdureza para la zona lateral media de cada envase.	46
Tabla 1.4: Resumen de resultados de microdureza Vickers promedio.	47
Tabla 1.5: Resultados obtenidos de los ensayos de tracción para las probetas de la familia 791.	50
Tabla 1.6: Resultados obtenidos de los ensayos de tracción para las probetas de la familia 218.	51
Tabla 1.7: Resultados del ensayo de Erichsen.	54
Tabla 1.8: Resultados de ductilidad para la familia 791.	55
Tabla 1.9: Resultados de la ductilidad para la familia 218.	55
Tabla 1.10: Resumen de generación de desperdicio en la línea de embutido. .	58



INTRODUCCIÓN

Actualmente Affinia a nivel mundial se encuentra implementando un programa de reducción de desperdicio en los procesos productivos de donde se obtiene toda la gama de productos que comercializa, todo esto con el fin de tener procesos mas eficientes. Entonces, en el caso local, Affinia Venezuela, C.A. división Filtros Wix, ha comenzado con la implementación de las medidas que permitan corregir y/o mejorar causales de generación de desperdicios en cada una de las líneas que conforman su proceso productivo. Dentro de todo este proyecto de reducción de desperdicios se encuentra la línea de fabricación de envases embutidos para los filtros de Unidad Sellada Industrial (U.S.I.) en donde se desea reducir el numero de piezas rechazadas por defectos de calidad, para ello es importante determinar la causa raíz de estas ineficiencias que generan desperdicios.

Teniendo presente esta premisa, es importante para la empresa evaluar la influencia del acero estañado para embutición profunda, utilizado como materia prima en la fabricación de los envases embutidos, en la generación de desperdicios en la línea de producción; para luego pasar a evaluar cada uno de los equipos utilizados en la obtención de los envases.

En el presente trabajo de investigación se plantea evaluar el comportamiento mecánico y macroscópico del acero utilizado en la fabricación de los envases para los filtros de Unidad Sellada Industrial (U.S.I.) utilizando los ensayos de tracción, microdureza y embutibilidad, así como también un estudio macroscópico del acero para la identificación de defectos del acero a lo largo de todo el proceso.

Para ello se estructura la investigación de la siguiente manera:

En el capítulo I se despliega la situación problemática, se definen los objetivos, las limitaciones y delimitaciones de la investigación.



En el capítulo II se presentan los antecedentes y las bases teóricas relacionadas con la investigación.

En el capítulo III se justifica el nivel de la investigación y se describe la metodología que se llevará a cabo para realizar el estudio.

En el capítulo IV se presentan los resultados y análisis

En el capítulo V, se encuentran las conclusiones y recomendaciones; así como también las referencias bibliográficas y apéndices empleados para el desarrollo de este trabajo de investigación.



1. EL PROBLEMA

1.1. Planteamiento del problema

La empresa AFFINIA VENEZUELA C.A. división Wix Filtration Corp. Se dedica a la fabricación de filtros automotrices e industriales para aceite, combustible, aire y agua para el consumo nacional y de exportación. La misma se encuentra ubicada en la Zona Industrial Sur, Avenida Branger cruce con Iribarren Borges de Valencia Estado Carabobo.

Para la elaboración de los productos la empresa cuenta con ocho procesos que son: embutido, estampado, roscado, soldadura, ensamblado, engargolado, pintura y empaque. Además de éstos también cuenta con un departamento de mantenimiento, proyectos, control de calidad entre otros que intervienen de forma indirecta en el proceso productivo.

En los últimos años la empresa ha incrementado las ventas viéndose en la necesidad de aumentar no sólo su producción sino también la calidad de sus productos, optimizando el proceso productivo a través de las mejoras continuas para así lograr posicionarse con un mayor porcentaje en el mercado.

Entre los productos manufacturados se tienen los filtros de aceite para el uso en sistemas hidráulicos industriales y en el mercado de reposición automotriz. Ambos poseen como componentes principales el papel filtrante, tubo central que le da rigidez al filtro, válvula de seguridad, una tapa cubierta y un envase metálico tal como se puede apreciar en la figura 1.1.



Figura 1.1: Componentes de los filtros de aceite.

Cabe destacar que los vasos son diseñados para soportar altas presiones, evitando la fuga por fatiga ocasionada por la variación de la presión de trabajo de los sistemas hidráulicos industriales y motores de combustión interna, esto debido a la uniformidad de su construcción la cual le brinda un espesor de pared constante. Los vasos son conformados a través del embutido de láminas de acero en prensas hidráulicas de dos y cuatro pasos de embutido.

El papel filtrante de microfibra de vidrio, celulosa o compuesto, en conjunto con la mayor calidad y cantidad de papel del mercado, proporciona la óptima combinación de capacidad y eficiencia. El tubo central permite un máximo flujo de aceite, mientras mantienen sus resistencias estructurales evitando el colapso, soportando presiones superiores a dos veces la presión normal de trabajo. Las tapas del elemento filtrante resisten la corrosión brindando mayor resistencia estructural al medio filtrante y evitando el paso de fluidos por las tapas.



Un acero de alto calibre en la tapa cubierta proporciona máxima resistencia y minimiza la fatiga del metal producida por la vibración y fluctuaciones de presión. Los agujeros para la entrada del aceite están configurados para un óptimo flujo. Las roscas son roladas, eliminando el riesgo de partículas metálicas que puedan causar daños en el sistema. La válvula de alivio ofrece seguridad, la cual se acciona cuando el papel filtrante está saturado de impurezas, garantizando el pase de fluido a las partes internas del sistema.

La empaadura se ensambla firmemente asentada en las ranuras de la tapa cubierta, brinda un sellado entre el filtro y la base donde se instala el mismo, minimizando el riesgo de fuga de fluido en la unión roscada.

La unión entre el vaso y la tapa cubierta se realiza a través del engargolado, asegurando el vaso con la tapa cubierta, este ajuste elimina fugas al mismo tiempo que mejora capacidad del filtro para absorber subidas abruptas de presión, permitiéndole soportar cinco veces la presión de trabajo. Para tener un mejor idea de esto, en la figura 1.2 se puede observar el proceso de engargolado entre el vaso metálico del filtro con la tapa cubierta.

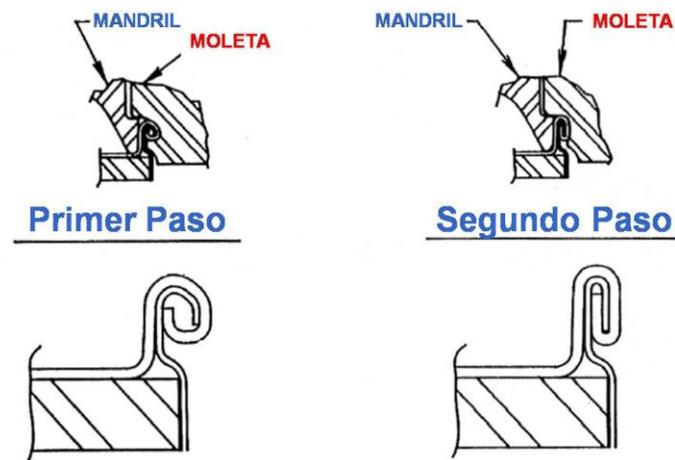


Figura 1.2: Engargolado del vaso con la tapa cubierta.



La empresa, comprometida con la calidad de los productos que elabora, se ha visto en la necesidad de mejorar el proceso embutido donde se fabrican los vasos de acero que conforman los filtros. Dentro de las razones se encuentra reducir el número de vasos con defectos de calidad generados en dicho proceso, bien sea por acabado superficial, espesores fuera de especificación, estiramiento e inclusive fracturas presentes en el material en las zonas críticas del embutido. Estos defectos pueden generarse debido a parámetros del proceso, tales como velocidad de las prensas, los troqueles utilizados, desgastes de herramientas, calidad del acero utilizado como materia prima entre otros.

Para realizar estas mejoras, la empresa ha decidido comenzar por evaluar el comportamiento mecánico, macroscópico así como también de embutibilidad del acero utilizado como materia prima antes, durante y luego del proceso de embutido, de esta forma se podrá identificar cualquier generación de scrap debido a la materia prima en esta etapa de la fabricación de los filtros, para finalmente evaluar el resto de las variables que intervienen en el proceso, como equipos, herramientas, entre otros.

Es por ello que resulta necesario un estudio técnico que permita corroborar, más allá del informe de calidad entregado por el proveedor de aceros, el comportamiento mecánico, macroscópico y embutibilidad del acero utilizado en el proceso de fabricación de los vasos en cada uno de los pasos de embutido, garantizando de esta forma la utilización de la materia prima adecuada, lo que a su vez permitiría descartar a esta como posible causa raíz de defectos generadores de material rechazado en el proceso.

En esta evaluación se considerarán dos modelos de vasos de la línea de unidad sellada industrial y cuyas dimensiones permitirán obtener 6 muestras en cada uno de los pasos de embutido hasta llegar a las dimensiones finales del vaso, obteniéndose alrededor de 36 muestras entre ambos modelos de vaso. Igualmente se considera la



obtención de 6 muestras de la lámina de acero antes de ser sometida a deformación para un total de 42 muestras a evaluar.

Cada una de estas muestras será sometida al ensayo de tracción para obtener su módulo de elasticidad, límite de fluencia, resistencia a la tracción y alargamiento. También se les aplicará un ensayo de dureza, evaluación macroscópica y medición de espesor de pared. Adicionalmente, se les aplicara un ensayo de embutibilidad a las muestras de la lámina de acero antes de la deformación.

1.2. Formulación del problema

Evaluar el comportamiento mecánico, macroscópico y embutibilidad del acero utilizado como materia prima antes, durante y luego del proceso de embutido, en la fabricación de recipientes metálicos utilizados en los filtros aceite industriales.

1.3. Objetivos

Para la realización de este proyecto de investigación se plantean como objetivos los siguientes.

1.3.1. Objetivo General

Determinar el comportamiento mecánico, macroscópico y de embutibilidad en recipientes de acero embutidos y reembutidos.

1.3.2. Objetivos específicos

Determinar la microdureza en recipientes de acero embutidos y reembutidos.

Determinar el comportamiento mecánico en recipientes de acero embutidos y reembutidos mediante ensayos de tracción.



Determinar la embutibilidad del acero utilizado en la fabricación de recipientes de acero embutidos y reembutidos mediante el ensayo de Erichsen.

Determinar la macroscopía en recipientes de acero embutidos y reembutidos.

Determinar en los recipientes de acero embutidos y reembutidos la zona de mayor influencia de defectos.

1.4. Justificación

Este estudio le permitirá a la empresa identificar las posibles causas de defectos debidos al acero utilizado en el proceso de fabricación de los recipientes metálicos de los filtros de aceite. Siendo éste el comienzo de una serie de evaluaciones necesaria para mejorar la eficiencia del proceso, con el fin optimizar el embutido de los recipientes reduciendo la generación de scrap lo que se traduciría en disminución de costos, a su vez que se mejora la confiabilidad operacional de producto final, descartando ineficiencias que pudieran atribuirse a los activos utilizados en la fabricación de los recipientes.

Desde el punto de vista del autor, el desarrollo de este trabajo de investigación les permitirá implementar los conocimientos adquiridos durante el estudio de la carrera de Ingeniería Mecánica, brindándoles la oportunidad de desenvolverse y ganar experiencia en el campo profesional a la vez que con su culminación podrán obtener el título de Ingeniero Mecánico egresado de la Universidad de Carabobo.

1.5. Limitaciones

La recolección de datos y mediciones en las que se requiera la parada de algún equipo estará limitada a paradas autorizadas por la empresa.

No existe en la empresa un historial similar con el cual establecer una comparación al momento de mostrar los resultados.



La toma de muestras de los vasos se realizará según la programación de la producción del área de embutido.

1.6. Delimitaciones

El trabajo de investigación abarca solo la determinación del comportamiento mecánico, macroscópico y embutibilidad del acero utilizado en la fabricación de los recipientes metálicos de los filtros de aceite de la línea de unidad sellada industrial, quedando por parte de la empresa la evaluación del resto de las variables como lo serían prensas, troqueles y herramientas. Igualmente, de los modelos seleccionados solo se considerará la toma de muestra en aquellos pasos de embutido donde las dimensiones del vaso permitan la obtención de probetas normalizadas.



2. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación.

En diciembre de 2006, Ayala Sandra y Peña Miizbep presentaron en la Universidad de Carabobo el trabajo de grado titulado “Determinación del comportamiento mecánico de materiales deformados plásticamente en frío”. El mismo tuvo como objetivo principal la determinación del comportamiento mecánico de aleaciones de cobre y aluminio deformados plásticamente en frío, realizando ensayos de tracción y dureza a diferentes muestras de cobre y aluminio sometidos a deformaciones plásticas en frío a través de los procesos de laminado y trefilado. En el mismo se concluyó que para cada uno de los casos estudiados, la resistencia a la tracción, el límite de fluencia y la dureza se incrementan.

En 2003, Gómez Humberto y Jaime Torres presentaron ante la Asociación Argentina de Materiales una investigación titulada “Estudio del proceso de recosido en campana para mejorar las propiedades mecánicas y metalúrgicas de aceros destinados a estañar y/o cromar”. La misma consistió en evaluar las propiedades mecánicas y metalúrgicas resultantes de un conjunto de bobinas de acero según su disposición en un horno campana durante el proceso de recocido, encontrando a través de ensayos mecánicos diferencias entre los perfiles reales de temperatura-tiempo de las bobinas de acero según su ubicación en el horno y en el ciclo de operación programado para el mismo, generando variaciones de propiedades mecánicas y micro estructurales entre cada bobina de acero destinados a la manufactura de hojalata.

2.2. Propiedades mecánicas de los metales

Muchos materiales cuando prestan servicio están sometidos a fuerzas o cargas, en tales situaciones es necesario conocer las características del material y



diseñar la pieza de tal manera que cualquier deformación resultante no sea excesiva y no se produzca la rotura. El comportamiento mecánico de un material refleja la relación entre la fuerza aplicada y la deformación resultante. Algunas de las propiedades mecánicas más importantes son la resistencia, dureza, ductilidad y la rigidez.

Las propiedades mecánicas de los materiales se determinan realizando ensayos de laboratorio donde se reproducen las condiciones de servicio hasta donde sea posible. Los factores a considerarse son el tipo de carga aplicada, su duración así como el medio donde se aplica.

Si una carga es estática o bien cambia de forma relativamente lenta con el tiempo y es aplicada uniformemente sobre una sección o superficie de una pieza, el comportamiento mecánico puede ser estimado mediante un simple ensayo esfuerzo-deformación. Con metales, este ensayo se realiza normalmente a temperatura ambiente. En la figura 2.1 se muestran las principales maneras de aplicar la carga; a tracción, compresión, cizalladura y torsión.

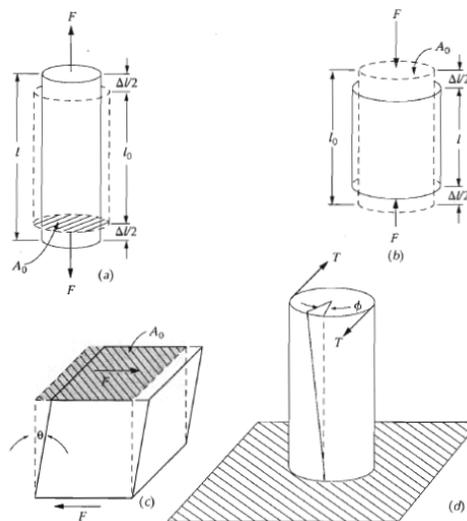


Figura 2.1: Aplicación de carga en la deformación de metales a) Tracción, b) Compresión, c) Cizalladura, d) Torsión.



2.3. Ensayo de tracción

Uno de los ensayos mecánicos esfuerzo-deformación más comunes es el realizado a tracción. El ensayo de tracción puede ser utilizado para determinar varias propiedades de los materiales que son importantes para el diseño. Consiste en la deformación de una probeta hasta la rotura, con una carga de tracción que aumenta gradualmente y que es aplicada uniaxialmente a lo largo del eje de la probeta. Generalmente la sección de la probeta es circular, pero también se utilizan probetas de sección rectangular. Durante el ensayo, la deformación está confinada en la región más estrecha del centro, la cual tiene una sección uniforme a lo largo de su longitud. La Sociedad Americana para Pruebas y Materiales (ASTM por sus siglas en inglés), en su norma E8/E8M establece los parámetros para la realización del ensayo de tracción para materiales metálicos.

El resultado del ensayo de tracción se registra en una gráfica de carga en función del alargamiento. Estas características de carga-deformación dependen del tamaño de la probeta. Por ejemplo, se requerirá el doble de carga para producir el mismo alargamiento si el área de la sección de la probeta se duplica. Para minimizar estos factores geométricos, la carga y el alargamiento son normalizados para obtener los parámetros tensión nominal y deformación nominal, respectivamente. La tensión nominal σ se define mediante la relación mostrada en la ecuación 1-1.

$$\sigma = \frac{F}{A_0} \quad (1.1)$$

En donde F es la carga instantánea aplicada perpendicularmente a la sección de la probeta, en unidades de newton (N), y A_0 es el área de la sección original antes de aplicar la carga (m^2). Las unidades de tensión nominal, de aquí en adelante denominada simplemente tensión, son pascales (Pa).

La deformación nominal se define según la ecuación 1-2:



$$\varepsilon = \frac{l_1 - l_0}{l_0} = \frac{\Delta l}{l_0} \quad (1.2)$$

En donde l_0 es la longitud original antes de aplicar la carga, y l_1 es la longitud instantánea. La cantidad $l_1 - l_0$ se indica simplemente mediante Δl , y es el alargamiento producido por deformación con respecto a la longitud inicial. La deformación nominal o simplemente deformación no tiene unidades, aunque a menudo se utiliza metros por metro; el valor de la deformación obviamente es independiente del sistema de unidades y por lo general se expresa como porcentaje, esto es, el valor de la deformación multiplicado por 100.

2.3.1. Deformación elástica.

El grado con que una estructura se deforma depende de la magnitud de la tensión impuesta. Para muchos metales sometidos a esfuerzos de tracción pequeños, la tensión y la deformación son proporcionales según la relación mostrada en la ecuación 1.3.

$$\sigma = E\varepsilon \quad (1.3)$$

Esta relación se conoce con el nombre de ley de Hooke, y la constante de proporcionalidad E (MPa), es el módulo de elasticidad ó módulo de Young. Cuando se cumple que la deformación es proporcional a la tensión, la deformación se denomina deformación elástica; al representar la tensión en el eje de ordenadas en función de la deformación en el eje de abscisas se obtiene una relación lineal, tal como se muestra en la Figura 2.2. La pendiente de este segmento lineal corresponde al módulo de elasticidad E . Este módulo puede ser interpretado como la rigidez, o sea, la resistencia de un material a la deformación elástica. Cuanto mayor es el módulo, más rígido es el material, o sea, menor es la deformación elástica que se origina cuando se aplica una determinada tensión.



Figura 2.2: Diagrama tensión deformación elástica.

La deformación elástica no es permanente, lo cual significa que cuando se retira la fuerza, la pieza vuelve a su forma original. Tal como se muestra en el diagrama tensión-deformación de la figura 2.2, la aplicación de la carga corresponde al movimiento desde el origen a lo largo de la línea recta. Al retirar la carga, la línea es recorrida en la dirección opuesta volviendo al origen.

2.3.2. Deformación plástica.

Para la mayoría de los materiales metálicos, la deformación elástica únicamente persiste hasta deformaciones de alrededor de 0,005. A medida que el material se deforma más allá de este punto, la tensión deja de ser proporcional a la deformación y la ley de Hooke, ecuación 1.3, deja de ser válida y ocurre la deformación plástica, la cual es permanente. La transición elastoplástica es gradual en la mayoría de los metales; se empieza a notar cierta curvatura al comienzo de la deformación plástica, la cual aumenta más rápidamente al aumentar la carga.

2.3.3. Fluencia y límite elástico.

La mayoría de las estructuras se diseñan de tal manera que solamente ocurra deformación elástica cuando sean sometidas a tensiones. Por consiguiente, es deseable conocer el nivel de tensiones para el cual empieza la deformación plástica, o



sea, cuando ocurre el fenómeno de fluencia. Para los metales que experimentan la transición elastoplástica de forma gradual, el punto de fluencia puede determinarse como la desviación inicial de la linealidad de la curva tensión-deformación; este punto se denomina a menudo límite proporcional, y está indicado por P en la Figura 2.3a. En tales casos, la posición de este punto no puede ser determinada con precisión. Por este motivo se ha establecido una convención por la cual se traza una línea recta paralela a la línea elástica del diagrama tensión-deformación desplazada por una determinada deformación, usualmente 0,002. La tensión correspondiente a la intersección de esta línea con el diagrama tensión-deformación cuando este se curva se denomina límite elástico.

Algunos aceros y otros materiales exhiben el tipo de diagrama tensión-deformación mostrado en la Figura 2.3b. La transición elastoplástica está muy bien definida y ocurre de forma abrupta y se denomina fenómeno de discontinuidad del punto de fluencia. En el límite de fluencia superior, la deformación plástica se inicia con una disminución de la tensión. La deformación prosigue bajo una tensión que fluctúa ligeramente alrededor de un valor constante, denominado punto de fluencia inferior. En los metales en que ocurre este fenómeno, el límite elástico se toma como el promedio de la tensión asociada con el límite de fluencia inferior, ya que está bien definido y es poco sensible al procedimiento seguido en el ensayo. Por consiguiente, no es necesario utilizar el método del 0,2 % de deformación para estos materiales.

2.3.4. Resistencia a la tracción.

Después de iniciarse la deformación plástica, la tensión necesaria para continuar la deformación en los metales aumenta hasta un máximo, punto M en la Figura 2.4, y después disminuye hasta que finalmente se produce la fractura, punto F. La resistencia a la tracción es la tensión en el punto máximo del diagrama tensión-deformación nominales (Figura 2.4). Esto corresponde a la máxima tensión que puede ser soportada por una estructura a tracción; si esta tensión es aplicada y mantenida, se

producirá la rotura. Hasta llegar a este punto, toda la deformación es uniforme en la región estrecha de la probeta. Sin embargo, cuando se alcanza la tensión máxima, se empieza a formar una disminución localizada en el área de la sección transversal en algún punto de la probeta, lo cual se denomina estricción o cuello, y toda la deformación subsiguiente está confinada en la estricción, tal como se indica esquemáticamente en la Figura 2.4. La fractura ocurre en la estricción. La tensión de fractura o bien de rotura corresponde a la tensión en la fractura.

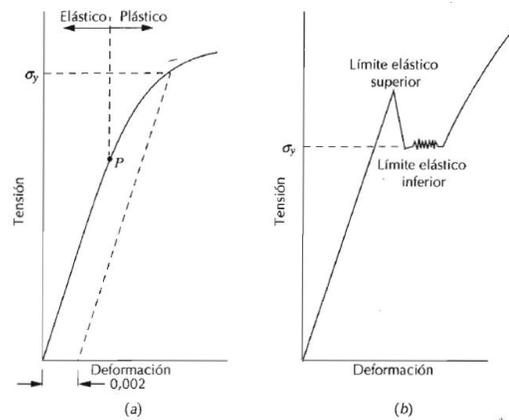


Figura 2.3: a) Curva de tracción de un metal que muestra deformación elastoplástica. b) Curva típica de algunos aceros que muestran discontinuidad en la fluencia.

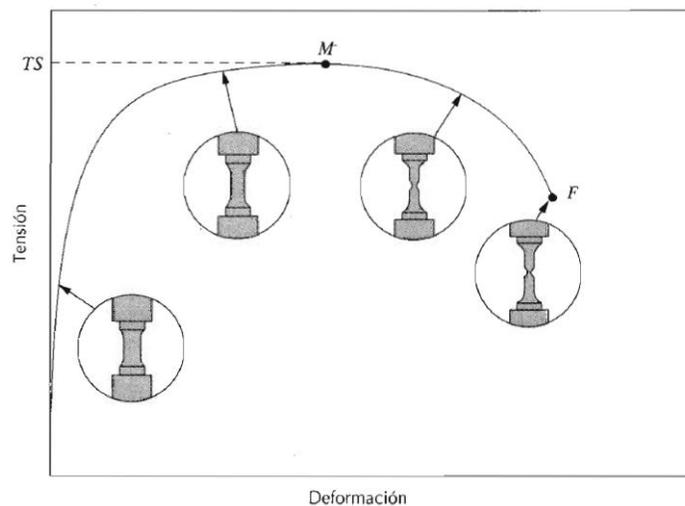


Figura 2.4: Curva típica de ensayo de tracción hasta la fractura.

2.3.5. Ductilidad.

La ductilidad es otra importante propiedad mecánica. Es una medida del grado de deformación plástica que puede ser soportada hasta la fractura. Un material que experimenta poca o ninguna deformación plástica se denomina frágil. El diagrama tensión-deformación para materiales dúctiles y para materiales frágiles se ilustran esquemáticamente en la Fig. 2.5.

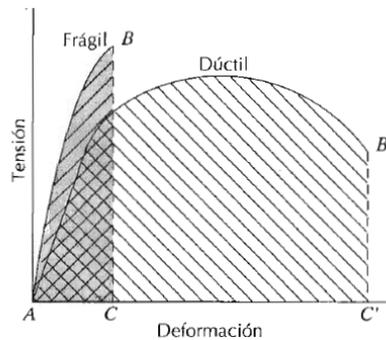


Figura 2.5: Representación gráfica del ensayo de tracción de materiales frágiles y dúctiles.

La ductilidad puede expresarse cuantitativamente como alargamiento relativo porcentual, o bien mediante el porcentaje de reducción de área. El alargamiento relativo porcentual (%EL), es el porcentaje de deformación plástica a rotura, y se determina según la ecuación 1.4.

$$\%EL = \left(\frac{l_f - l_0}{l_0} \right) \times 100 \quad (1.4)$$

Donde l_f es la longitud en el momento de la fractura y l_0 es la longitud original de la muestra. Siempre que una parte significativa de la deformación plástica a la rotura esté confinada en la región de la estricción, la magnitud de %EL dependerá de la longitud de prueba de la probeta. Cuanto más corta sea la probeta, mayor será la fracción del alargamiento total que proviene de la estricción, y por consiguiente mayor será el



valor de %EL. Por tanto, se debe especificar el valor de l cuando se menciona el alargamiento relativo, el cual se suele tomar igual a 50 mm (2 pulgadas).

El porcentaje de reducción del área se determina según la ecuación 1.5.

$$\%AR = \left(\frac{A_0 - A_f}{A_0} \right) \times 100 \quad (1.5)$$

Donde A_0 es el área de la sección inicial y A_f es el área de la sección en el momento de la fractura. Los valores del porcentaje de reducción de área son independientes de l_0 y A_0 . Además, para un determinado material los valores de %EL y %AR son en general diferentes. La mayoría de los metales tienen por lo menos un pequeño grado de ductilidad a temperatura ambiente; sin embargo, algunos se hacen frágiles a medida que la temperatura disminuye.

El conocimiento de la ductilidad de un material es importante porque en primer lugar, indica al diseñador el grado en que una estructura podrá deformarse antes de producirse la rotura. En segundo lugar, especifica el grado de deformación que puede permitirse durante las operaciones de conformación. A menudo se dice que los materiales relativamente dúctiles son “indulgentes”, en el sentido de que cualquier error en el cálculo de la tensión de diseño lo ponen de manifiesto deformándose antes de producirse la fractura.

Como materiales frágiles pueden considerarse aquellos que tienen una deformación a la fractura menor que aproximadamente 5%.

Por consiguiente, a partir de ensayos de tensión-deformación se pueden determinar importantes propiedades mecánicas de los metales como lo son el módulo de elasticidad, el límite elástico, la resistencia a la tracción y ductilidad. Estas propiedades son sensibles a la deformación previa, la presencia de impurezas, y/o a cualquier tratamiento térmico a que haya sido sometido el material. De la misma



manera que el módulo de elasticidad, el límite elástico y la resistencia a la tracción disminuyen al aumentar la temperatura; justamente ocurre lo contrario en el caso de la ductilidad, la cual usualmente aumenta con la temperatura. La Figura 2.6 muestra cómo la curva de tracción del hierro cambia con la temperatura.

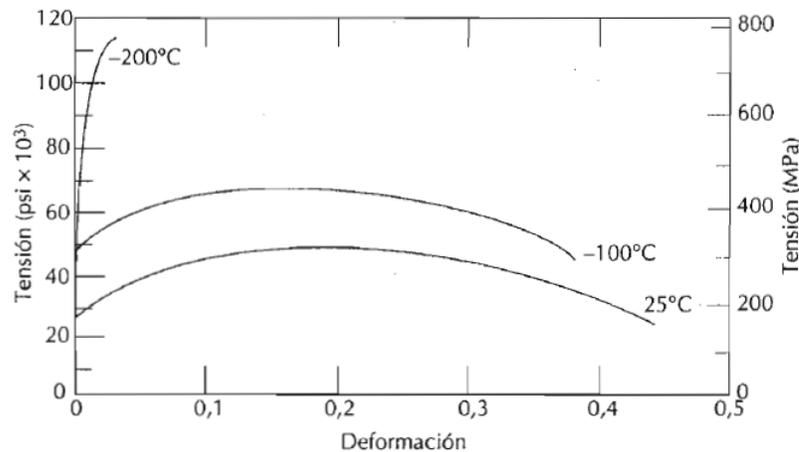


Figura 2.6: Curva de tracción típicas del hierro a diferentes temperaturas.

2.3.6. Dureza

La dureza de un material es la resistencia que este opone a la indentación permanente causada por otro material más duro. La resistencia se determina introduciendo un cuerpo de forma esférica, cónica o piramidal, por el efecto que produce una fuerza determinada durante cierto tiempo en el cuerpo a ensayar. Como indicador de dureza se emplea la deformación plástica.

2.3.7. Ensayo de microdureza Vickers.

En este ensayo, un penetrador de diamante muy pequeño y de geometría piramidal de base cuadrada, es forzado a penetrar en la superficie de la muestra con la aplicación una carga comprendida entre 1gr y 1000gr. La marca resultante se observa al microscopio y se miden las diagonales de la huella dejada; esta medida es entonces convertida en un número de dureza utilizando la ecuación 1.6.



$$HV = 1,8544 \times \frac{F}{\left(\frac{d_1 + d_2}{2}\right)^2} \quad (1.6)$$

Donde la F es la carga aplica en Newtons (N), d_1 y d_2 son las diagonales (mm) de huella dejada por el indentador sobre la muestra. Es necesario que la superficie de la muestra haya sido preparada cuidadosamente mediante desbaste y pulido de cada una de las muestras para poder asegurar una huella que pueda ser medida con exactitud. Las durezas Vickers se designan por HV. Esta técnica de ensayo se considera de microdureza debido a la magnitud de la carga aplicada y al tamaño del indentador. Es muy conveniente para la medida de la dureza de pequeñas regiones seleccionadas en la superficie de la muestra.

2.4. Proceso de embutido.

El embutido se puede clasificar en embutido cilíndrico, rectangular e irregular por la figura del producto. Cada uno de estos 3 tipos de embutido tiene condiciones características de transformación, sin embargo existen muchos problemas básicos en común. Embutir un vaso es el embutido más sencillo y es adecuado para explicar con claridad la teoría del embutido, por consiguiente se explicará sobre dicho embutido cilíndrico que se llama el embutido de vaso.

La silueta para un vaso es circular como se muestra en la Figura 2.7 y al momento de embutir esta silueta en la forma de vaso, la orilla de la silueta se fluye hacia el centro de la misma por tanto su contorno se queda corto. A partir de este fenómeno se supone que la lámina recibe la fuerza de compresión.

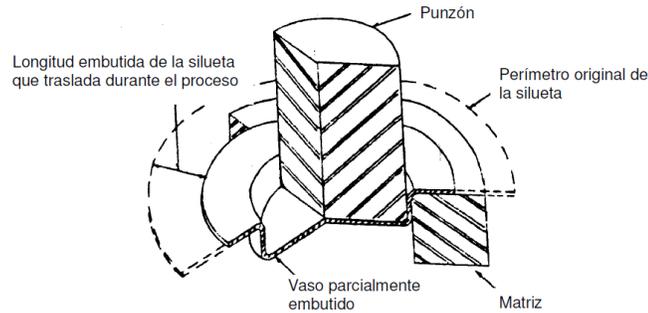


Figura 2.7: Proceso de embutido de un vaso.

A continuación, basándose en la figura 2.8, se describen cada una de las etapas involucradas en el proceso de embutido de vaso.

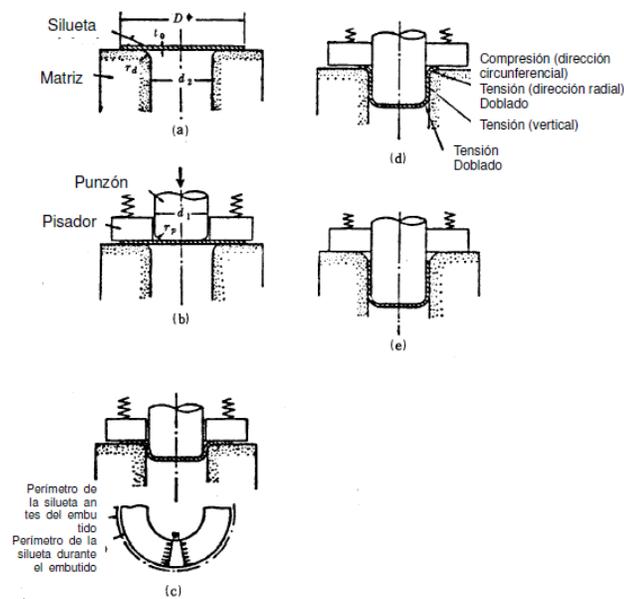


Figura 2.8: Etapas del proceso de embutido.

Etapa 1: Se coloca una silueta circular con espesor t_0 y diámetro D sobre la superficie de la matriz que tiene un orificio con el diámetro d_2 . Normalmente, en la boca del orificio de la matriz está aplicado un radio r_d (Figura 2.8a).

Etapa 2: Se inserta el punzón con el diámetro d_1 en la dirección del eje. El extremo del punzón tiene el radio r_p . Este mismo radio queda como el radio del fondo del producto terminado (Figura 2.8b).



Etapa 3: Conforme el punzón se inserta en la matriz, se embute la parte central de la silueta gradualmente y al mismo tiempo el perímetro de la silueta se desliza sobre la superficie de la matriz y se traslada hacia el interior del orificio de la matriz.

Etapa 4: Cuando se encoge la circunferencia de la silueta se genera la fuerza de compresión en la dirección de la circunferencia de la silueta, y así provoca el pandeo que produce arrugas con frecuencia. Se sujeta la silueta con el pisador para evitar este fenómeno (Figura 2.8c).

Etapa 5: En el momento en que se embute la silueta, se comprime en la dirección de la circunferencia y se dobla recibiendo la tensión en la dirección radial simultáneamente en la boca del orificio de la matriz r_d . Posteriormente, se dobla a la dirección contraria a la dirección original al pasar por dicha parte. De igual manera la sección que tiene contacto con la cabeza del punzón recibe la tensión, sobre todo la sección del radio r_p es la que recibe la mayor fuerza del doblado. La zona entre los radios r_d y r_p que corresponde a la pared lateral del recipiente está estirada verticalmente (Figura 2.8d).

Etapa 6: Así la silueta avanza gradualmente hacia la parte interna del orificio de la matriz recibiendo diversas fuerzas y deformándose. Si la fuerza de deformación del material resiste al esfuerzo que se genera durante este proceso, se aumenta la magnitud de deformación y se completa la forma final del embutido (Figura 2.8e).

El punzón aplica la presión al fondo del vaso durante el embutido y la lámina entre el fondo y la pared del vaso se estira. En la Figura 2.9 se muestra la fuerza aplicada durante el embutido del vaso. El área cercana al perímetro de la silueta pretende incrementar su espesor recibiendo la fuerza de compresión.

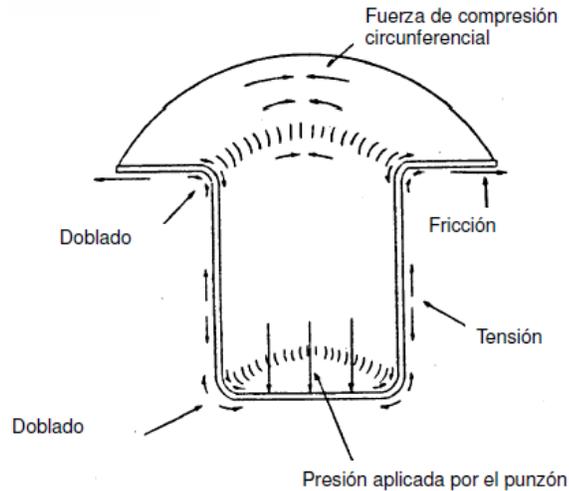


Figura 2.9: Fuerza aplicada durante el embutido.

La variación del espesor de cada parte del material está relacionada al flujo del material. El vaso con el fondo esférico (Figura 2.10) tiene el espesor de la pared más delgado. Entre más grueso sea el espesor del material en el punto donde recibe la máxima tensión, se puede decir que se ha generado menor esfuerzo en la lámina. Por consiguiente, se observa con claridad la condición del embutido mediante la medición minuciosa del espesor de la pared. En caso del vaso cuyo fondo es plano (Figura 2.11), no se observa ningún cambio del espesor en el fondo del producto. Esto señala que el esfuerzo generado en dicha parte es mínimo y no puede provocar la deformación permanente en la lámina.

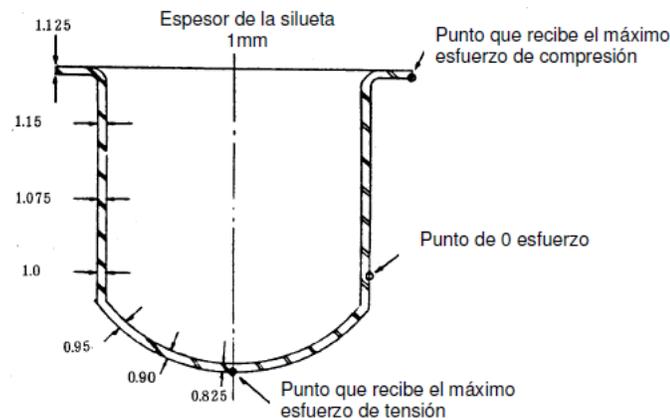


Figura 2.10: Ejemplo de variación de espesor en un recipiente de fondo curvo.

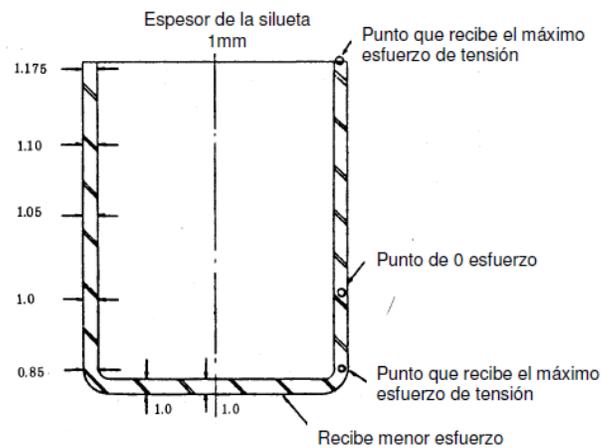


Figura 2.11: Ejemplo de variación del espesor en un recipiente de fondo plano.

2.4.2. Ensayo de Erichsen

Para determinar la aptitud de un material frente a los procesos de embutido profundo de chapas se ha desarrollado el ensayo de embutido. Este proceso se realiza según el método de Erichsen, el cual consiste en embutir una chapa con un punzón esférico hasta que la carga del punzón empieza a disminuir que sería el comienzo de la estricción en el material. El desplazamiento logrado hasta la carga máxima corresponde al índice Erichsen. Un esquema del ensayo Erichsen se muestra en la figura 2.12.

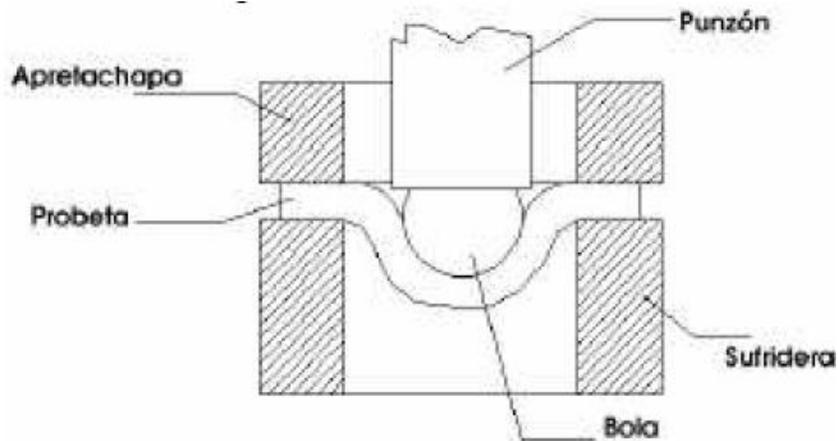


Figura 2.12: Esquema del ensayo de Erichsen.

La ASTM redactó el estándar E643-84 con el fin normalizar las condiciones del ensayo Erichsen cubriendo los aspectos constructivos del equipo de ensayo y las variables de procedimiento. Los aspectos más relevantes son:

- Dimensiones de la herramienta de ensayo. Ver Figura 2.13.
- La capacidad de carga del equipo debe ser como mínimo de 9800 N (1000 kg).
- Propiedades físico-mecánicas de la herramienta. El punzón debe tener una dureza de 62 HRC' como mínimo y una rugosidad de al menos Ry 4. De igual forma los dados deben cumplir ese mínimo valor de rugosidad además de una dureza de al menos 56HRC.
- El espesor de las muestras a ensayar debe estar entre 0.2mm y 2.0mm. Mientras el ancho o diámetro debe ser de 90mm como mínimo.
- Velocidad del punzón entre 0.08 y 0.4 mm/s.
- El método preferido o recomendado para determinar el punto final del ensayo es por caída de carga en el punzón. En general, esto indica la formación de cuello y consecuente rotura en el domo de la copa.

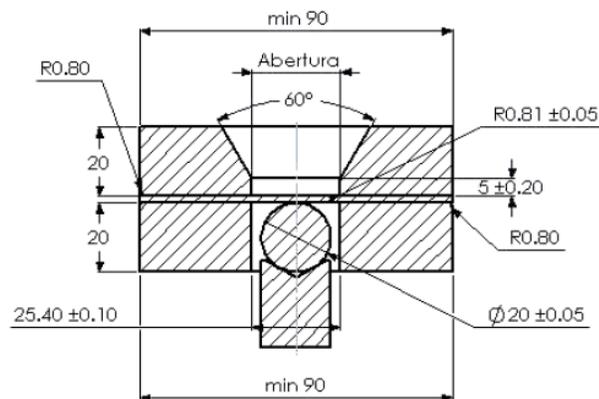


Figura 2.13: Dimensiones del herramental para el ensayo de Erichsen según la ASTM E649-84.



2.5. Análisis macroscópico.

La forma más sencilla de realizar el estudio, es examinando las superficies metálicas a simple vista, logrando determinar de esta forma las características macroscópicas. De ellos se extraen datos sobre los tratamientos mecánicos sufridos por el material, es decir, determinar si el material fue trefilado, laminado, forjado, entre otros, comprobar la distribución de defectos como grietas superficiales, de forja, rechupes, partes soldadas. Así mismo, los exámenes macroscópicos se realizan generalmente sin preparación especial, pero a veces es necesaria una cuidadosa preparación de la superficie para poner de manifiesto las características macroscópicas.

2.5.1. Defectos macroscópicos.

Estructura dendrítica.

Se forma en el primer proceso de solidificación cuando la temperatura del líquido es muy cercana a la de solidificación la que permite que se formen núcleos que comiencen a crecer en todas partes y en diferentes direcciones y cuando se consiguen en su interior queda líquido atrapado. Los núcleos se observan de un color brillante porque es el metal más puro, y menos brillante porque es la impureza del metal.

Segregaciones.

Se forman durante la solidificación. Son producto de las impurezas contenidas en el metal o contenidas en la lingotera. Son las últimas en solidificarse y se observan en el centro.



Porosidades.

Se forman durante la solidificación: son producto de aire o gases acumulados en el material líquido que al ser vertido en el molde quedan atrapados y no salen adecuadamente, formándose burbujas en el interior del metal. Las porosidades e el centro tienen forma redondeada y hacia los alrededores alargadas llamadas sopladuras.

Rechupe.

Surge durante la solidificación. Se forma a causa de las contracciones por la disminución de volumen cuando el metal pasa de líquido a sólido. También influye en su formación el escape de los gases. La disminución de volumen origina una cavidad en el centro de la pieza. Esta cavidad es la última en solidificarse y como esta en contacto con el aire presenta oxidación.

Líneas de fluencia.

No es un defecto. Se forma cuando el lingote original presenta segregaciones o dendritas (o ambas) cuando se deforman estas impurezas se forman en líneas paralelas. Estas líneas son llamadas líneas de fluencia. Nos sirven para identificar el proceso que se utilizó para obtener la pieza final.

Impresión de Baumann.

Prueba que se utiliza para determinar el azufre en el acero. La superficie cuya impresión interesa debe estar razonablemente desbastada y limpia de materias extrañas suciedad y grasas. Pasos:

- El papel fotográfico (Ag. Br.) se pone en contacto con una solución acuosa de ácido sulfúrico (H₂S) al 2% durante 3 ó 4 min.
- Se extrae el papel del baño de ácido y se deja escurrir el exceso de líquido.



- Se pone el papel en contacto con la superficie preparada y se expulsan las burbujas que pueden haber quedado con un rodillo de goma, manteniéndolo a presión moderada por intervalo de 1 a 2 min.
- El ácido sulfúrico reacciona con los sulfuros del acero (el azufre se encuentra en el acero como FeS y MnS) desprendiéndose un gas sulfídrico el cual reacciona con el bromuro de plata (Ag. Br.) de la emulsión para formar sulfuro de plata (Ag₂S) de color entre pardo y gris negrozco.
- Después del tiempo recomendado se separa el papel fotográfico, se lava con agua y se fija con un baño fijador fotográfico, en el que se mantiene unos 15min. Luego se lava la impresión en agua corriente durante unos minutos y luego se secan en forma usual. La presencia de azufre se observa por una serie de puntillos amarillos en la pieza.

2.6. Variabilidad de las propiedades de los materiales.

Resulta común que las propiedades de los materiales no tienen valores exactos. Es decir, aun cuando tuviéramos el instrumento de medida más preciso posible y un procedimiento completamente controlado, siempre tendremos cierta dispersión o variabilidad de los resultados que se obtienen en distintas probetas del mismo material. Por ejemplo, consideremos un número de probetas de tracción, todas idénticas, que han sido preparadas a partir de la misma barra de una aleación metálica y que son todas ensayadas en el mismo aparato. Lo más probable es que observemos que cada curva de tracción es ligeramente distinta de las otras. Esto genera a una variedad de valores del módulo de elasticidad, límite elástico y resistencia a la tracción. Existen muchos factores capaces de producir esta variabilidad, entre ellos el método de ensayo, las variaciones en los procesos de fabricación de la probeta, la acción del operador y el equipo de calibración del aparato de medida. Además, dentro del propio material pueden existir variación de la homogeneidad y/o ligeras diferencias de composición de un lote a otro. Desde luego, deben tomarse todas las



medidas necesarias para que la posibilidad de errores en las medidas sea mínimo, así como para mitigar aquellos factores que generan la variabilidad en los resultados. En tales casos, los resultados deben ser tratados de forma estadística y deben determinarse probabilidades.

A pesar de la variación en las propiedades medidas, es conveniente especificar un valor típico. Frecuentemente el valor típico se toma como el promedio de los valores experimentales. Estos se obtienen dividiendo la suma de todos los valores medidos por el número de medidas. En términos matemáticos, la determinación del promedio de un parámetro se muestra en la ecuación 1.7.

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (1.7)$$

Donde n es el número de observaciones o medidas y x es el valor de una medida discreta. También es deseable cuantificar el grado de dispersión de los valores medidos. La medida más común de la dispersión es la desviación estándar (s), la cual se determina utilizando la expresión mostrada en la ecuación 1.8.

$$s = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1} \right]^{1/2} \quad (1.8)$$



3. MARCO METODOLÓGICO

Dentro de los rangos establecidos en la investigación científica, se puede inferir que la presente investigación tiene un alcance cuantitativo.

Según Palella S. (2006), la investigación cuantitativa es aquella que requiere el uso de instrumentos de medición y comparación que proporcionan datos cuyo estudio necesita la aplicación de modelos matemáticos y estadísticos, afirmándose científicismo y racionalismo. (P.50)

3.1. Nivel de la Investigación.

Siguiendo los parámetros de Fidias (2006), éste se refiere al grado de profundidad con que se aborda un fenómeno u objeto de estudio. (P.23).

El proyecto de investigación esta basado en un nivel descriptivo, el cual se define como la caracterización de un hecho, fenómeno, individuo o grupo, con el fin de establecer su estructura comportamiento. Fidias. 2006. (P.24).

Esta investigación consiste en la determinación del comportamiento mecánico y macroscópico de los recipientes de acero de embutidos y reembutidos utilizados en la fabricación de los filtros de unidad sellada industrial, el cual le permitirá a la empresa identificar las posibles causas de defectos debido al acero utilizado en el proceso de fabricación de los envases.

3.2. Diseño de la investigación.

El diseño que se pondrá en práctica es de tipo documental porque se realizará una búsqueda, análisis, crítica e interpretación de los datos obtenidos por otros investigadores en fuentes impresas, audiovisuales o electrónicas, aportando nuevos conocimientos.



También se desarrollará un diseño experimental, que consiste en someter un grupo de objetos a determinadas condiciones, estímulos o tratamientos para así lograr los efectos o reacciones que se produzcan. Fidias. 2006. (P.33)

En este caso se aplicarán ensayos de tracción, dureza, embutibilidad y análisis macroscópico a cada una de las muestras obtenidas de las familias de vasos para los filtros 791 y 218 de la línea de Unidad Sellada Industrial (U.S.I.).

3.3. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.

Para la organización de los datos obtenidos de cada ensayo, se aplicarán técnicas de recolección de datos como tablas y gráficos, donde se extraerán las tendencias de la información registrada, realizando comparaciones y de esta manera establecer causales entre las variables estudiadas.

3.4. Población.

Para el muestreo se tomará una población de la familia de vasos 791 y 218 de los filtros de la Línea de Unidad Sellada Industrial, los cuales serán el conjunto de elementos que presentarán las características pertinentes e interesantes para el investigador.

3.5. Muestra.

Es considerada como el subgrupo de la población que esta integrada por aquellos sujetos que aportaran información al estudio.

La muestra se obtuvo tanto de una bobina de acero principal, la cual sirve de materia prima para la fabricación de los recipientes, así como también de los distintos pasos de embutidos y reembutidos que conforman el proceso de fabricación de los vasos 791 y 218. Cabe destacar que en este proceso de fabricación el primer paso de embutido es común para ambas familias de vasos 791 y 218, al igual que la



bobina de acero la cual es la misma en ambos caso. Por tal motivo solo se tomó un único conjunto de muestras para este primer paso de embutido y de la bobina principal. Para el resto de los pasos se tomaron grupos de muestras para cada familia en cada paso de embutido. En el diagrama de la figura 3.1 se muestra de forma esquemática el proceso de fabricación de los vasos de cada familia y en la figura 3.2 se muestra el conjunto de vasos que se obtuvieron de muestra.

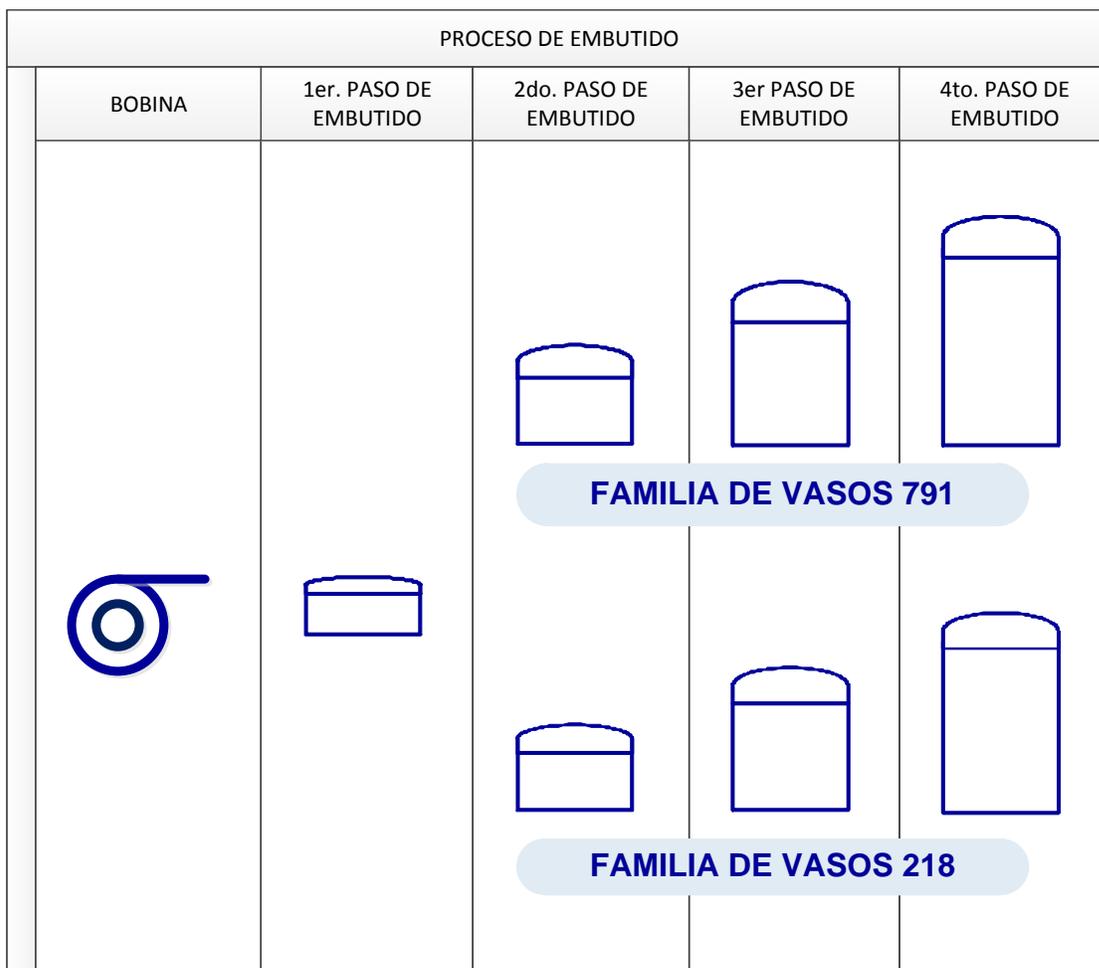


Figura 3.1: Esquema del proceso de fabricación de los recipientes.



Figura 3.2: Muestras de vasos de las familias 791 y 218.

3.6. Tamaño muestral.

Para el ensayo de tracción 1 probeta de la zona lateral de las 6 muestras obtenidas de los pasos de embutido 2, 3 y 4, tanto de la familia 791 como la familia 218, logrando un total de 36 probetas para el ensayo de tracción.

En el caso del ensayo de dureza, se obtuvo 3 muestras de la bobina principal y de los recipientes se obtuvo una muestra de la zona curva de domo y otra de la zona lateral del recipiente. Aplicando esto para cada uno de los pasos de embutidos, destacando que el primer paso del proceso es común para ambas familias; por lo que solo se expondrá un solo grupo de probetas. En total se obtuvieron 17 probetas para el ensayo de dureza.

Por otra parte, el ensayo de embutibilidad se aplicó únicamente a la bobina principal, ya que es el único paso en donde se garantiza las dimensiones de la probeta requerida por la norma ASTM E643-78. Se obtuvieron 6 probetas de la lámina de la bobina de acero.

Finalmente en la evaluación macroscópica se aplicó una inspección visual de la lámina de acero, además de utilizar el histórico de desperdicio de recipientes de un año de producción en la línea de vasos de unidad sellada industrial.



Este tipo de muestreo se define como probabilístico porque cada uno de los sujetos o casos tienen la misma posibilidad de ser elegidos y formar parte de la muestra. En la figura 3.3 se muestra un resumen de las probetas obtenidas.

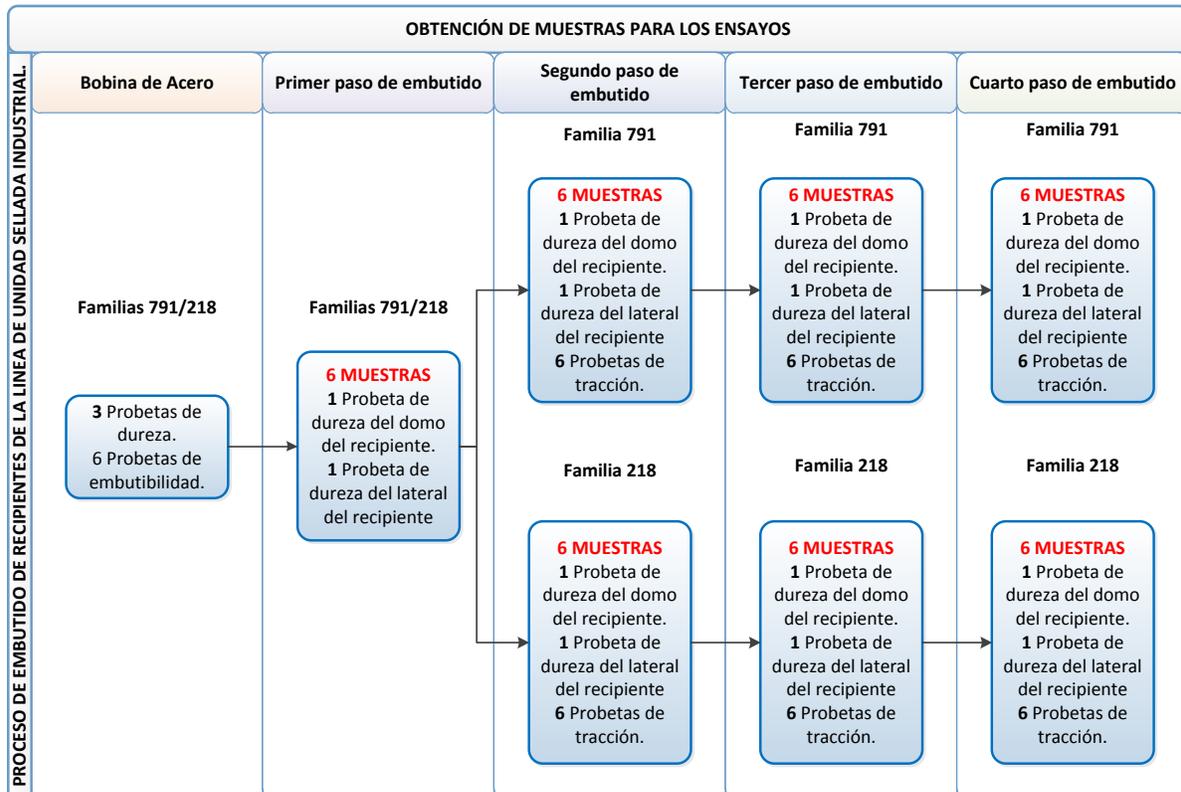


Figura 3.3: Resumen de probetas obtenidas de las muestras de recipientes recolectadas.

3.7. Definición de variables.

Según Palella (2006), las variables son elementos que pueden ser clasificados en una o más categorías. Es posible medirlas o cuantificarlas, según sus propiedades o características. (P.73)

Es por ello que se seleccionan los siguientes aspectos como variables de la investigación:



- Dureza
- Módulo de la elasticidad
- Límite elástico.
- Resistencia a la tracción.
- Ductilidad.
- Índice de Erichsen.

3.8. Técnicas de recolección de datos.

Las técnicas e instrumentos de recolección de datos se refieren al conjunto organizados de procedimientos y técnicas que se utilizaron para obtener los datos en la investigación y a objeto de llevar a cabo el estudio se aplicaron ensayos, con técnicas de procesamientos de datos como tablas y gráficos, donde se definieron las propiedades mecánicas y macroscópicas de los recipientes, obteniendo tendencias de la información registrada, así como también comparaciones para establecer causales entre las variables estudiadas. El investigador utilizó la técnica de observación directa a través de ensayos aplicados a las probetas.

3.9. Materiales utilizados.

- Bobina de acero estañado para embutición profunda.
- Envases Embutidos y reembutidos obtenidos del proceso productivo
- Baquelita para el embutido de las probetas del ensayo de dureza.

3.10. Equipos Utilizados.

- Equipo de embutido de probetas
- Maquinas de ensayo universal para ensayos de tracción y de embutibilidad.
- Durómetro.



3.11. Herramientas Utilizadas.

- Cinta métrica.
- Tijera de herrero.
- Taladro.
- Fresadora.
- Punzón Rallador de Acero
- Vernier.
- Papel de lija.
- Lentes protectores
- Guantes
- Bata de taller

3.12. Procedimiento experimental

A continuación se describe el procedimiento experimental que se llevo a cabo para cumplir el objetivo principal de la investigación, así como también los procedimientos para la obtención de las probetas y la realización de los ensayos.

3.12.1. Ensayo de tracción

En el caso del ensayo de tracción, de los recipientes embutidos y reembutados se obtuvo una probeta de la sección lateral de cada una de las muestras en cada paso del proceso. Esto aplico únicamente en aquellos recipientes cuya sección lateral cumplieron con la altura mínima para la obtención de dicha probetas; entiéndase el paso 2, 3 y 4 del proceso de reembutado tal como se muestra en la figura 3.4. En total se obtuvieron 36 probetas de tracción.

02 MODELOS DE VASOS (791 Y 218)
06 MUESTRAS DE CADA PASO PARA CADA MODELO
12 MUESTRAS / PASO (AMBAS FAMILIAS)
36 MUESTRAS EN TOTAL

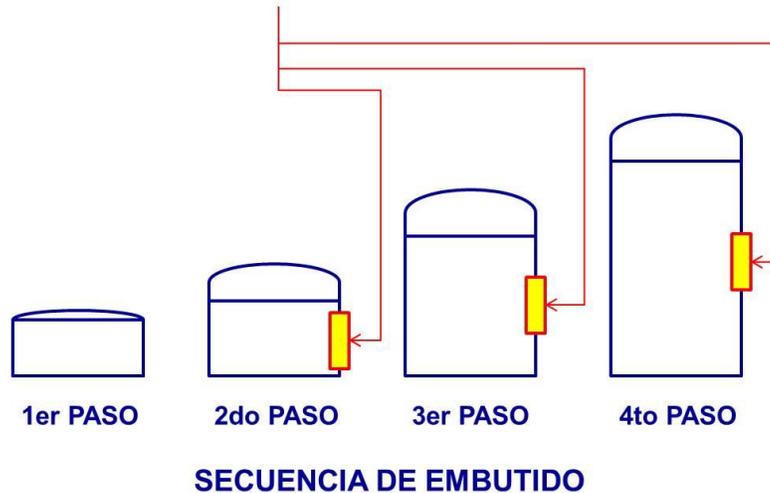


Figura 3.4: Sección utilizada para extraer las probetas de tracción.

Para la fabricación se de la probeta se utilizó la norma E8-E8M, la cual define las dimensiones la probeta según se muestra en la figura 3.5.

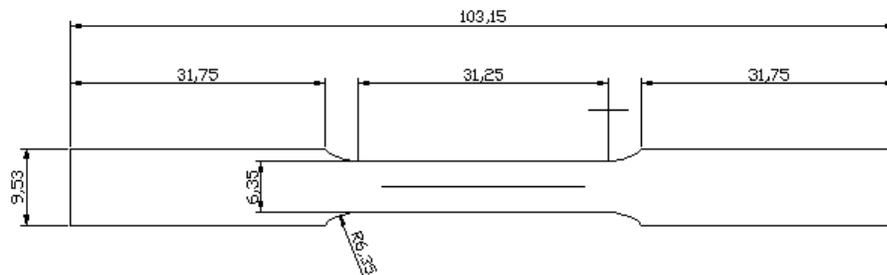


Figura 3.5: Dimensiones de la probeta de tracción según ASTM E8-E8M.

Para el mecanizado de la probeta se utilizo el mecanizado convencional con fresadora. En la figura 3.6 se muestra un esquema de la obtención de la probeta de cada vaso. Debido a que la lamina que conforma al vaso es de un espesor de 0,53mm, las probetas se mecanizaron en grupos de 6 para obtener una mayor resistencia del material durante el mecanizado y así evitar probetas fuera de especificación. Igualmente en la figura 3.7 se observa la probeta ya mecanizada.

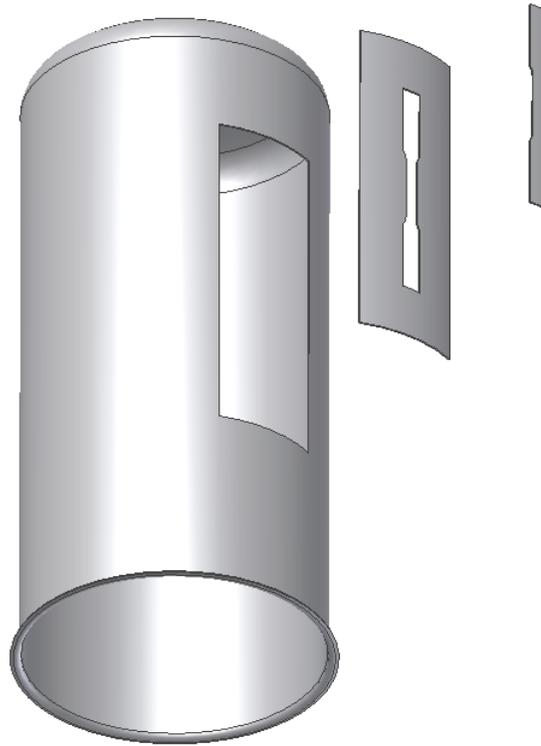


Figura 3.6: Esquema de obtención de la probeta de tracción de cada recipiente.



Figura 3.7: Probetas de tracción obtenidas de los recipientes.



Las probetas fueron sometidas al ensayo de tracción en la maquina de ensayos universal del laboratorio de materiales de la Universidad de Carabobo, de la cual se obtuvo los datos del gráfico de fuerza-elongación.

El esfuerzo se obtuvo dividiendo la fuerza aplicada en cada instante de tiempo entre el área de la sección transversal inicial de cada probeta. La deformación se obtuvo dividiendo la elongación entre la longitud inicial de la probeta. Con estos resultados se construyo cada gráfico esfuerzo-deformación.

Una vez obtenido cada gráfico se procedió a obtener las propiedades del material, tales como el esfuerzo de fluencia el cual se determino utilizando el método del 0,2%. El esfuerzo máximo se obtuvo dividiendo la carga máxima aplicada durante el ensayo entre el área de la sección transversal inicial de la probeta. La ductilidad se obtuvo utilizando el método del porcentaje de reducción de área de la probeta.

3.12.2. Ensayo de microdureza Vickers

Del ensayo de dureza se obtuvieron 3 probetas de la bobina acero, una muestra de la zona curva que conforma el domo del recipiente y una de la sección lateral del vaso, repitiéndose éste procedimiento para cada uno de los pasos del proceso de embutido, en la figura 3.8 se puede observar de forma clara las zonas de los recipientes de donde se tomaron las probetas. En la figura 3.9 se muestran el conjunto de probetas obtenidas y que luego se embutieron en baquelita para realizar la medición de la dureza.

Una vez embutidas las probetas se utilizo el durómetro digital del laboratorio de materiales de la Universidad de Carabobo para medir la microdureza Vickers en cuatro puntos a lo largo de la zona media del espesor de cada probeta distribuidos según se muestra en figura 3.10 para luego obtener la dureza promedio de cada una de ellas. Se considero esta zona ya que es la que resulta menos afectada por el endurecimiento superficial producto de la fricción intrínseca del proceso de embutido

que se genera entre la cara interna y externa de los recipientes y el punzón y la matriz de embutido respectivamente.

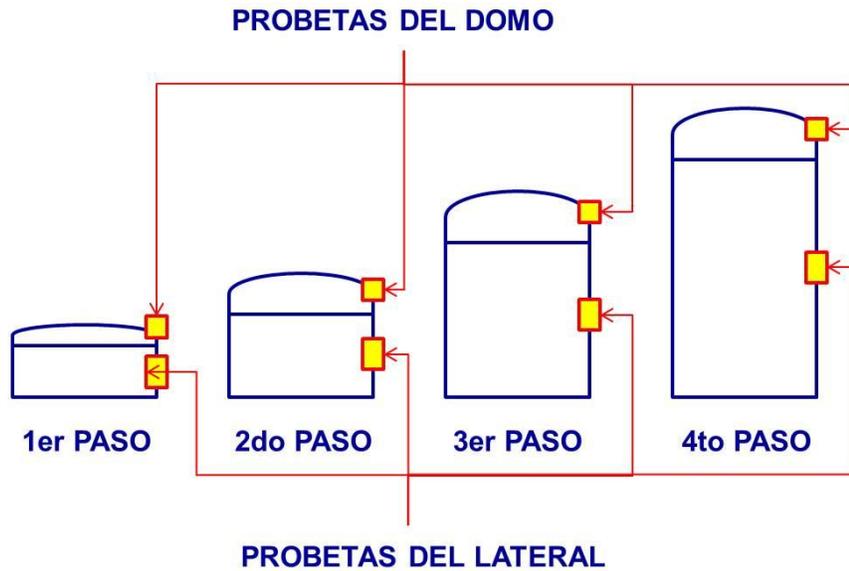


Figura 3.8: Zonas de los recipientes de donde se extrajeron las probetas.



Figura 3.9: Probetas para el ensayo de dureza.

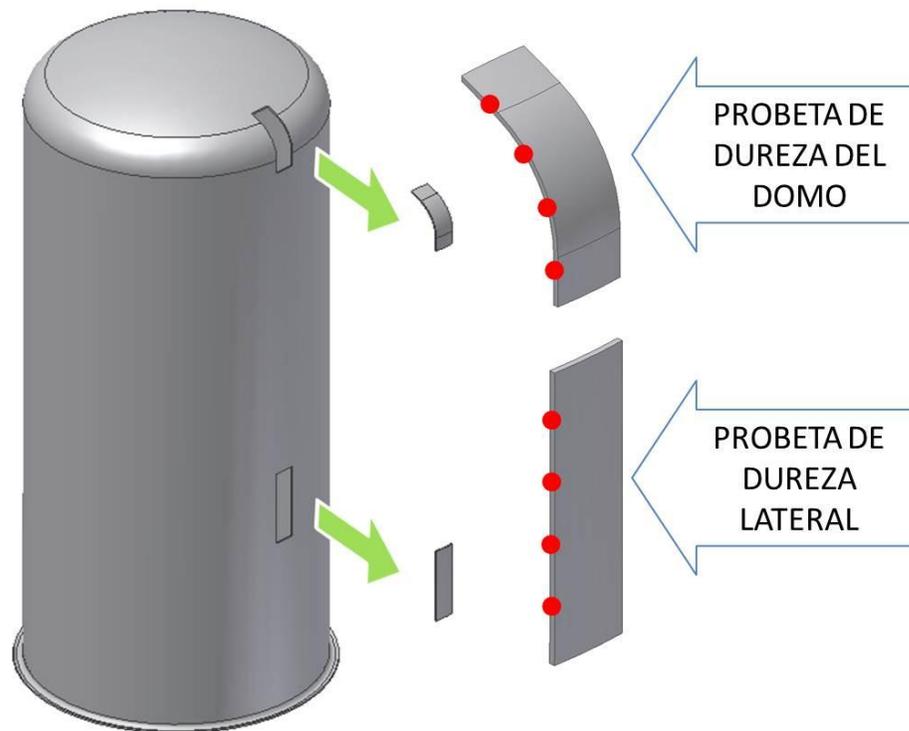


Figura 3.10: Punto de medición de microdureza Vickers de cada probeta de dureza.

Obtenida la dureza promedio de cada probeta se procedió a comparar gráficamente el comportamiento de la dureza a lo largo del proceso de embutido.

3.12.3. Ensayo de embutibilidad (Erichsen)

Para la realización del ensayo de embutibilidad de la bobina de acero estañado se obtuvieron 6 probetas distribuidas tal como se muestra en la figura 3.11 y según la norma ASTM E643-78. A cada una de estas probeta se les aplico el ensayo de embutibilidad utilizando la maquina de ensayos universal del laboratorio de materiales de la Universidad de Carabobo. Obteniéndose los datos de la fuerza aplicada en cada instante y el desplazamiento del punzón hasta el momento de la fractura, tomando como referencia el punto donde la fuerza se hace máxima para definir el desplazamiento del punzón en ese instante como el valor del índice de Erichsen.

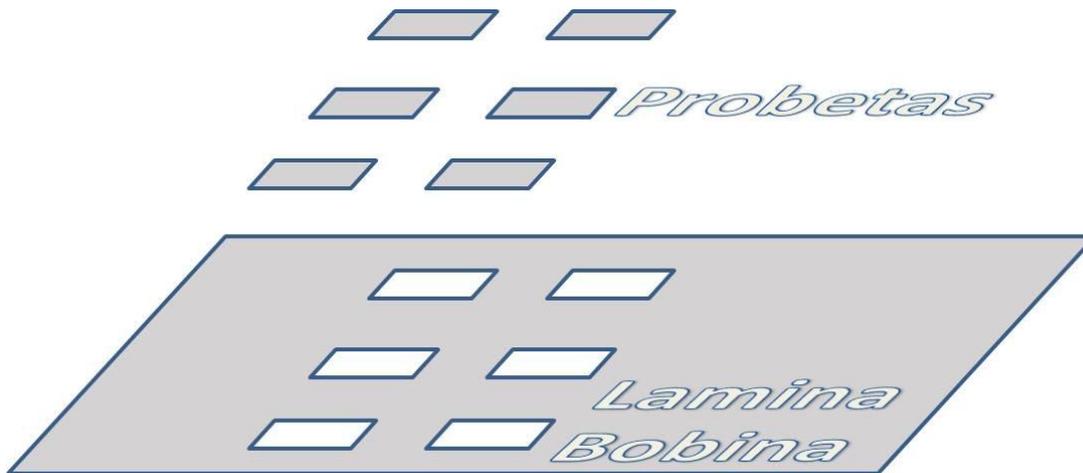


Figura 3.11: Probetas de ensayo de embutibilidad.



Figura 3.12: Probetas para el ensayo de embutibilidad.

3.12.4. Análisis macroscópico

El análisis macroscópico se basó en la identificación visual de los defectos en los recipientes causales de desperdicio en el proceso de embutido, tales como arrugas, fisuras, y estiramientos, con base en un histórico del desperdicio generado en la línea durante un año de producción de la línea. En caso de la lámina de acero estañado proveniente de la bobina principal, se realizó una inspección visual en la búsqueda de defectos que pudieran ocasionar la generación de desperdicios en el proceso de embutido.

4. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.

En este capítulo se muestran los resultados obtenidos de los distintos ensayos, con un breve análisis de los mismos el cual describe el comportamiento de los recipientes durante los ensayos.

4.1. Toma de muestras.

A continuación, en las figuras 4.1, 4.2 y 4.3, se presenta la información referente a la identificación de cada probeta obtenida.

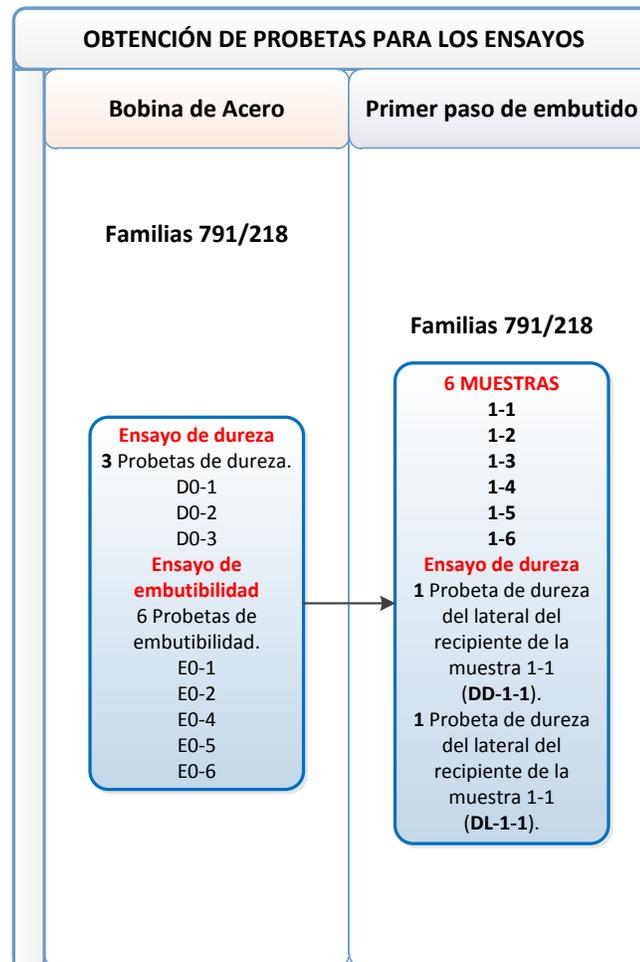


Figura 4.1: Identificación de probetas obtenidas de la bobina de acero y el primer paso de embutido.



Figura 4.2: Identificación de probetas obtenidas de la familia 791.



Figura 4.3: Identificación de probetas obtenidas de la familia 218.



4.2. Ensayo de dureza.

A continuación se muestran las tablas 1.1, 1.2, 1.3 y 1.4 que contienen los resultados obtenidos del ensayo de microdureza Vickers aplicado a las probetas ensayadas.

Tabla 1.1: Resultados del ensayo de microdureza para la bobina acero.

Probeta	D1	D2	HD1	D3	D4	HD2	D5	D6	HD3	D7	D8	HD4	HDP
DD0-1	38,7	39,7	120,7	38,5	37,9	127,1	37,6	37,6	131,2	36,7	37,2	135,8	128,69
DD0-2	36,9	39,9	125,8	38,6	36,3	132,2	36,8	36,8	136,9	37,2	39,8	125,1	130,01
DD0-3	36,9	39,9	125,8	38,6	36,3	132,2	36,8	36,7	137,3	35,7	35,9	144,7	134,99

Fuente: El autor.

Tabla 1.2: Resultados del ensayo de microdureza para la zona curva del domo de cada envase.

Probeta	D1	D2	HD1	D3	D4	HD2	D5	D6	HD3	D7	D8	HD4	HDP
DD1-1	36,5	32,5	155,8	34,7	35,2	151,8	34	34,3	159	36,8	34,9	144,3	152,73
DD791-2-1	36,8	36,8	136,9	36,5	36,5	139,2	32,9	33,9	166,2	37,1	32,8	151,8	148,53
DD791-3-1	37,7	35,3	139,2	36,1	35,6	144,3	36,8	33,3	150,9	34,4	31,9	168,7	150,78
DD791-4-1	33,3	31,5	176,6	35,9	35	147,6	34,4	34,4	156,7	35,9	35,8	144,3	156,30
DD218-2-1	35,3	33,8	155,3	34,2	38,1	141,9	36,8	35,7	141,1	37,9	34,8	140,3	144,65
DD218-3-1	35,2	33,2	158,5	35,9	37,4	138,1	35,3	35,7	147,1	35,1	35,1	150,5	148,55
DD218-4-1	34,7	34,7	154	36	33,4	154	35,2	33,8	155,8	34,1	34,1	159,5	155,83

Fuente: El autor.

Tabla 1.3: Resultados del ensayo de microdureza para la zona lateral media de cada envase.

Probeta	D1	D2	HD1	D3	D4	HD2	D5	D6	HD3	D7	D8	HD4	HDP
DL1-1	27,7	29,1	229,9	30,3	30,3	202	32,6	29,1	194,8	31,5	30	196,1	205,70
DL791-2-1	30,4	29,2	208,8	30,2	30,2	203,3	30,9	30,9	194,2	29	29,9	213,8	205,03
DL791-3-1	27,3	31	218,2	28,5	30,4	213,8	30,1	30,1	204,7	29,6	29,6	211,7	212,10
DL791-4-1	29,5	29,5	213,1	30,1	27,2	225,9	28,8	28,8	223,6	28,5	30,4	213,8	219,10
DL218-2-1	29,5	30,4	206,7	30,1	29,5	208,8	29,7	29,9	208,8	29,6	30,5	205,4	207,43
DL218-3-1	29	29,4	217,5	29,2	29,3	216,7	28,6	30,6	211,7	29,7	29,7	210,2	214,03
DL218-4-1	31	29,3	204	29,9	29,3	211,7	27,2	28,1	242,6	29,7	28,2	221,3	219,90

Fuente: El autor.



Tabla 1.4: Resumen de resultados de microdureza Vickers promedio.

Paso de embutido	HV100 media	Zona	HV100 domo	Zona
	791ZM	218ZM	791ZD	218ZD
0	131,23	131,23	131,23	131,23
1	205,70	205,70	152,73	152,73
2	205,03	207,43	148,53	144,65
3	212,10	214,03	150,78	148,55
4	219,10	219,90	156,30	155,83

Fuente: El autor.

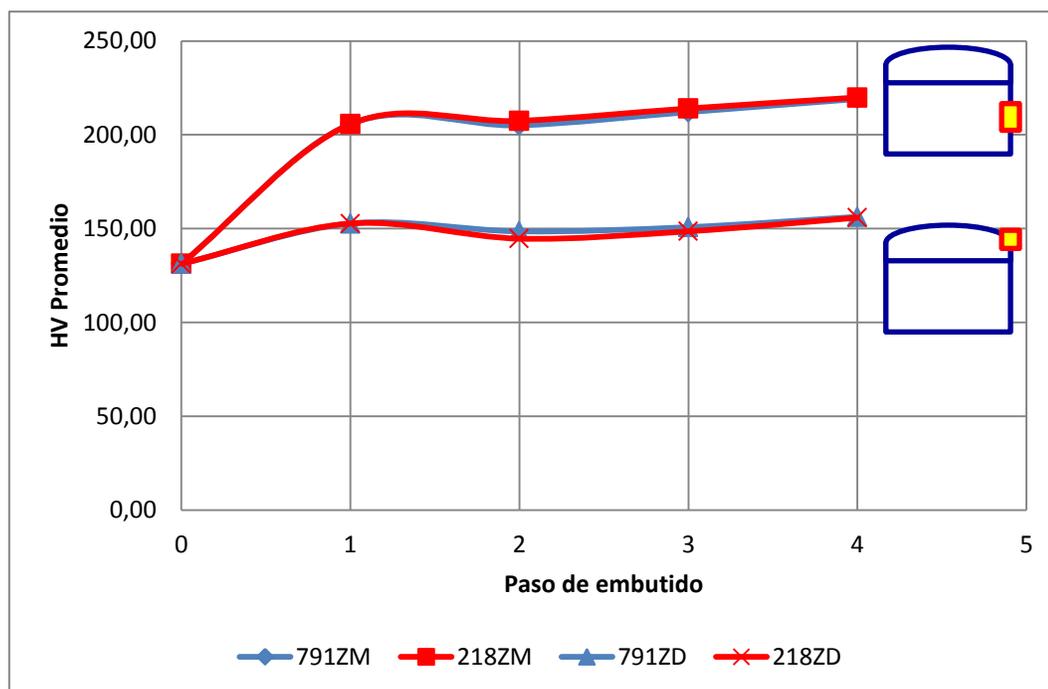


Figura 4.4: Gráfico de microdureza Vickers promedio de los recipientes

Fuente: el autor.

En la figura 4.4 se representa la variación de la microdureza Vickers en distintas zonas del envase de acero durante el proceso de embutido, a saber en la zona curva del domo (ZD) y en la zona lateral media (ZM), así como también para cada modelo de envase 791 y 218. En él se puede observar que para cada modelo de



envase, luego de comenzar la deformación con el primer paso de embutido, la dureza adquiere valores distintos entre la zona lateral media y la zona curva del domo, y a partir de allí se incrementa de forma similar en ambas zonas manteniendo el rango de diferencia a lo largo del proceso. Este comportamiento se presentó en cada modelo manteniendo los valores.

Entonces, desde el punto de vista del modelo de envase 791, a medida que el acero es sometido a la deformación del primer paso del proceso embutido, la microdureza Vickers en la zona lateral media varía con respecto a la microdureza Vickers presentada en la zona curva del domo, siendo mayor en la zona lateral media por un 40% en promedio. En la medida que se avanza en el proceso de reembutido para obtener el producto final, el valor de la microdureza Vickers se incrementa en ambas zonas.

Este comportamiento se repitió para el modelo de envase 218 y se puede decir que los valores de microdureza Vickers en este modelo de envase, se mantienen igual a los valores de microdureza Vickers obtenidos para los envases del modelo 791, es decir, los valores de microdureza Vickers se mantienen sin importar el modelo de envase o lo que es igual, no depende la profundidad del embutido. El incremento fue de un 19% en la zona curva del domo y de un 67% en la zona lateral media.

4.3. Ensayo de tracción.

Para determinar el esfuerzo de fluencia se utilizó el método del 0,2%, a continuación se describe el procedimiento para el caso de la probeta T791-2-1.

Una vez obtenidos los valores de fuerza-elongación del ensayo de tracción, se procede a dividir la carga entre el área inicial de sección transversal de la probeta para obtener los valores del esfuerzo y la elongación entre la longitud inicial de la probeta, procediendo luego a graficar los valores obtenidos en Excel. De la gráfica se identifican dos puntos correspondientes a la zona elástica de la probeta, y al valor de



la deformación se le suma el 0,2% en ambos puntos. Luego se grafican los nuevos valores de deformación manteniendo los valores de los respectivos esfuerzos. Luego utilizando Excel se traza una línea de tendencia de los puntos graficados anteriormente hasta que intercepte la curva de esfuerzo deformación, el valor del esfuerzo en dicha intersección corresponde al valor del esfuerzo de fluencia del material.

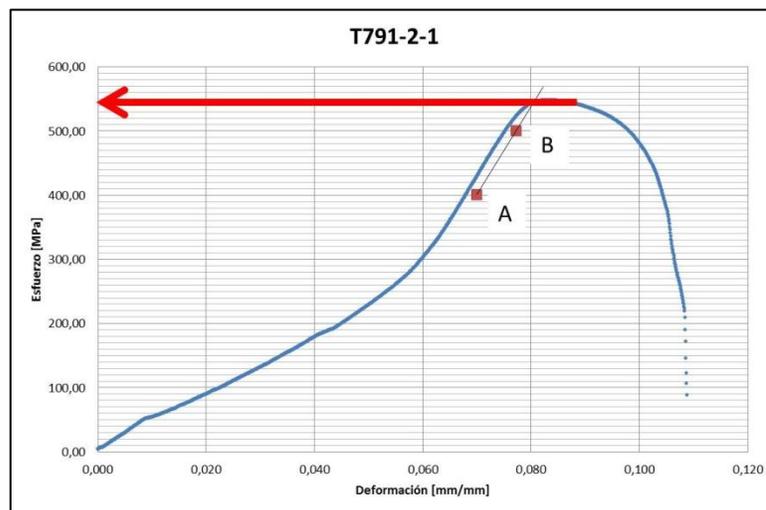


Figura 4.5: Determinación del esfuerzo de fluencia utilizando el método del 0,2%.

El mismo procedimiento se utiliza para cada probeta ensayada, en las figuras 4.6 y 4.7 se muestran las probetas ya ensayadas.

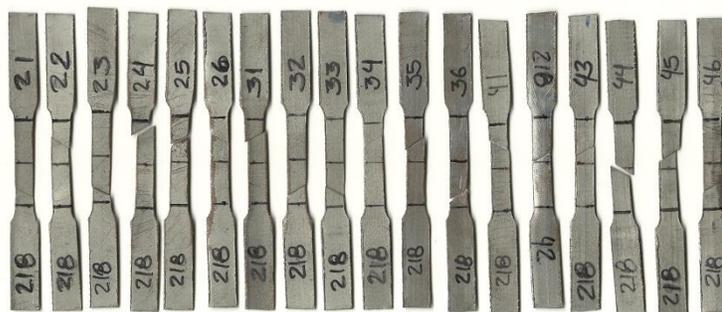


Figura 4.6: Probetas de tracción ensayadas de la familia 218.

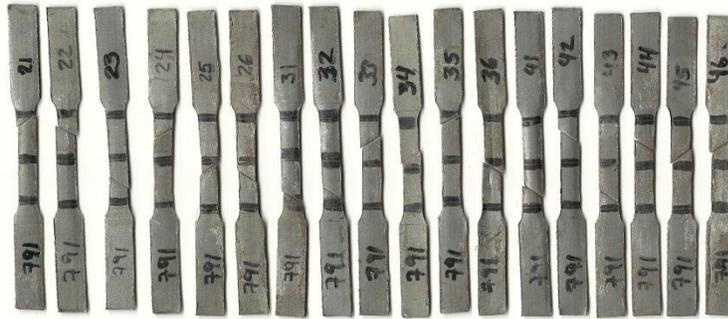


Figura 4.7: Probetas de tracción ensayadas de la familia 791.

En las tablas 1.5 y 1.6 se muestran para la familia de recipientes 791 y 218 los resultados obtenidos del ensayo de tracción.

Tabla 1.5: Resultados obtenidos de los ensayos de tracción para las probetas de la familia 791.

PROBETA	Esfuerzo de Fluencia [Mpa]	Esfuerzo de fluencia promedio [Mpa]	Desviación estándar	Esfuerzo máximo [Mpa]	Esfuerzo de máximo promedio [Mpa]	Desviación estándar
T791 - 2-1	540	535,00	17,61	548,04	544,32	14,92
T791 - 2-2	540			552,14		
T791 - 2-3	560			562,07		
T791 - 2-4	520			527,67		
T791 - 2-5	510			524,48		
T791 - 2-6	540			551,55		
T791 - 3-1	540	546,67	24,22	554,85	563,35	29,54
T791 - 3-2	570			587,80		
T791 - 3-3	570			603,42		
T791 - 3-4	560			566,55		
T791 - 3-5	530			546,48		
T791 - 3-6	510			521,01		
T791 - 4-1	600	575,00	18,71	612,25	594,56	15,66
T791 - 4-2	590			608,28		
T791 - 4-3	570			602,12		
T791 - 4-4	550			576,80		
T791 - 4-5	580			591,90		
T791 - 4-6	560			576,00		

Fuente: El autor.



Tabla 1.6: Resultados obtenidos de los ensayos de tracción para las probetas de la familia 218.

PROBETA	Esfuerzo de Fluencia [Mpa]	Esfuerzo de fluencia promedio [Mpa]	Desviación standard	Esfuerzo máximo [Mpa]	Esfuerzo de máximo promedio [Mpa]	Desviación estándar
T218 - 2-1	480	498,33	17,22	494,04	512,65	20,41
T218 - 2-2	490			508,49		
T218 - 2-3	510			525,87		
T218 - 2-4	510			528,68		
T218 - 2-5	520			534,57		
T218 - 2-6	480			484,23		
T218 - 3-1	500	503,33	18,62	510,71	512,66	20,99
T218 - 3-2	540			553,83		
T218 - 3-3	500			509,57		
T218 - 3-4	490			494,52		
T218 - 3-5	500			505,13		
T218 - 3-6	490			502,20		
T218 - 4-1	530	545,00	15,17	549,47	556,65	16,51
T218 - 4-2	540			540,51		
T218 - 4-3	550			569,11		
T218 - 4-4	570			579,76		
T218 - 4-5	530			538,53		
T218 - 4-6	550			562,48		

Fuente: El autor.

En la tabla 1.5 se observa que para el modelo de envase de la familia 791 se presenta un incremento en el valor del esfuerzo de fluencia promedio y el esfuerzo máximo promedio, en la medida que se avanza las etapas del proceso de embutido. Esto debido al grado de deformación al cual es sometido el acero en cada etapa del proceso, lo que genera un endurecimiento por deformación del material y que se corrobora con el ensayo de dureza aplicado anteriormente. Por consiguiente se requiere un mayor esfuerzo para iniciar la fluencia del material en la medida que el envase es reembutido,



En los resultados que muestran en la tabla 1.6 se observa el mismo comportamiento que el presentado en los envases de la familia 791, es decir, existe un incremento de los valores de los esfuerzos de fluencia y esfuerzo máximo debido al endurecimiento por deformación que se adquiere luego que material es sometido en cualquiera de las etapas de embutido.

A continuación en las figuras 4.8 y 4.9 se muestran a manera comparativa los valores promedio de cada una de las propiedades obtenidas del ensayo de tracción para ambas familias de envases estudiadas.

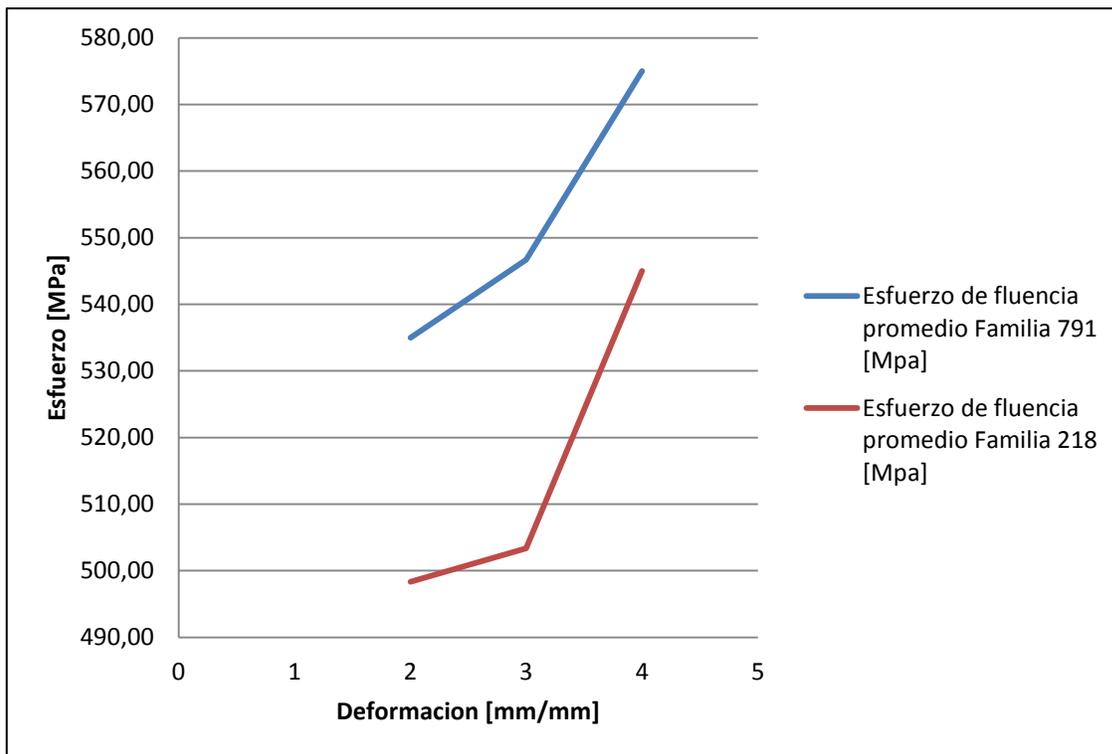


Figura 4.8: Esfuerzo de Fluencia promedio en cada paso de embutido para cada familia de envases.

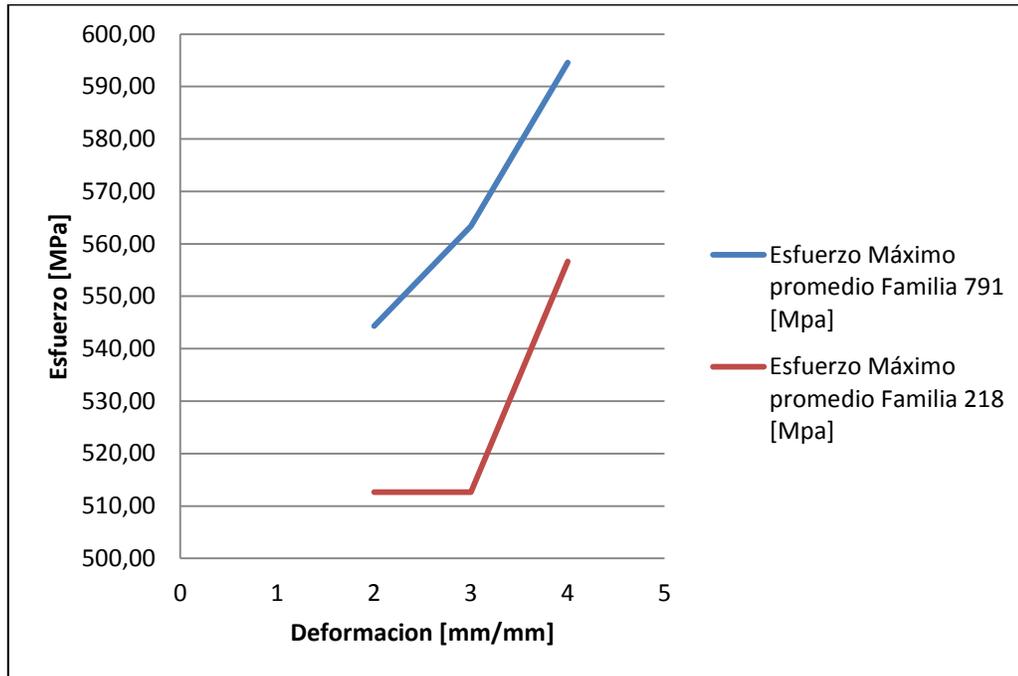


Figura 4.9: Esfuerzo máximo promedio en cada paso de embutido para cada familia de envases.

En los gráficos de las figuras 4.7 y 4.8 se observa un incremento de las propiedades indicadas, tal como se estableció anteriormente. Sin embargo, el incremento no se mostro igual en cuanto a magnitud, es decir, para la familia de envases 791, los valores obtenido fueron mayores en todos los pasos de embutido que los obtenido en la familia de envases 218.

A pesar que se conserva la tendencia al incremento de los valores de las propiedades, al igual que en el ensayo de micro dureza Vickers, en este caso existe una diferencia bien marcada en los valores promedios obtenidos para cada familia y que no se mostró en el ensayo de micro dureza Vickers. Esto se debe a que la dureza se midió en la mitad sección transversal del espesor de cada muestra en donde existe una menor incidencia del endurecimiento por deformación producto del mecanismo de acción proceso de embutido sobre la muestra.



4.4. Ensayo de embutibilidad (Erichsen).

A continuación se muestra la tabla 1.7 donde se pueden observar los valores del índice de Erichsen para cada una de las probetas ensayadas.

Tabla 1.7: Resultados del ensayo de Erichsen.

PROBET A	Desplazamiento de rotura [mm]	Promedio del desplazamiento de rotura [mm]	Desviación estándar
1	7,569	8,404	0,753
2	7,489		
3	8,804		
4	9,394		
5	8,362		
6	8,803		

Fuente: El autor.

En la tabla 1.7 se observa similitud en los valores obtenido para cada probeta y la misma es corroborada por el valor de la desviación estándar de los resultado, lo cual garantiza la homogeneidad de las propiedades de embutición en toda la extensión de la lamina proveniente de la bobina de acero. Este valor promedio del índice de Erichsen de 8,404mm representa una diferencia del 16% respecto a los valores de la tabla III Embutibilidad de Erichsen, que se encuentra en el anexo 2 correspondiente a la Norma Venezolana COVENIN 1276-77 relacionada con Planchas delgadas de acero al carbono, laminada en frio para esmaltado vítreo; en donde la mencionada tabla muestra los valores sugeridos de índice de Erichsen de planchas de acero para embutición. Cabe destacar que la diferencia entre el valor promedio obtenido del ensayo y el de la tabla III del anexo 2 corresponde a la diferencia en la composición de los elementos aleantes cuyos porcentajes varían y pudieran modificar las propiedades de los aceros.



4.5. Ductilidad.

En la tabla 1.7 y la tabla 1.8 se muestran los resultados obtenidos para la determinación de la ductilidad por el método del porcentaje de reducción de área.

Tabla 1.8: Resultados de ductilidad para la familia 791.

Paso de embutido	Probeta	Area Final [mm ²]	Ao [mm ²]	Ductilidad [%RA]	Ductilidad promedio [%RA] 791	Desviación estándar
2	T791-2-1	2,4194	2,4194	25,60%	25,40%	0,0058
	T791-2-2	2,5806	3,4955	26,17%		
	T791-2-3	2,5806	3,4142	24,41%		
	T791-2-4	2,5806	3,4548	25,30%		
	T791-2-5	2,5806	3,4548	25,30%		
	T791-2-6	2,5806	3,4684	25,60%		
3	T791-3-1	2,4194	3,5090	31,05%	24,12%	0,0463
	T791-3-2	2,7419	3,4723	21,03%		
	T791-3-3	2,7419	3,3161	17,32%		
	T791-3-4	2,5806	3,4277	24,71%		
	T791-3-5	2,5806	3,4548	25,30%		
	T791-3-6	2,5806	3,4548	25,30%		
4	T791-4-1	2,5806	3,3548	23,08%	21,35%	0,0194
	T791-4-2	2,7419	3,4819	21,25%		
	T791-4-3	2,9032	3,5226	17,58%		
	T791-4-4	2,7419	3,5090	21,86%		
	T791-4-5	2,7419	3,5226	22,16%		
	T791-4-6	2,7419	3,5226	22,16%		

Fuente: El Autor.

Tabla 1.9: Resultados de la ductilidad para la familia 218.



Paso de embutido	Probeta	Área Final [mm ²]	Área Inicial [mm ²]	Ductilidad [%RA]	Ductilidad promedio [%RA] 218	Desviación estándar
2	T218-2-1	2,7419	3,2516	15,67%	22,21%	0,0458
	T218-2-2	2,7419	3,4955	21,56%		
	T218-2-3	2,4194	3,4142	29,14%		
	T218-2-4	2,5806	3,4548	25,30%		
	T218-2-5	2,7419	3,4548	20,63%		
	T218-2-6	2,7419	3,4684	20,94%		
3	T218-3-1	2,7419	3,5090	21,86%	21,83%	0,0205
	T218-3-2	2,5806	3,4723	25,68%		
	T218-3-3	2,5806	3,3161	22,18%		
	T218-3-4	2,7419	3,4277	20,01%		
	T218-3-5	2,7419	3,4548	20,63%		
	T218-3-6	2,7419	3,4548	20,63%		
4	T218-4-1	2,7419	3,3548	18,27%	19,78%	0,0256
	T218-4-2	2,9032	3,4819	16,62%		
	T218-4-3	2,7419	3,5226	22,16%		
	T218-4-4	2,7419	3,5090	21,86%		
	T218-4-5	2,7419	3,5226	22,16%		
	T218-4-6	2,9032	3,5226	17,58%		

Fuente: El autor.

De las tablas 1.8 y 1.9 se obtiene el gráfico de la figura 4.10 en donde se puede comparar el comportamiento de la ductilidad entre los modelos de familias de recipiente 791 y 218, en el mismo para ambas familias se observa una disminución de esta propiedad en la medida que se avanza en el proceso de embutido. Esto ocurre debido al aumento del grado de deformación al cual es sometido el material entre cada paso de embutido hasta llegar el dimensiones del producto final.

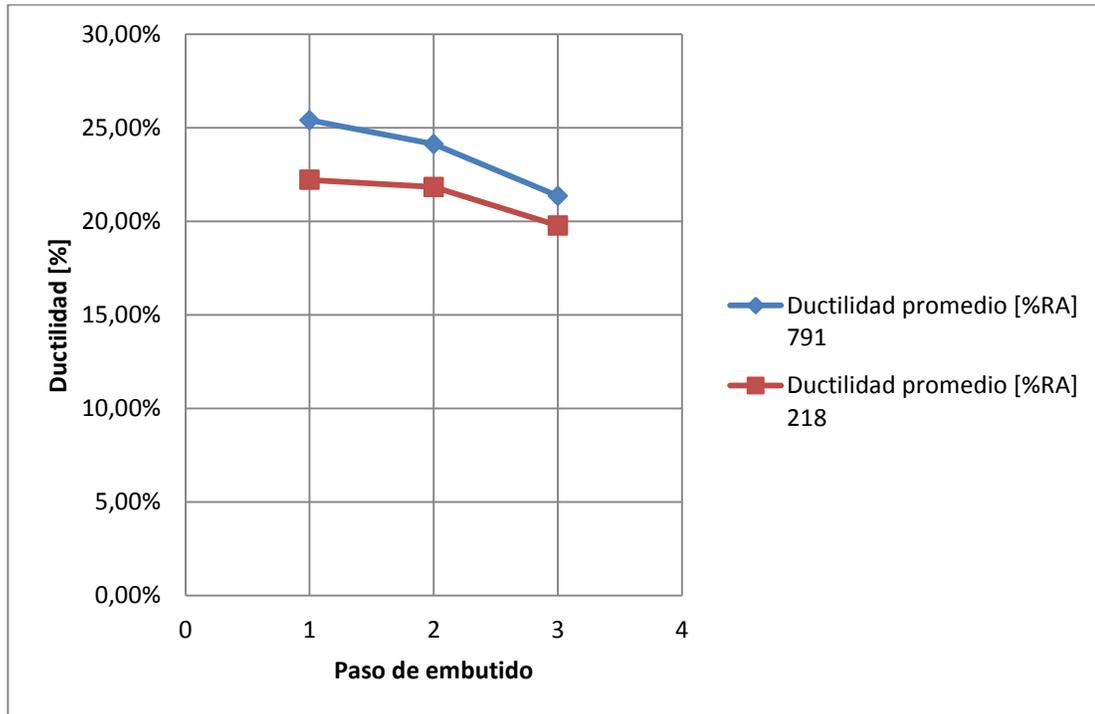


Figura 4.10: Gráfico de ductilidad promedio para cada familia de envase.

4.6. Análisis macroscópico.

Para el análisis macroscópico se inspecciono una sección de 10m de longitud de la bobina de acero utilizado en la fabricación de los envases 791 y 218, con el fin de detectar defectos en la materia prima que pudieran ser causantes de desperdicios en la línea de envases para filtros de Unidad Sellada Industrial. En la sección analizada no se encontró ningún tipo de defecto que pudiera poner en riesgo la eficiencia operacional de la línea, solo algunas secciones con líneas de fluencia que sin embargo, no se considera un defecto ya que no son rayaduras que pudieran poner en riesgo la confiabilidad operacional del producto final.

Sin embargo se tomo en cuenta el balance de desperdicios generados en la línea de producción para los modelos en estudio, donde se identificaron los principales causales de desperdicio. Esta recolección se inicio en enero 2011 hasta junio 2012 y el resumen de los resultados obtenidos se presenta en la tabla 1.8.



A lo largo de este periodo nunca fue necesario el cambio de la bobina principal cuando se presento algunos de estos defectos, ya que los mismos eran reportados por el operador como una orden de trabajo correctiva al departamento de mantenimiento y/o matriceria y por ajustes realizados por el mecánico y/o matricero a la prensa reportada, se lograba corregir el defecto en el envase. También se presentaron oportunidades en donde el defecto simplemente no era inherente al proceso de embutido, como lo es el caso de envases golpeados, que se refiere a la manipulación de los envases y no a la materia prima, prensa y/o matriz de embutido.

Tabla 1.10: Resumen de generación de desperdicio en la línea de embutido.

Defecto	Cantidad de desperdicio de la Familia 791	Cantidad de desperdicio de la Familia 218
Arrugado	1294	86
Deformado	531	36
Fisurado	1124	0
Fuera de Especificación	21	0
Golpeado	474	31
Mordido	14	0
Oxidado	20	90
Prueba de Inspección	16	0
Quemado	10	0
Rayas	62	0
Rebaba	188	0
Roto	11	0

Fuente: El autor.

De la tabla 1.10 el defecto mas representativo relacionado con el proceso de embutido corresponde a las arrugas que se forman en la zona lateral del recipiente la cual se puede generar principalmente por dos razones, la primera por falta de presión en el presa lamina o por desgastes en los componentes de la matriz de embutido.

Cabe destacar que esta zona lateral corresponde a la zona donde se presentó un mayor endurecimiento por deformación durante los ensayos realizados y por ende es la zona con mayor probabilidad de generación de desperdicios por defectos de embutido en el recipiente. En la figura 4.11 se muestra una fotografía de recipientes con los defectos más comunes productos del proceso de embutido de la línea.



Figura 4.11: Envases con los defectos más comunes de la línea.



5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones.

Como conclusiones de la investigación se puede establecer las siguientes.

La microdureza en la zona media del espesor de pared del envase no depende de la profundidad del embutido, sino más bien de la zona específica del envase de donde se tomen las muestras. La misma aumenta con la deformación y en el producto final con respecto a la lámina de acero inicial se incrementa en un 67% en la zona media lateral y un 19% en la zona curva del domo. La diferencia entre las zonas se debe a que la zona lateral esta sometida a una mayor deformación que la zona curva del domo.

Las propiedades de esfuerzo de fluencia y esfuerzo máximo se incrementan en la medida que se deforma el material en el proceso de embutido, presentando un endurecimiento por deformación en la medida que se avanza en el proceso de embutido. Las magnitudes de los esfuerzos resultaron mayores en la familia 791 por lo a mayor grado de embutición, mayores serán los esfuerzo de fluencia y máximo.

El esfuerzo de fluencia se incrementó en menos del 8% para la familia 791 y menos del 10% para la familia 218. El esfuerzo máximo se incrementó en menos del 10% para la familia 791 y menos del 9% para la familia 218.

La ductilidad disminuyó en la medida que se avanzaba en el proceso de embutido en menos del 5% para el caso de la familia 791 y menos del 3% para la familia 218. Esto como consecuencia del endurecimiento por deformación producto del proceso de embutido.

Con el resultado del ensayo de Erichsen se garantiza la homogeneidad de las propiedades de embutición del acero utilizado como materia prima en la fabricación



de los envases de las familias 791 y 218. En el mismo se presentó una diferencia del 16% con respecto a la Norma Venezolana COVENIN 1276-77, sin embargo se debe considerar las proporciones de los aleantes del acero ensayado y el correspondiente a la norma las cuales varían las propiedades del acero.

No se encontraron defectos macroscópicos en la materia prima que pudieran aumentar la posibilidad de generar desperdicios en la línea. Además que del análisis del histórico de desperdicio se verifico que las principales causas de desperdicios de la línea son del tipo operacional (puesta a punto, regulación de parámetros, desgastes en herramientas, entre otros).

Se determinó que la zona de mayor influencia de defectos en los recipientes corresponde la zona lateral del recipiente ya que el mayor índice de defectos se presenta en dicha zona según el historial de desperdicios de la línea, y la misma corresponde a la zona donde ocurre el mayor endurecimiento por deformación.

En líneas generales no se encontró evidencia que demuestre que la generación de desperdicios en la fabricación de los envases embutidos y reembutidos de las familias 791 y 218 sea generada por la materia prima utilizada.

5.2. Recomendaciones.

Para profundizar aun mas en el tema, se recomienda este tipo de investigación con otras familias de envases de la línea, pero con diámetros de embutidos distintos, de esta manera se determinaría el comportamiento del acero considerando ahora como variable el diámetro del embutido.

En el mismo orden de ideas se recomienda hacer una caracterización del acero para determinar los elementos aleantes y sus respectivas proporciones.



Igualmente se resulta útil la adquisición o construcción de un dispositivo para la medición del índice de embutibilidad basado en el ensayo de Erichsen a fin de evaluar el índice de embutibilidad de la materia prima recibida. Todo esto antes de establecer un programa un programa de remplazo y/o overhaul de los herramientas y equipos utilizados en la línea de envases de unidad sellada industrial.



6. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

Avner, Sydney H. (1978) "*Introducción a la Metalurgia Física*". México: Editorial Mc Graw Hill. Edición

Ayala S. y Peña. M. (2006). "*Determinación del comportamiento mecánico de materiales deformados plásticamente en frío*". Escuela de Mecánica. Universidad de Carabobo.

Fidias G. Arias. (2006) "*El Proyecto de Investigación. Introducción a la Metodología Científica*." Venezuela: Editorial Episteme. 5° Edición.

Gómez H. y Torres J. (2003). "*Estudio del proceso de recosido en campana para mejorar las propiedades mecánicas y metalúrgicas de aceros destinados a estañar y/o cromar*". Asociación Argentina de Materiales. Argentina: Buenos Aires.

Palella, Santa S. (2006) "*Metodología de la Investigación Cuantitativa*".. Caracas: Editorial FEDUPEL.

Shackelford, James F. (1999) *Ciencia de Materiales para Ingeniería*. México: Editorial Prentice Hall. 3ra Edición.

Smith, William F. (1998) "*Fundamentos de la Ciencia de Materiales*". México: Editorial Mc Graw Hill. 3ra Edición



ANEXO 1

GRÁFICOS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN

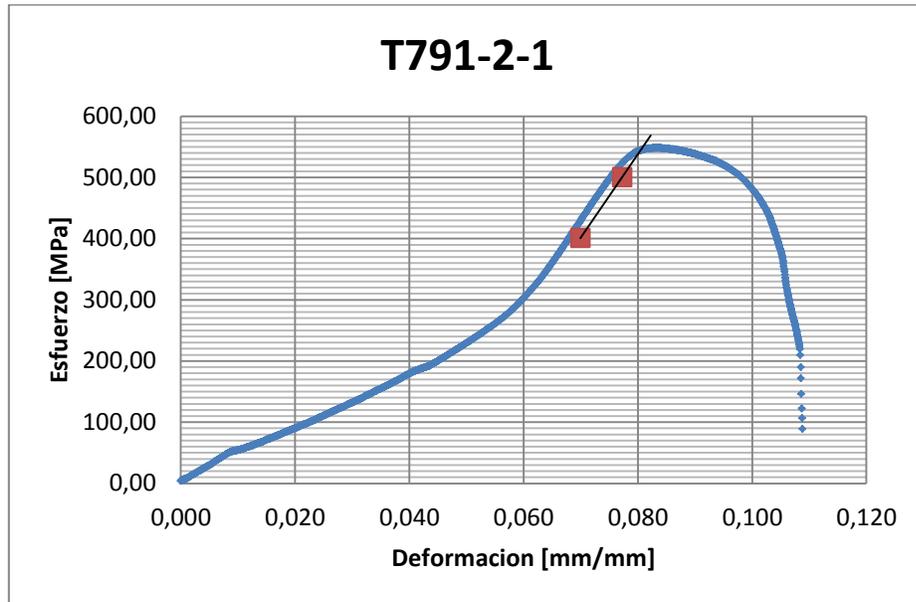


Figura 6.1: Gráfico de esfuerzo-deformación para la probeta T791-2-1.

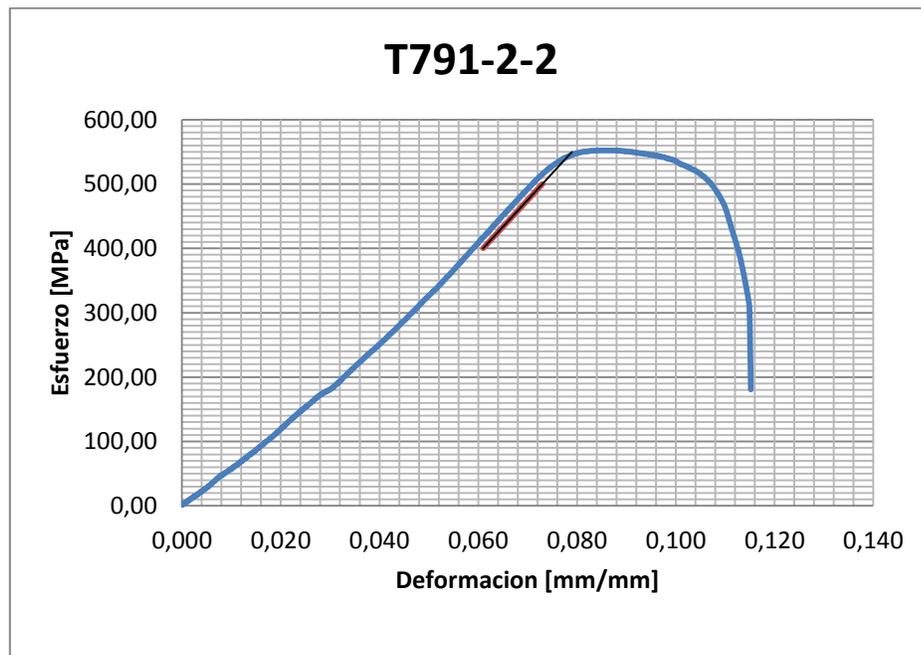


Figura 6.2: Gráfico de esfuerzo-deformación para la probeta T791-2-2.

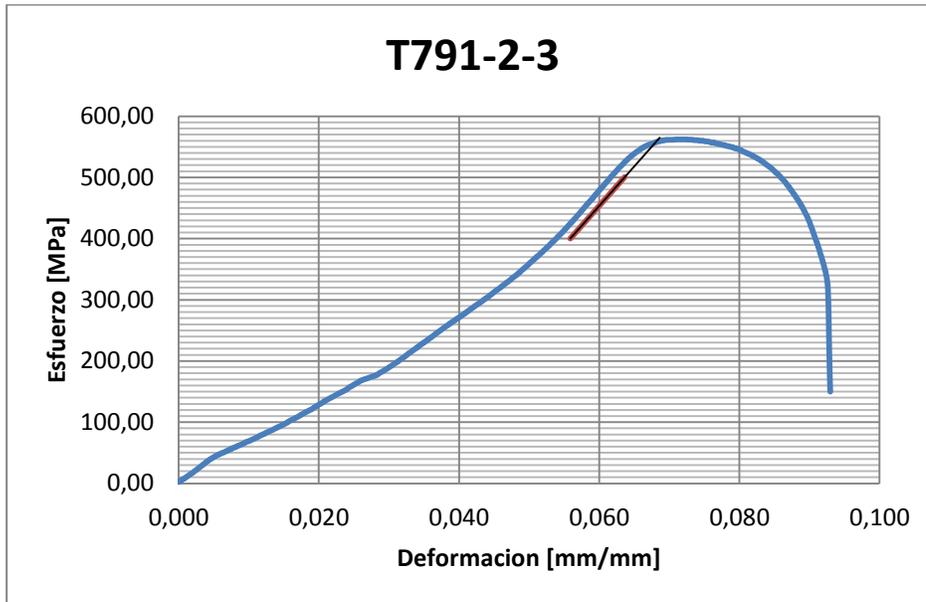


Figura 6.3: Gráfico de esfuerzo-deformación para la probeta T791-2-3.

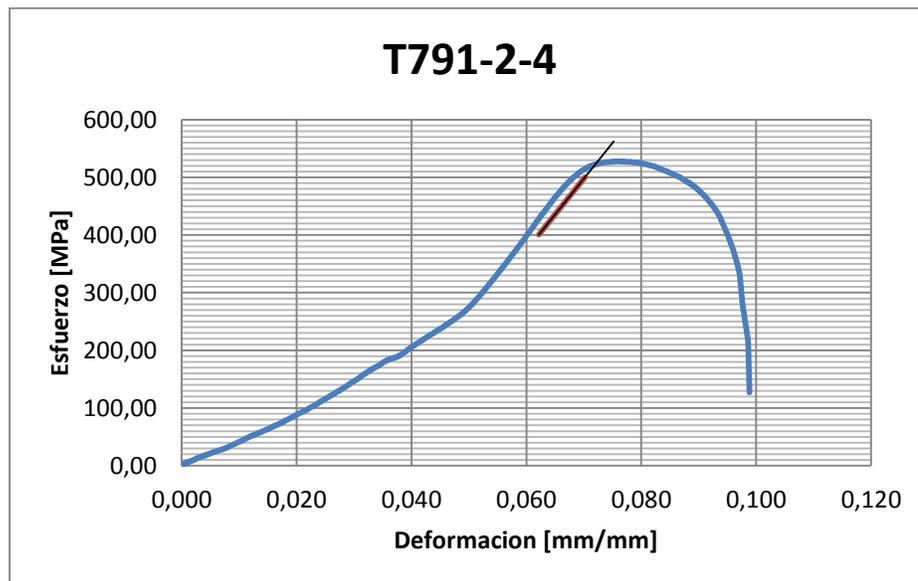


Figura 6.4: Gráfico de esfuerzo-deformación para la probeta T791-2-4

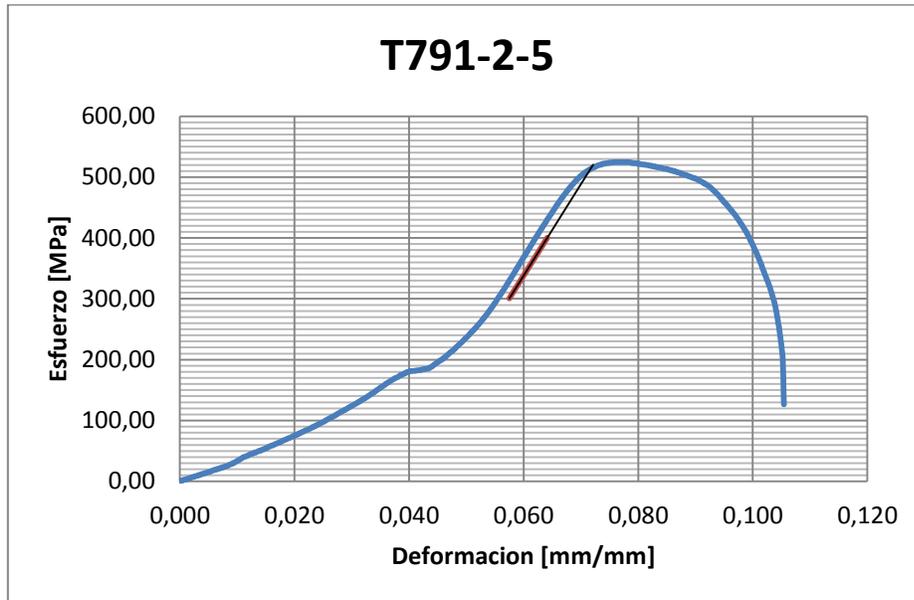


Figura 6.5: Gráfico de esfuerzo-deformación para la probeta T791-2-5

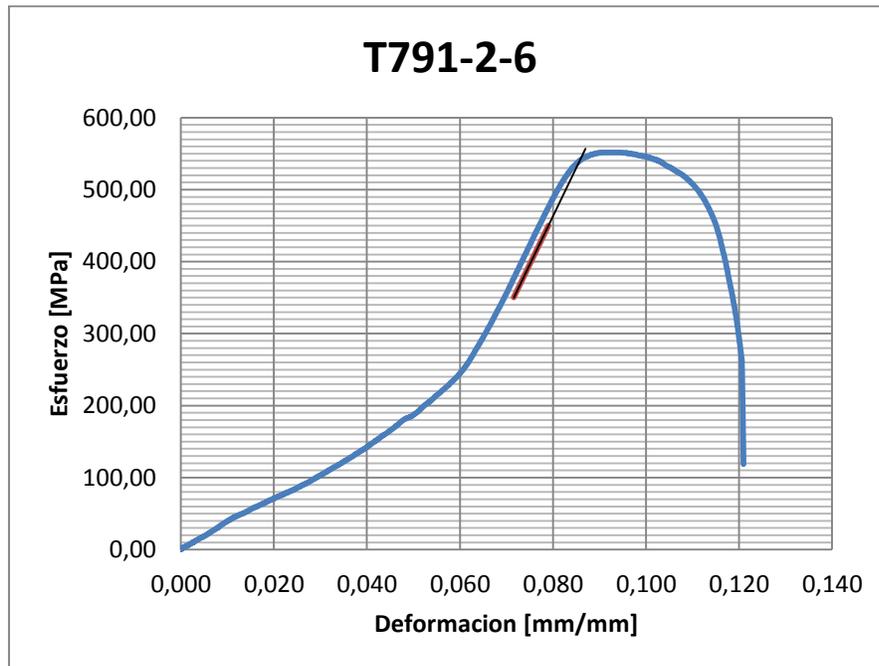


Figura 6.6: Gráfico de esfuerzo-deformación para la probeta T791-2-6

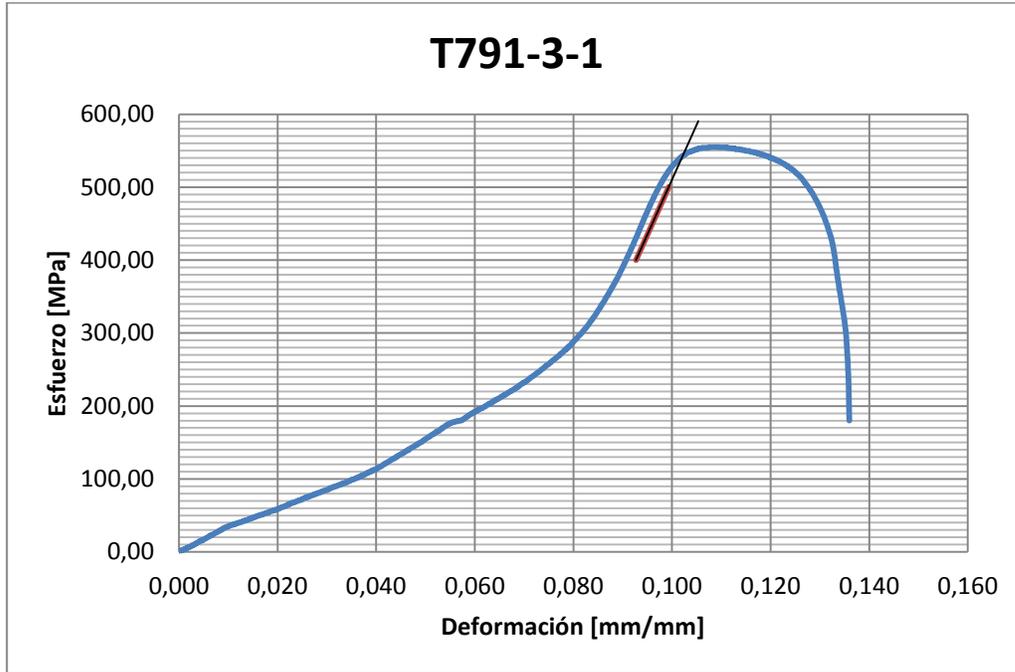


Figura 6.7: Gráfico de esfuerzo-deformación para la probeta T791-3-1

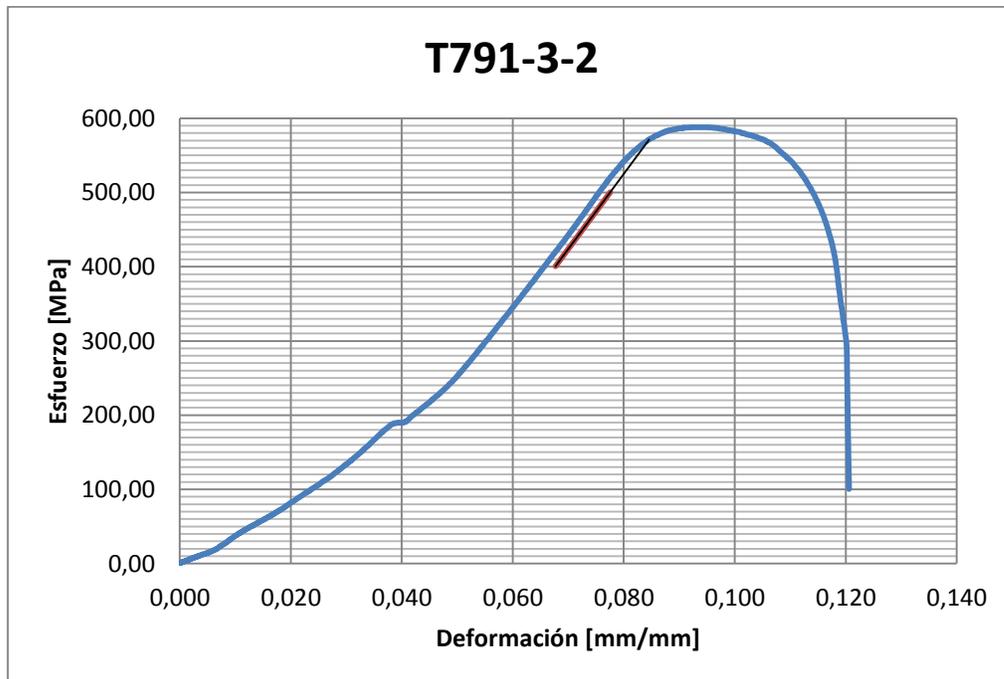


Figura 6.8: Gráfico de esfuerzo-deformación para la probeta T791-3-2

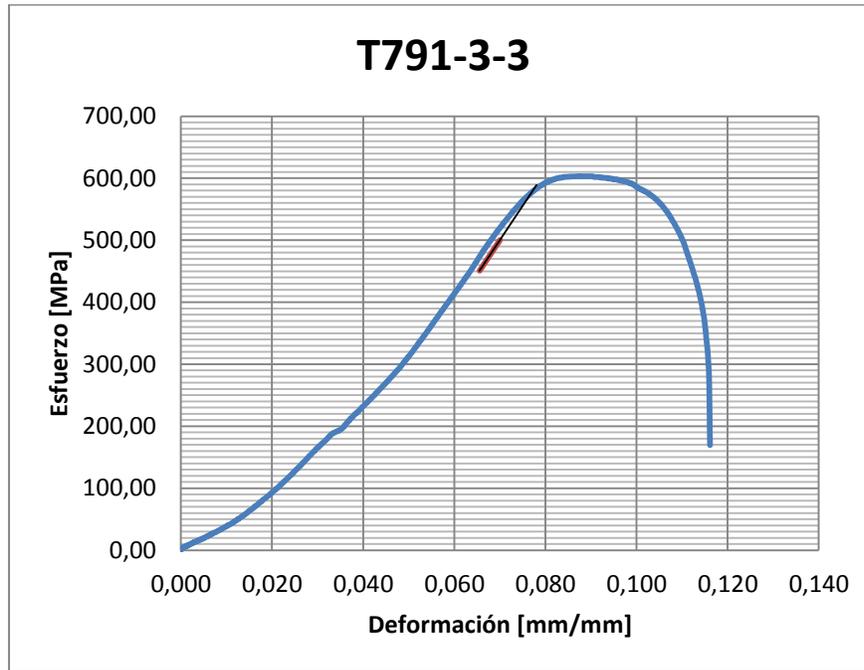


Figura 6.9: Gráfico de esfuerzo-deformación para la probeta T791-3-3

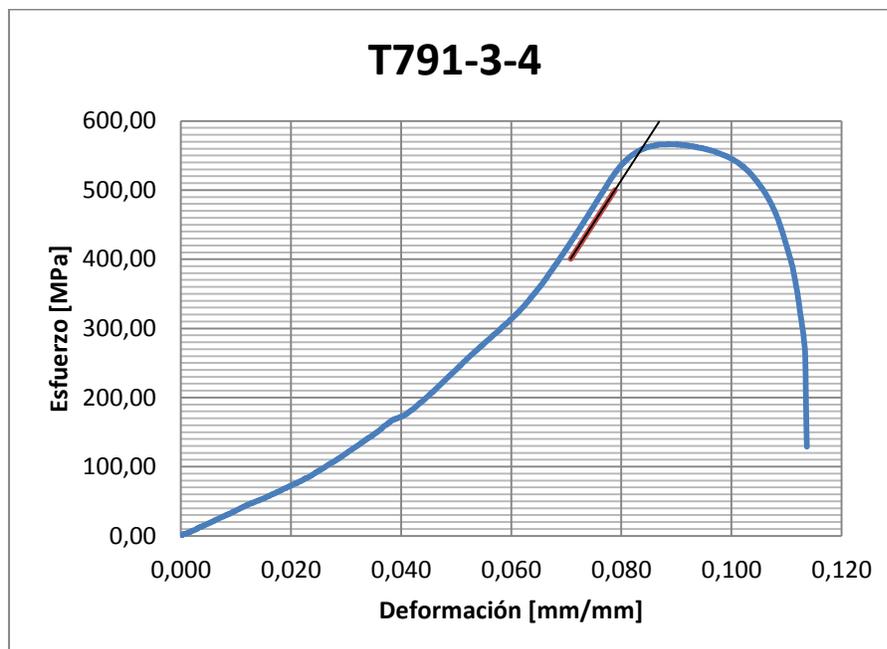


Figura 6.10: Gráfico de esfuerzo-deformación para la probeta T791-3-4

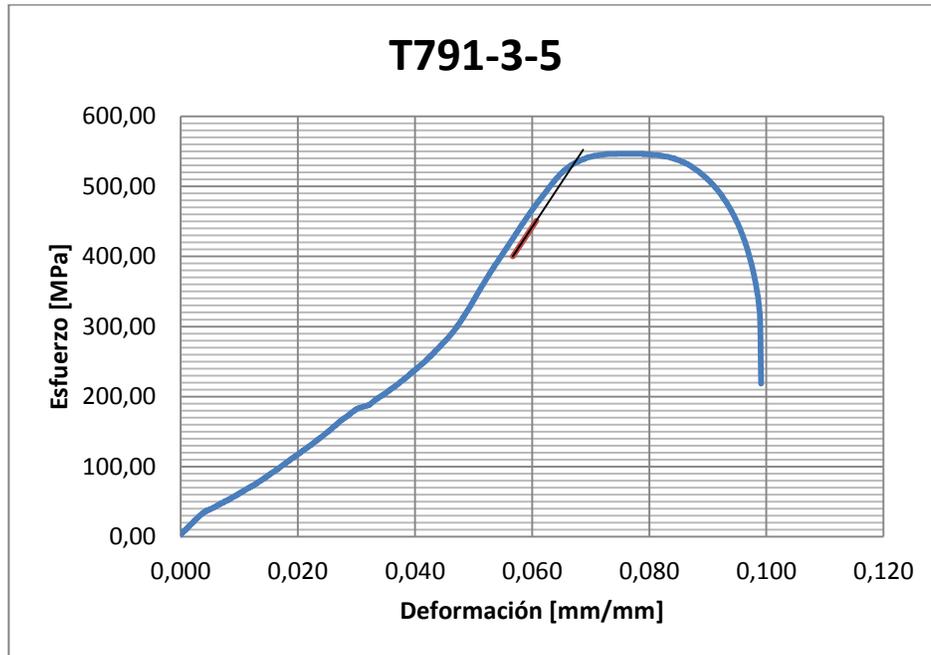


Figura 6.11: Gráfico de esfuerzo-deformación para la probeta T791-3-5

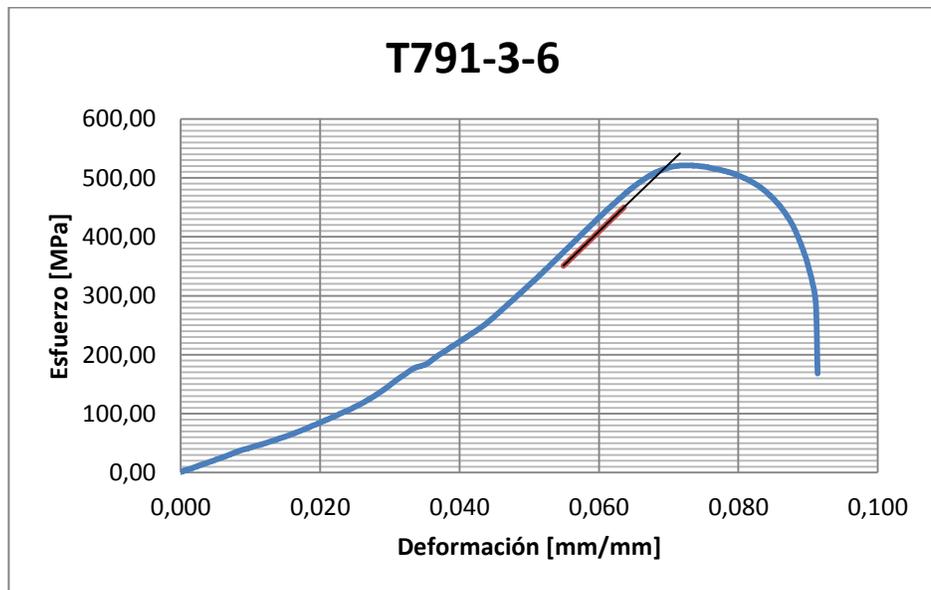


Figura 6.12: Gráfico de esfuerzo-deformación para la probeta T791-3-6

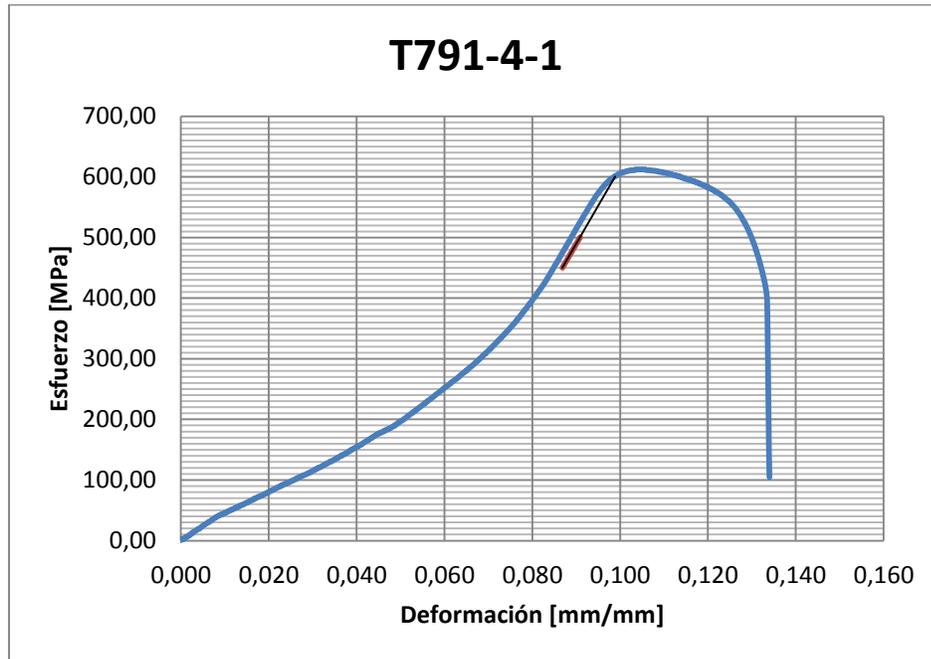


Figura 6.13: Gráfico de esfuerzo-deformación para la probeta T791-4-1

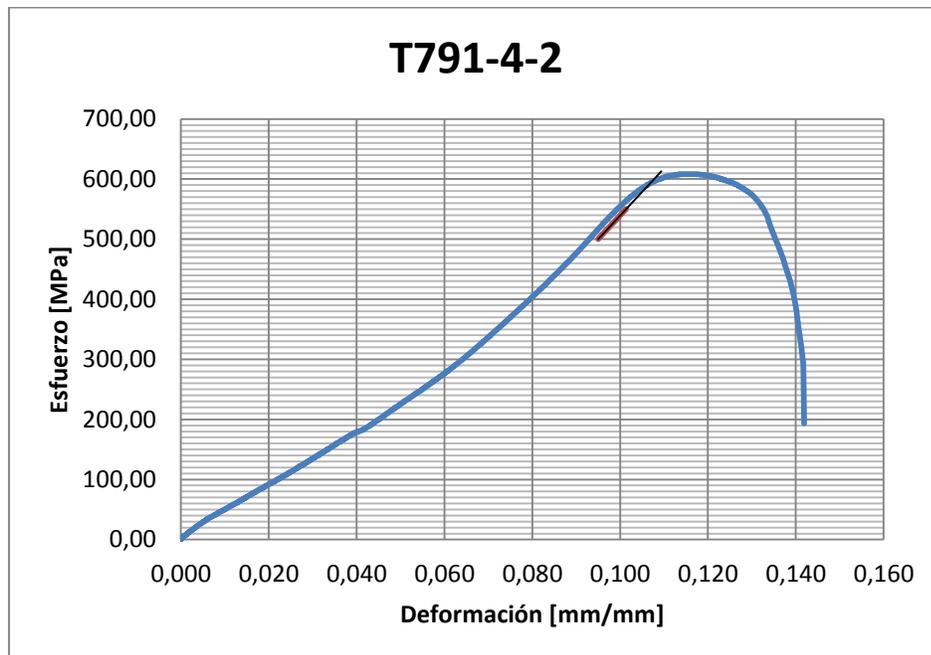


Figura 6.14: Gráfico de esfuerzo-deformación para la probeta T791-4-2

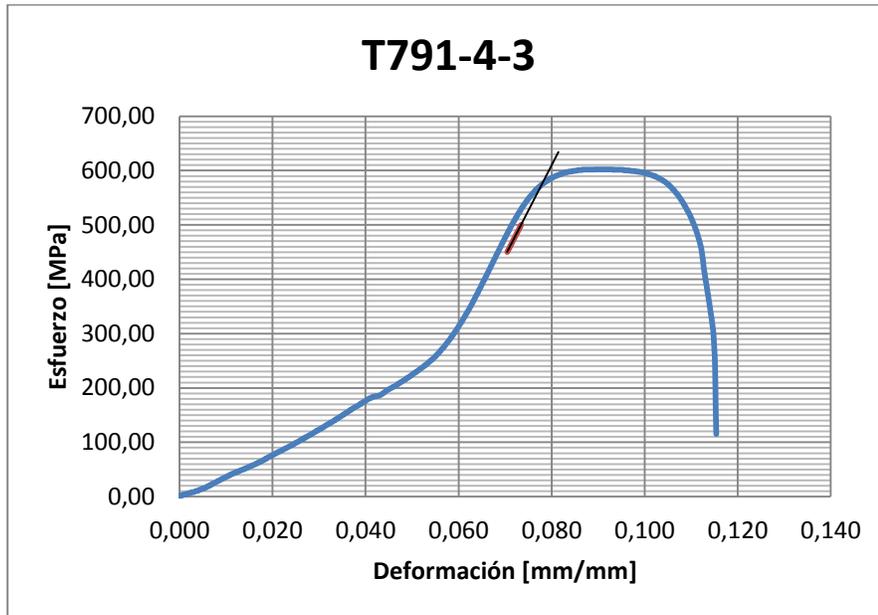


Figura 6.15: Gráfico de esfuerzo-deformación para la probeta T791-4-3

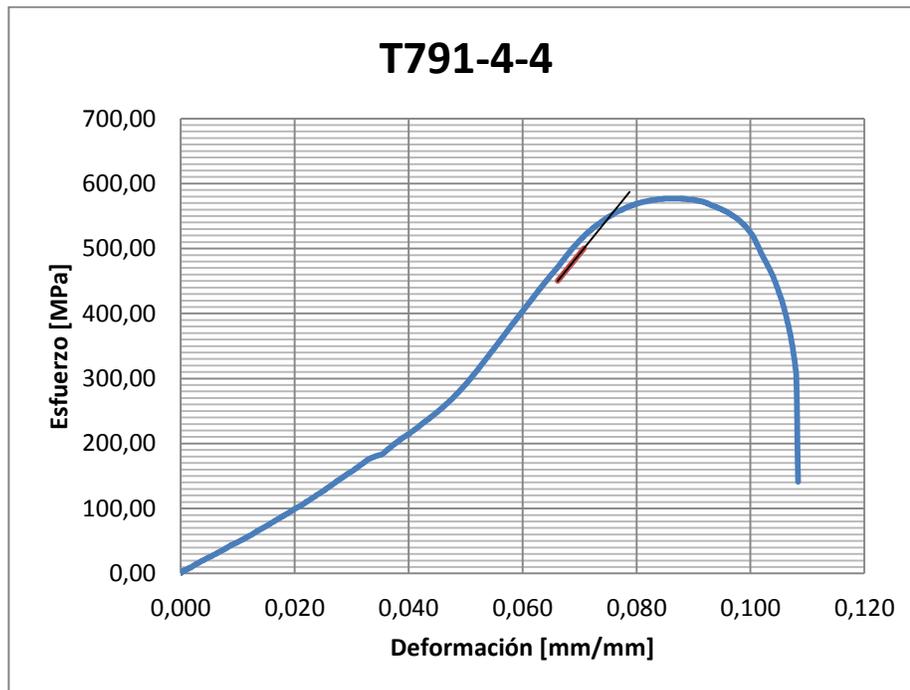


Figura 6.16: Gráfico de esfuerzo-deformación para la probeta T791-4-4

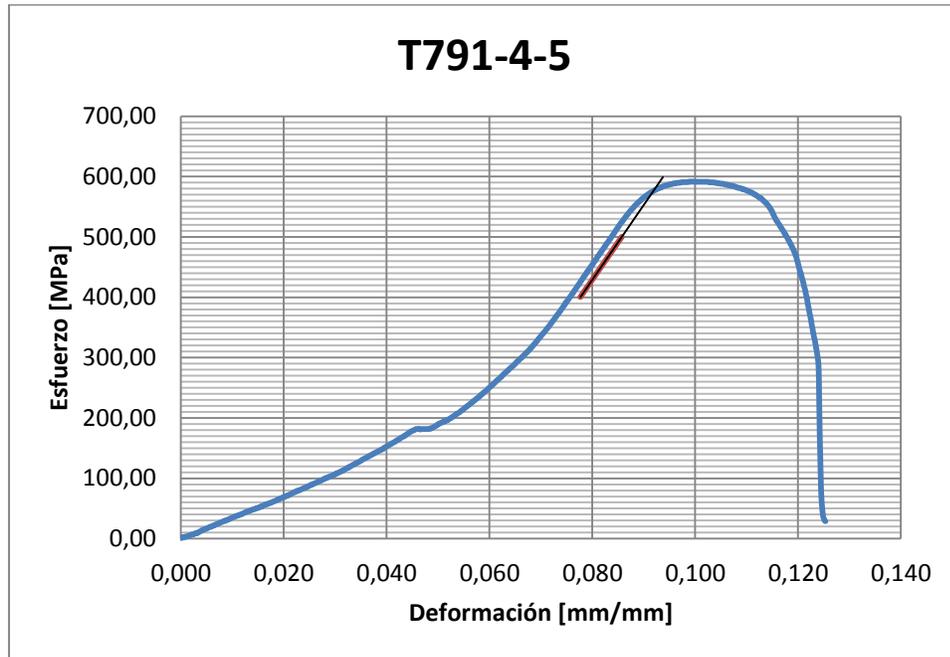


Figura 6.17: Gráfico de esfuerzo-deformación para la probeta T791-4-5

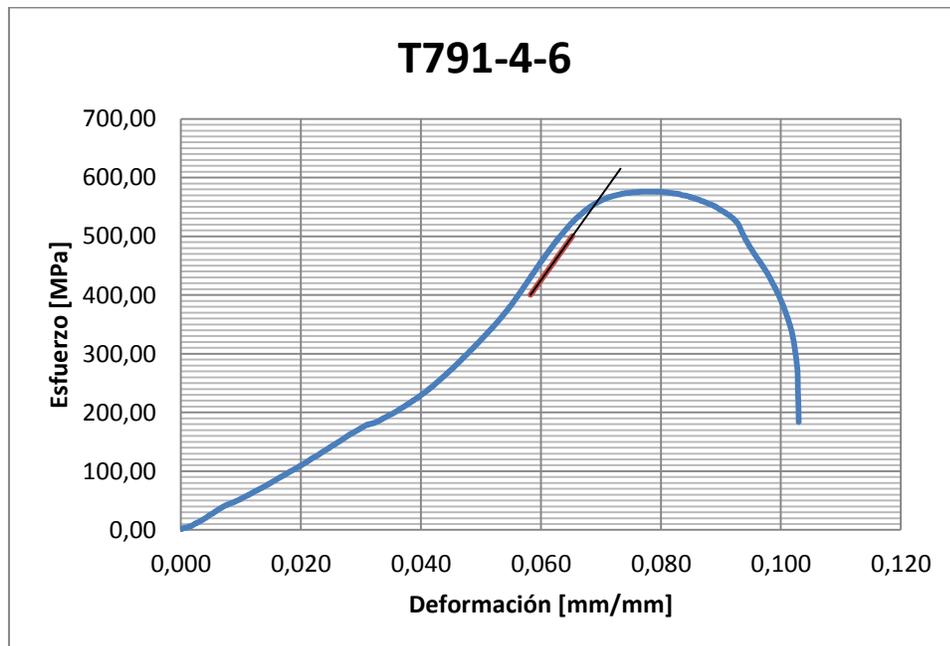


Figura 6.18: Gráfico de esfuerzo-deformación para la probeta T791-4-6

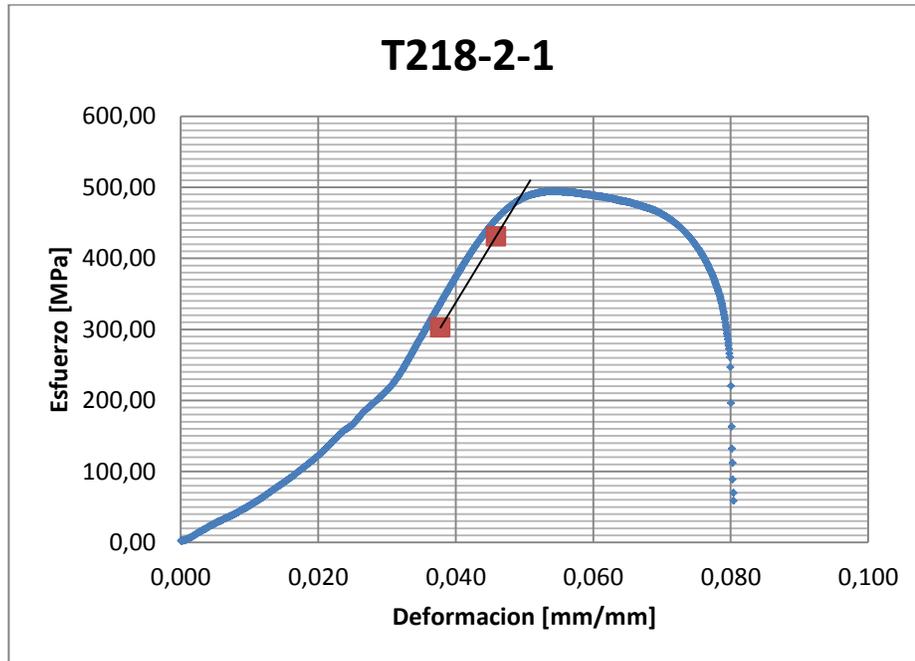


Figura 6.19: Gráfico de esfuerzo-deformación para la probeta T218-2-1

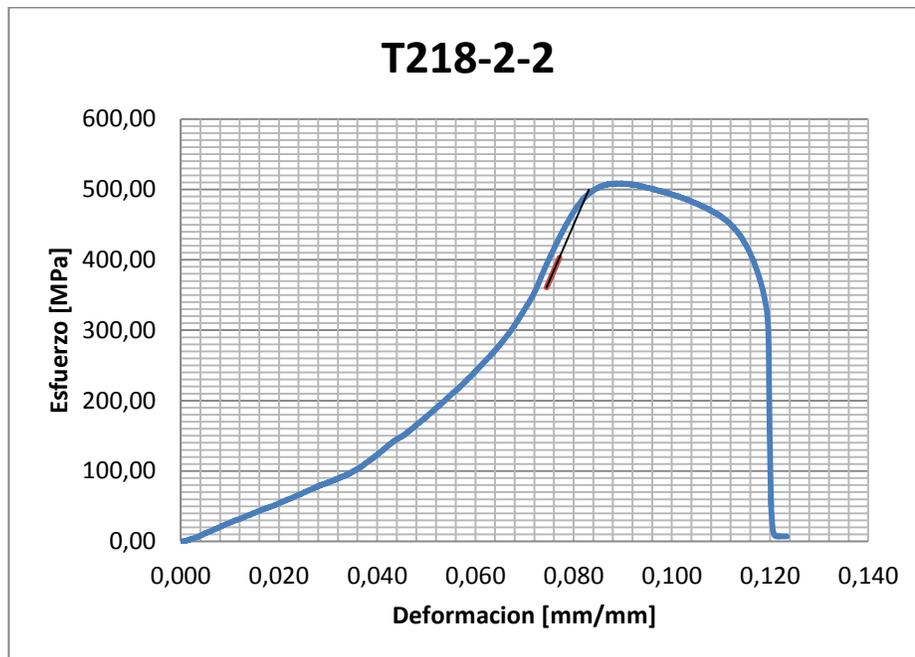


Figura 6.20: Gráfico de esfuerzo-deformación para la probeta T218-2-2

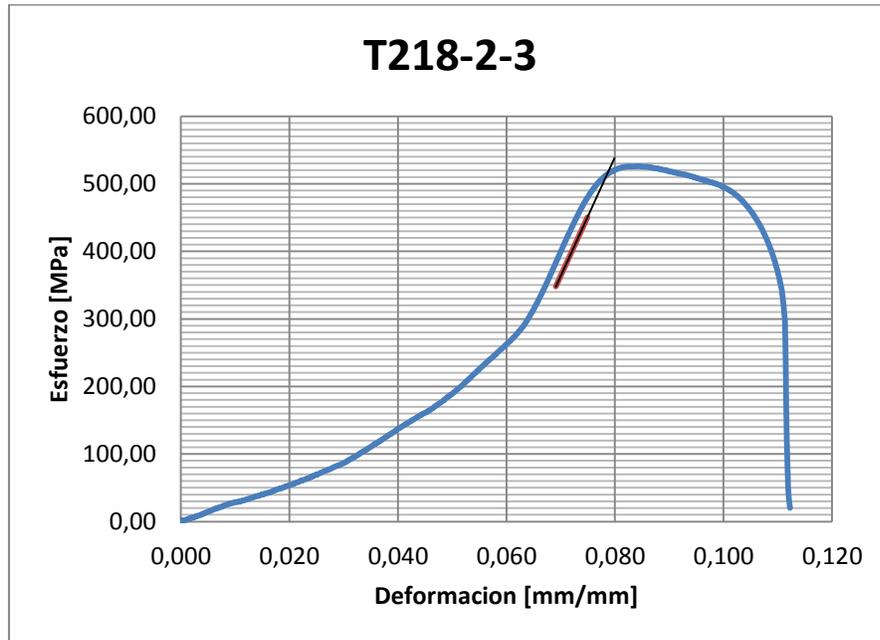


Figura 6.21: Gráfico de esfuerzo-deformación para la probeta T218-2-3

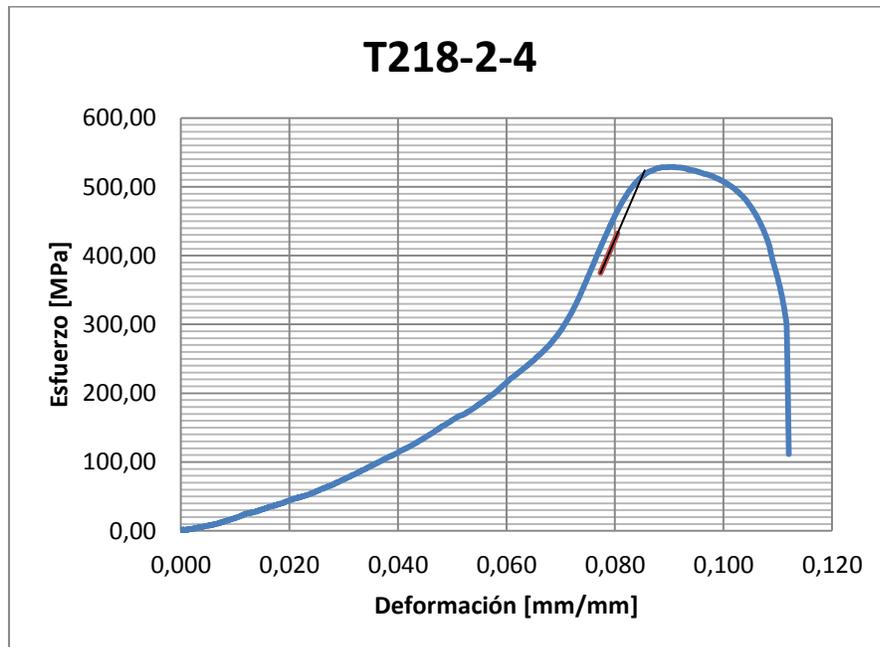


Figura 6.22: Gráfico de esfuerzo-deformación para la probeta T218-2-4



Figura 6.23:

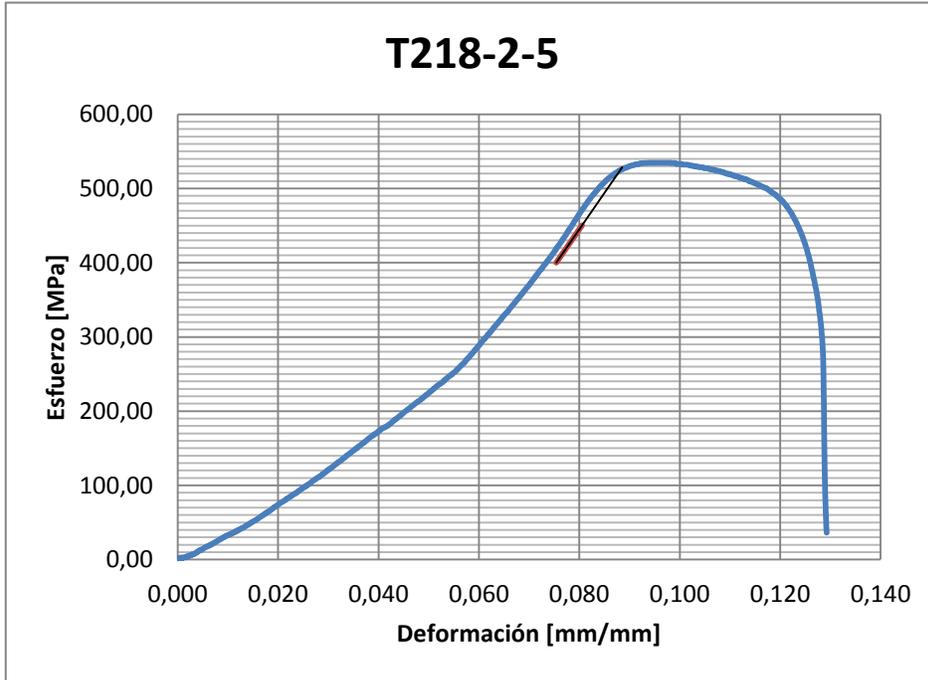


Figura 6.24: Gráfico de esfuerzo-deformación para la probeta T218-2-5

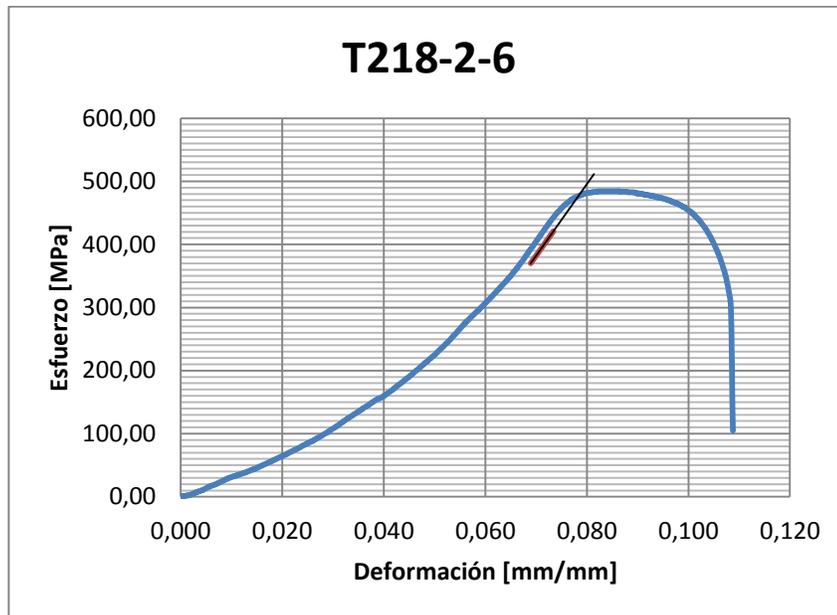


Figura 6.25: Gráfico de esfuerzo-deformación para la probeta T218-2-6

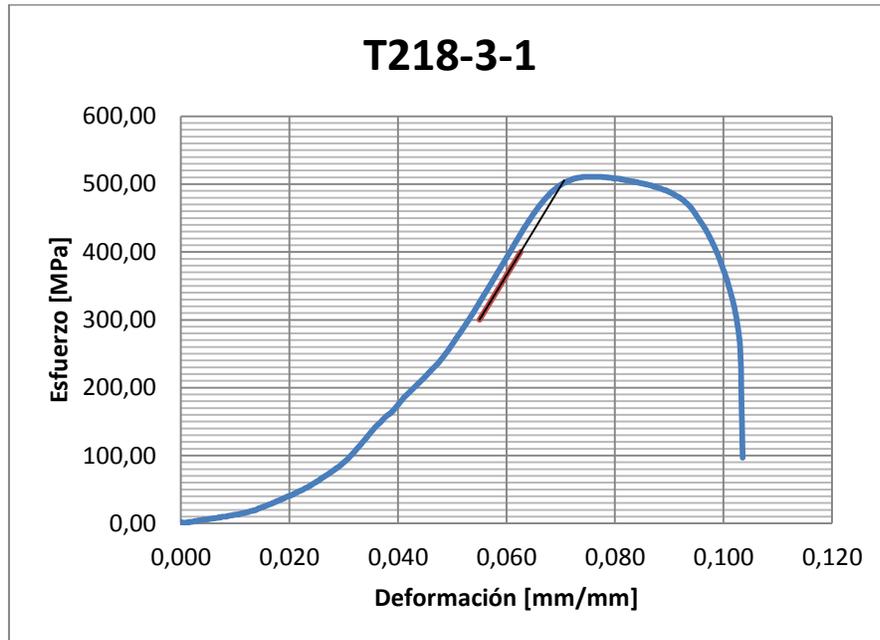


Figura 6.26: Gráfico de esfuerzo-deformación para la probeta T218-3-1

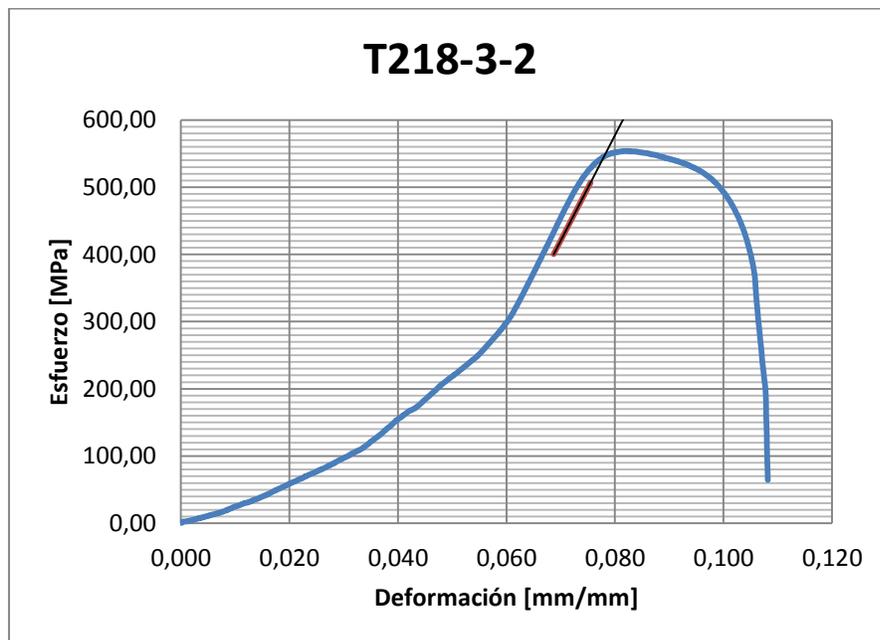


Figura 6.27: Gráfico de esfuerzo-deformación para la probeta T218-3-2

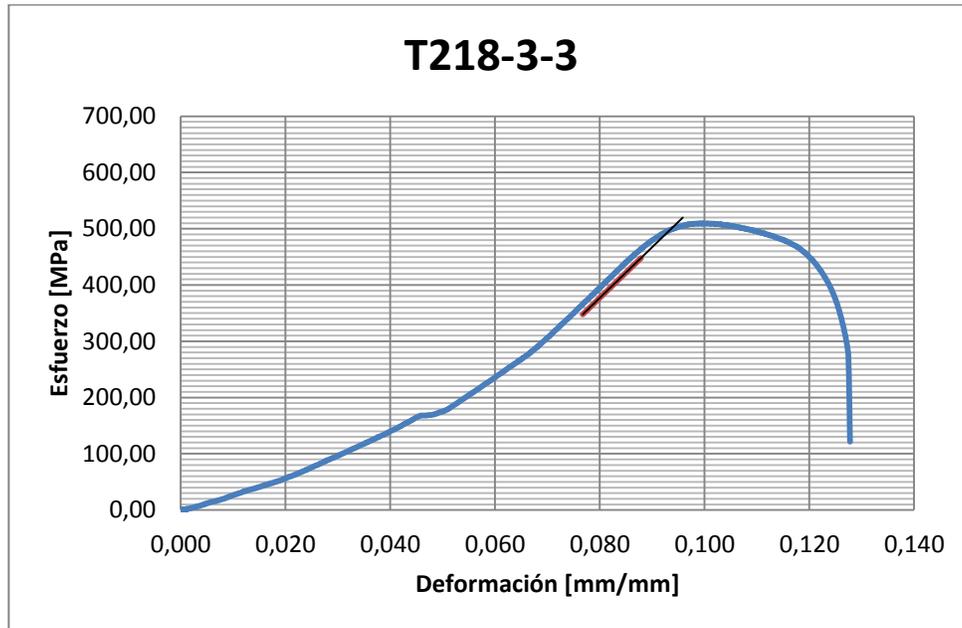


Figura 6.28: Gráfico de esfuerzo-deformación para la probeta T218-3-3

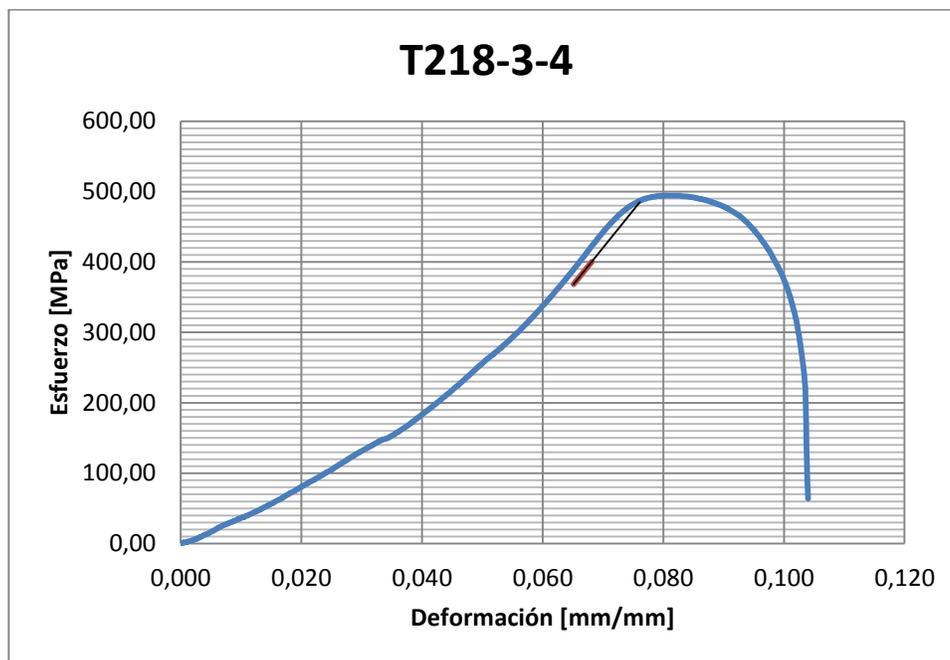


Figura 6.29: Gráfico de esfuerzo-deformación para la probeta T218-3-4

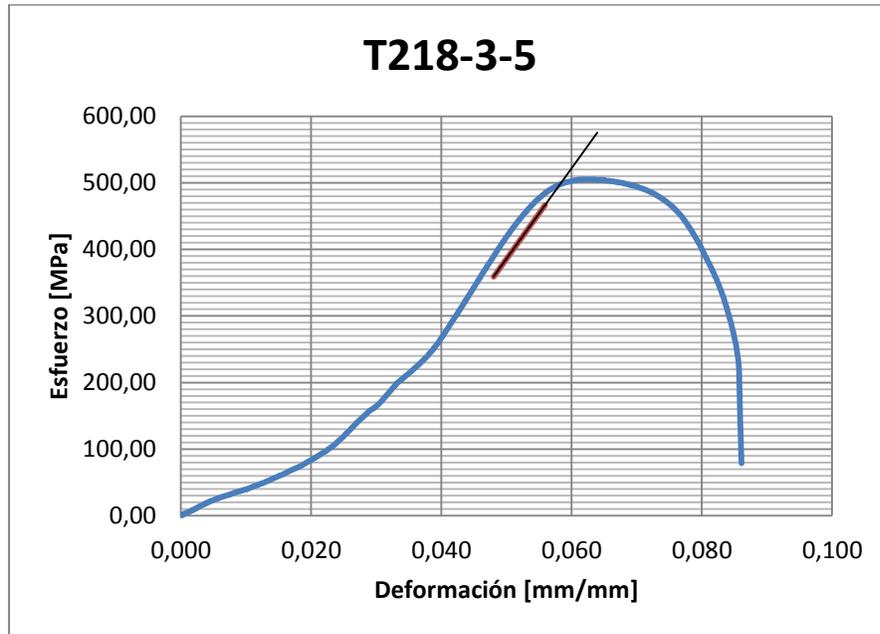


Figura 6.30: Gráfico de esfuerzo-deformación para la probeta T218-3-5

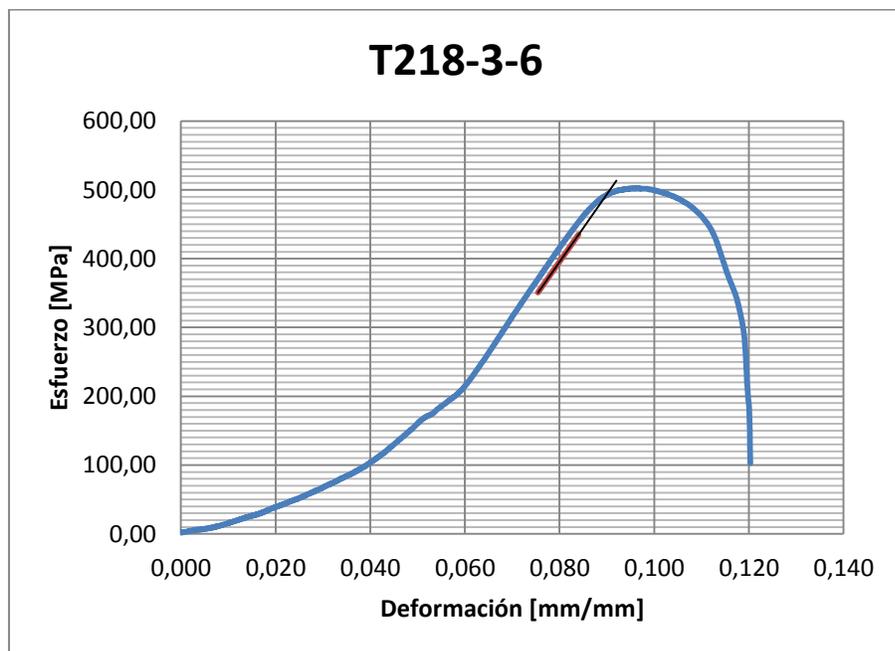


Figura 6.31: Gráfico de esfuerzo-deformación para la probeta T218-3-6

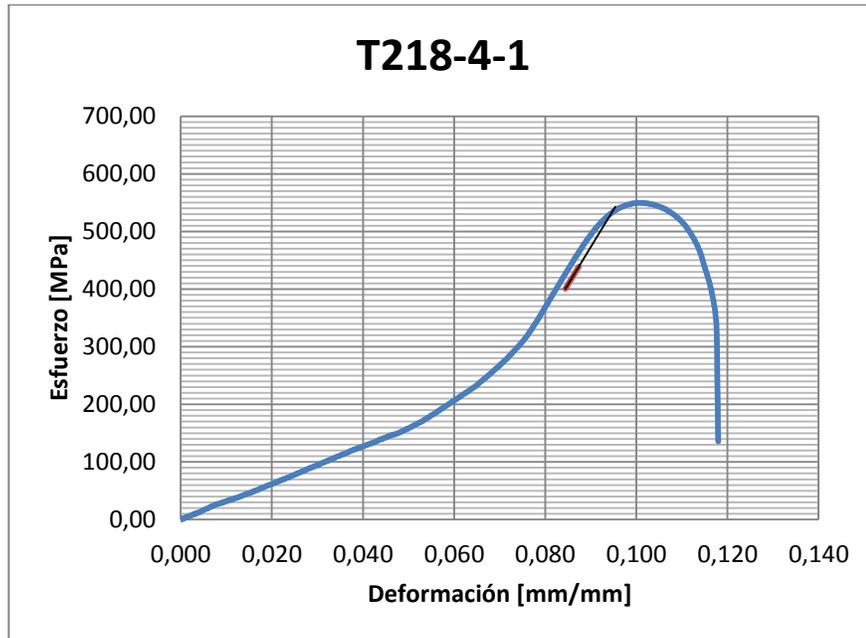


Figura 6.32: Gráfico de esfuerzo-deformación para la probeta T218-4-1

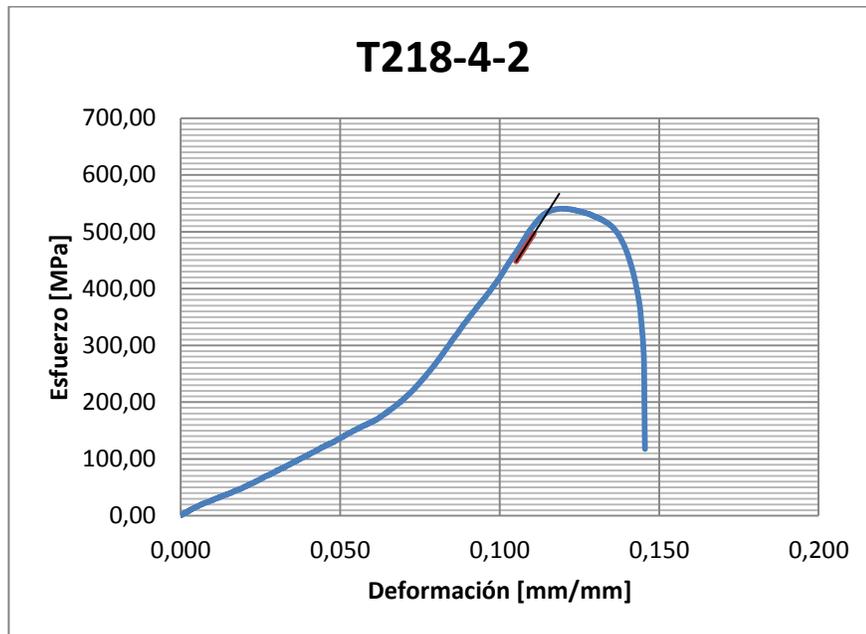


Figura 6.33: Gráfico de esfuerzo-deformación para la probeta T218-4-2

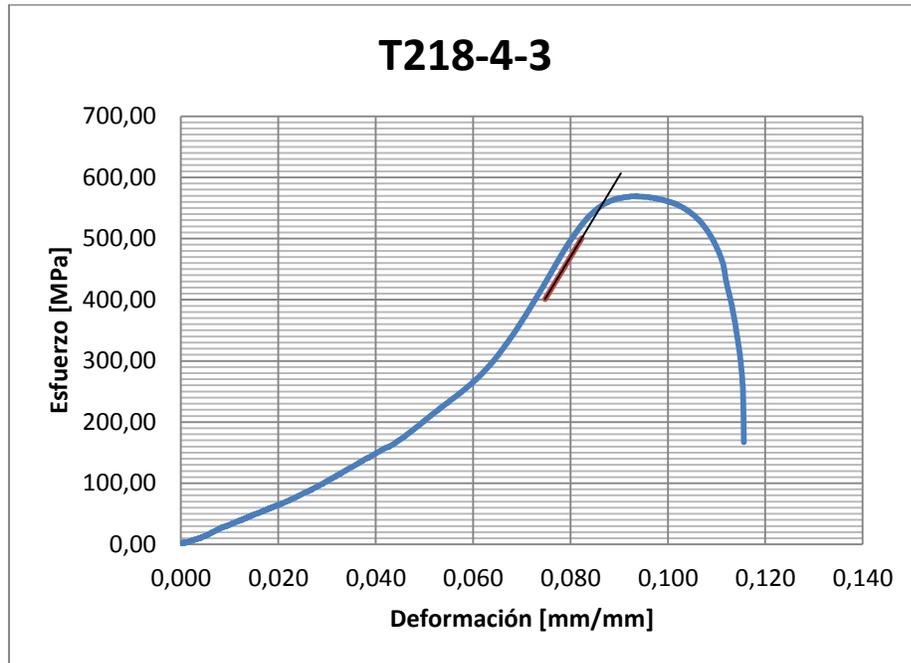


Figura 6.34: Gráfico de esfuerzo-deformación para la probeta T218-4-3

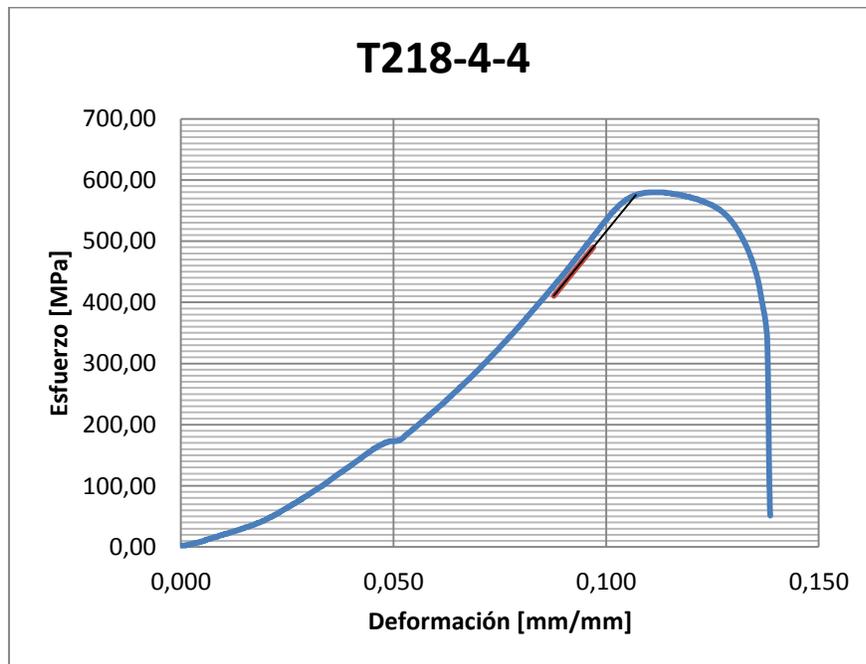


Figura 6.35: Gráfico de esfuerzo-deformación para la probeta T218-4-4

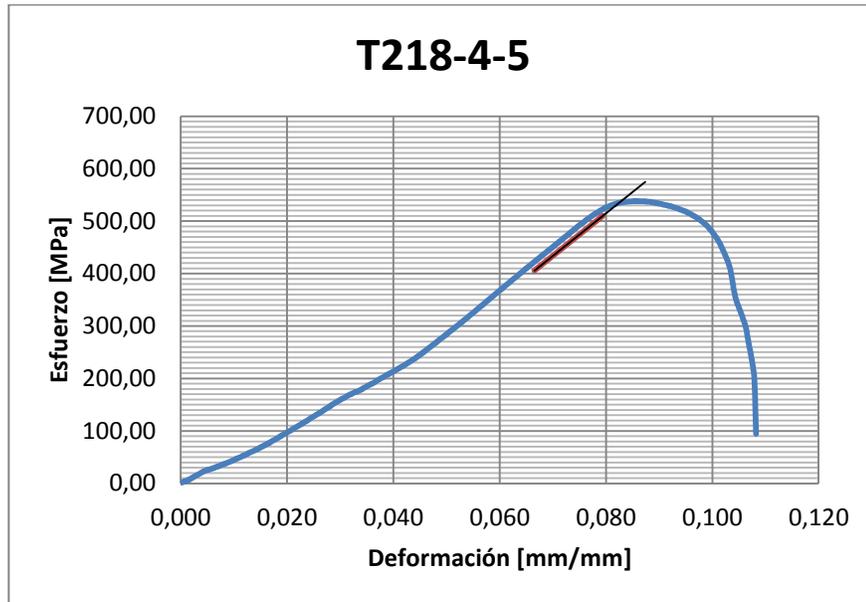


Figura 6.36: Gráfico de esfuerzo-deformación para la probeta T218-4-5

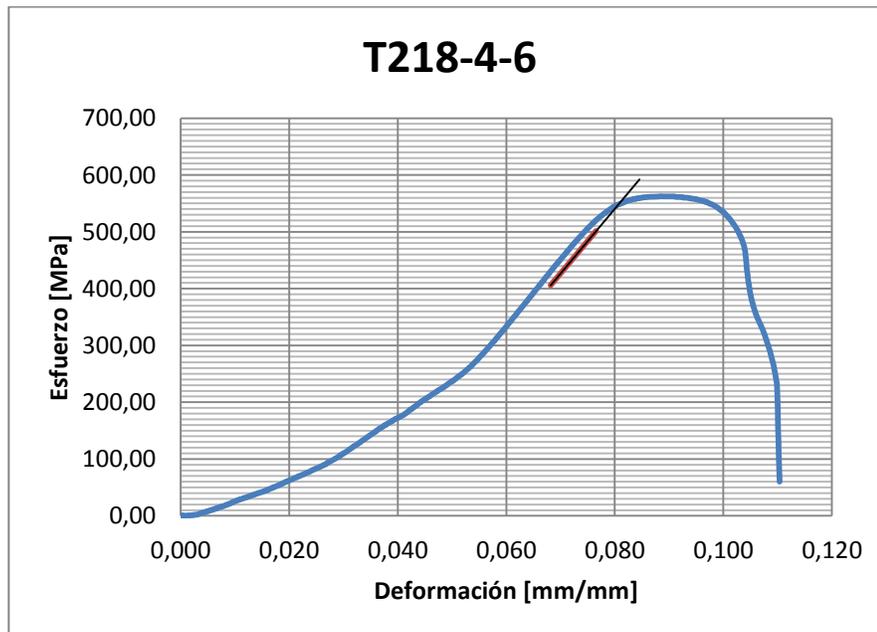


Figura 6.37: Gráfico de esfuerzo-deformación para la probeta T218-4-6



ANEXO 2

NORMA VENEZOLANA COVENIN 1276-77



APÉNDICES

Norma Venezolana COVENIN



1276 - 77

Comisión Venezolana de Normas Industriales (COVENIN)

**Planchas delgadas de acero al carbono, laminadas
en frío para esmaltado vítreo**

CDU 669.14:621.771.8:666.293

C.D.U.

669.14:621.771.8:666.293

COVENIN

1276

INDICE

89

NORMA VENEZOLANA

PLANCHAS DELGADAS DE ACERO AL CAR-

BONO, LAMINADAS EN FRIO PARA ESMAL-

TADO VITREO.

RECORDAR
NORMAS COVENIN
DEFINICIONES
CLASIFICACION
CONDICIONES GENERALES
REQUISITOS
INSPECCION Y RECEPCION
METODOS DE
MUESTREO
RELACION CON OTRAS NORMAS

TRAMITE:

COMITE CT7: MATERIALES FERROSOS

PRESIDENTE: Dr. Henry Kannee.

SECRETARIO: Ing^o Gloria Molina B.

SUB-COMITE: LAMINADOS PLANOS.

COORDINADOR: Asist. Adelardo Zulueta M.

PARTICIPANTES.

SIDOR	Ing. Leonardo Torcat.
LAMIGAL	Ing. José Chacón.
CONDUVEN	Sr. Carlos Del Olmo.
VAN DAM	Ing. René Flores.
MAPLOCA	Sr. Angel Sánchez.
SIDERICA	Sr. Henrique Prieto.
U.C.V.	Ing. Omar Quintero.

DISCUSION PUBLICA:

Fecha de envío: 7-5-77

Duración: 45 días

FECHA DE APROBACION POR EL COMITE: 1-11-77

FECHA DE APROBACION POR LA COVENIN: 6-12-77

ENVI
1370

000.000-0.111.100.000

1.0.

I N D I C E

	Pág.
1. ALCANCE	1
2. NORMAS COVENIN A CONSULTAR	1
3. DEFINICIONES	2
4. CLASIFICACION	2
5. CONDICIONES GENERALES	3
6. REQUISITOS	7
7. INSPECCION Y RECEPCION	11
8. METODOS DE ENSAYO	14
9. MARCACION, ROTULACION Y EMBALAJE	15
10. RELACION CON OTRAS NORMAS	16

C D U
669.14:621.
771.8:666.293

NORMA VENEZOLANA
MATERIALES FERROSOS
PLANCHAS DELGADAS DE ACERO
AL CARBONO, LAMINADAS EN
FRIO PARA ESMALTADO VITREO

COVENIN
1276

1 ALCANCE

Esta norma contempla los requisitos de las planchas delgadas de acero al carbono, laminadas en frío, para esmaltado vítreo, para uso general y embutido, destinadas a esmaltado vítreo.

2 NORMAS COVENIN A CONSULTAR

COVENIN 853-76 Planchas delgadas de acero al carbono laminadas en frío. Espesores y tolerancias dimensionales y de forma.

COVENIN 834-75 Métodos de obtención de muestras para la determinación de su composición química.

COVENIN 817-75 Aceros al carbono. Método gasométrico de determinación de carbono por combustión directa.

COVENIN 305-65 Aceros de carbono. Método gravimétrico de determinación de carbono por combustión directa.

COVENIN 308-65 Aceros al carbono. Método de alcalimétrico de determinación de fósforo.

COVENIN 971: Aceros al carbono. Método de evolución para la determinación de azufre.

COVENIN 1238: Aceros al carbono. Método volumétrico de determinación de azufre por combustión directa.

COVENIN 1021: Aceros al carbono. Método del bismutato para la determinación de manganeso.

COVENIN 997: Aceros al carbono, Método del persulfato para la determinación de manganeso.

COVENIN 946: Aceros. Método de la 8 hidroxiquinolina para la deter-

minación de aluminio.

COVENIN 7:2-001 Ensayo de tracción para acero

COVENIN 7:2-002 Ensayo de doblado para acero

COVENIN 646-75 Ensayo de dureza Rockwell para acero (Escala A, B y C)

COVENIN 7:2-004 Ensayo de Embutido Erichsen modificado para productos planos de acero.

3 DEFINICIONES

3.1 PLANCHA DELGADA.

Es el producto laminado plano, cuyo espesor es menor o igual a 4,75 mm y cuyo ancho es mayor de 500 mm.

3.2 ANALISIS DE COMPROBACION

Es el que se efectúa sobre el acero en su estado de entrega con el objeto de determinar si su composición química se encuentra dentro de los límites establecidos en esta norma.

3.3 COLADA

Es la cantidad de acero de composición química homogénea, obtenida mediante el vaciado parcial o total de un horno afinador.

4 CLASIFICACION

Las planchas delgadas objeto de esta norma se clasificarán según la composición química del acero, su aplicación y en el caso de planchas para embutido por tipos.

4.1 COMPOSICION QUIMICA

Según la composición química se clasificarán en:

4.1.1 Grado EV-1

4.1.2 Grado EV-2

4.2 APLICACION

Según la aplicación se clasificarán en:

4.2.1 Planchas para uso general

4.2.2 Planchas para embutido

Las planchas para embutido se clasificarán a su vez en los siguientes tipos.

4.2.2.1 EM, para embutido moderado

4.2.2.2 EP, para embutido profundo

4.2.2.3 EEP, para embutido extra-profundo

Las planchas para embutido extra-profundo solo se obtienen en el acero grado EV-2

5 CONDICIONES GENERALES

5.1 BASES DE COMPRA

5.1.1 En los pedidos de planchas según esta norma, el comprador deberá indicar:

- a) Número de esta norma COVENIN y año de su aprobación
- b) Plancha delgada de acero al carbono laminado en frío, para esmalta do vítreo.
- c) Dimensiones en milímetros: espesor, ancho y, excepto en el caso de bobinas, la longitud.
- d) Grado, aplicación y tipo en caso necesario.
- e) Cantidad pedida (toneladas).
- f) Protección superficial
- g) Tolerancias normales o especiales (ver 6.1).
- h) Bordes de laminación o bordes recortados
- i) Suministro por características mecánicas o por optitud al conforma do (Ver 5.8).

j) Uso final, a título informativo

5.1.2 Por convenio previo entre comprador y productor se podrán establecer las siguientes condiciones especiales:

- a) Condiciones de inspección y aceptación
- b) Porcentaje de defectos admisibles en la longitud de las bobinas (Ver 5.4)
- c) Superficie garantizada en ambas caras de la plancha,
- d) Embalaje y marcación
- e) Plazo de reclamación
- f) Certificado
- g) Zonas fuera de tolerancia en el espesor, en el caso de bobinas
- h) Porcentaje de rechazos admisibles (Ver 5.8.2)
- i) Inclusión de extremos de laminación y cantidad de uniones admisibles, en el caso de bobinas.
- j) Otros requisitos especiales

5.2 BORDES

Las planchas serán suministradas con bordes de laminación. A pedido se podrán suministrar con bordes recortados.

5.3 FORMA DE ENTREGA

5.3.1 Condiciones de entrega

5.3.1.1 Las planchas se entregarán en bobinas o en planchas cortadas según se indique en el pedido.

5.3.1.2 Las bobinas podrán incluir 2 extremos de laminación, o bien un extremo de laminación y una unión soldada a tope y laminada.

5.3.1.3 Por acuerdo previo, las bobinas podrán incluir hasta 2 extremos de laminación y además una cierta cantidad de uniones soldadas a tope y laminadas, dependiendo del peso creciente de la bobina.

5.3.2 Condiciones de suministro

5.3.2.1 Las planchas para uso general se suministrarán con garantía de propiedades mecánicas.

5.3.2.2 Las planchas destinadas a embutido podrán suministrarse según sus características mecánicas o según su aptitud al conformado.

5.3.2.3 El suministro por características mecánicas implica que las planchas deberán cumplir expresamente con las características mecánicas correspondientes que se establecen en esta norma.

5.3.2.4 El suministro por su aptitud al conformado implica que las planchas deberán cumplir expresamente con la aptitud a la conformación de piezas determinadas. A tales efectos las planchas podrán ser producidas para la fabricación de una pieza determinada, con un porcentaje de rechazo establecido por convenio previo entre comprador y productor. Deberán indicarse el tipo de pieza, los detalles de su fabricación y ciertas condiciones particulares (tales como pieza expuesta o no expuesta, ausencia de líneas de distensión o trazas de arriugas).

No se necesitarán cumplir en este caso, las características mecánicas establecidas en esta norma.

5.4 ASPECTO SUPERFICIAL DE LAS PLANCHAS

5.4.1 Las planchas cortadas podrán presentar defectos leves y moderados que para la utilización de ellas obliguen a un trabajo de recondicionamiento. Su superficie podrá presentar manchas, pero no presencia de residuos carbonosos.

5.4.2 Las planchas entregadas en bobinas podrán presentar un cierto porcentaje con defectos no admitidos para las planchas cortadas. Este porcentaje podrá ser establecido por acuerdo previo entre productor y comprador.

5.4.3 La superficie de las planchas se garantizará para una de sus

caras solamente. Por acuerdo previo entre productor y comprador se podrán garantizar ambas caras.

5.5 ACABADO SUPERFICIAL

Salvo que se acuerde otra cosa, el acabado de la superficie de las planchas será aspero. Su rugosidad superficial hm deberá ser mayor de 1,75 mm para una longitud de muestreo "(cut-off)" de 0,75 mm.

5.6 PROTECCION DE LA SUPERFICIE

5.6.1 Las planchas según se indique en el pedido, se suministrarán con o sin recubrimiento protector de aceites. En este último caso no se garantizará la no aparición de corrosión superficial.

5.6.2 Cuando las planchas se suministran aceitadas, ambas caras de las mismas deberán recibir una película protectora de aceite, de manera que en condiciones adecuadas de transporte, embalaje, manipulación y almacenaje, las mismas no presenten oxidación durante un plazo de aproximadamente 3 meses a partir de la fecha de disposición del material en fábrica.

5.6.3 Los aceites utilizados deben ser anticorrosivos y permitir su remoción de la superficie de las planchas mediante solventes clorados (tri o percloroetileno), soluciones alcalinas o detergentes industriales.

5.7 DEFECTOS EN LA ESTRUCTURA DEL ACERO

Los defectos en la estructura del acero producidos durante el proceso de aceración, laminación, o tratamiento térmico, tales como inclusiones no metálicas, tamaño de grano ferrítico inadecuado, u otros, no deberán afectar las características mecánicas o la aptitud al conformado, ni el aspecto superficial de las planchas antes o después del embutido.

6 REQUISITOS

6.1 DIMENSIONES Y TOLERANCIAS DIMENSIONALES Y DE FORMA

Las dimensiones y tolerancias dimensionales y de forma serán las normales indicadas en la norma COVENIN 853.

6.1.1 Cuando se solicite el pedido, se aplicarán la o las tolerancias especiales que correspondan de la Norma COVENIN 853.

6.1.2 En el caso de planchas entregadas en bobinas, debido al proceso de laminación, podrán presentarse, también zonas en las que el espesor esté fuera de los límites admisibles. Por acuerdo previo deberá establecerse el porcentaje máximo referido a la masa total de la bobina, de material fuera de tolerancias que se admitirá.

6.2 COMPOSICION QUIMICA DEL ACERO

6.2.1 Las planchas serán fabricadas con acero cuyos límites de composición química en el análisis de cuchara se indican en la Tabla I.

T A B L A I
COMPOSICION QUIMICA DE LOS
ACEROS

Grado	Elementos			
	C% Max.	Mn% Máx.	P% Máx.	S% Máx.
EV - 1	0,04	0,12	0,015	0,035
EV - 1	0,08	0,35	0,020	0,035

NOTA: Los aceros podrán ser efervescentes, tapados o estabilizados

6.2.2 Análisis de Comprobación

6.2.2.1 Para la realización de análisis de comprobación, para los

aceros tapados o estabilizados, deberán fijarse por acuerdo previo las variaciones admisibles por encima de los valores establecidos en la Tabla I para el análisis de cuchara.

6.2.2.2 No se efectuará análisis de comprobación en aceros efervescentes.

6.3 PROPIEDADES MECANICAS

6.3.1 Planchas para uso general

6.3.1.1 Doblado. Las planchas para esmaltado vítreo de uso general sometidas al ensayo de doblado a 180° a temperatura ambiente, sobre si misma (sin calza) no deberán presentar grietas transversales en la cara externa. No se tendrán en cuenta las pequeñas grietas que puedan aparecer en los bordes.

6.3.1.2 Dureza. Usualmente la dureza de las planchas para esmaltado vítreo no sobrepasa a Rockwell HRB 65 o su equivalente.

6.3.2 Planchas para embutido

6.3.2.1 Tracción

La resistencia a la tracción. Límite de fluencia y alargamiento de rotura de las planchas para esmaltado vítreo serán las indicadas en la Tabla II.

6.3.2.2 Dureza

En la Tabla II se indican a título informativo, los valores máximos de la dureza de las planchas comprendidas en esta norma, lo que se aplicarán cuando se establezca por convenio previo.

T A B L A I I
 PROPIEDADES MECANICAS DE LAS PLANCHAS PARA
 EMBUTIDO

REQUISITO		TIPO		
		EM	EP	EEP
Resistencia a la tracción (MPa)		270 a 420	270 a 380	270 a 360
Límite de fluencia máximo (MPa)		280	270	240
Alargamiento de rotura, mínimo, en % medido en 50mm para espesores e (mm)	0,30 e 0,50	26	31	34
	0,50 e 1,60	30	35	36
	1,60 e 3,50	32	37	38
Dureza Máxima	Rockwell HBR	65	57	50
	Rockwell HR 30 T	60	55	50

6.3.2.3 Embutibilidad

6.3.2.3.1 Las planchas de hasta 2,0 mm de espesor inclusive, sometidas al ensayo de embutido Erichsen deberán cumplir con los índices promedio de embutibilidad que se indican en la Tabla III y en las curvas de la Fig. 1.

6.3.2.3.2 El valor representativo del índice será el promedio de 3 de terminaciones, de las cuales ningún valor individual podrá ser inferior en más de 0,3 mm del valor indicado en la Tabla III.

T A B L A III
 EMBUTIBILIDAD ERICHSEN

Espesor Nominal e (mm)	Indice de embutido Erichsen promedio mínimo para tipos (mm)		
	EM	EP	EEP
0,5	8,8	9,5	9,8
0,6	9,0	9,7	10,0
0,7	9,2	10,0	10,2
0,8	9,4	10,2	10,4
0,9	9,6	10,3	10,6
1,0	9,8	10,5	10,8
1,1	9,9	10,6	10,9
1,2	10,1	11,8	11,1
1,3	10,2	11,0	11,2
1,5	10,5	11,2	11,5
1,8	10,9	11,6	11,8
2,0	11,1	11,8	12,1

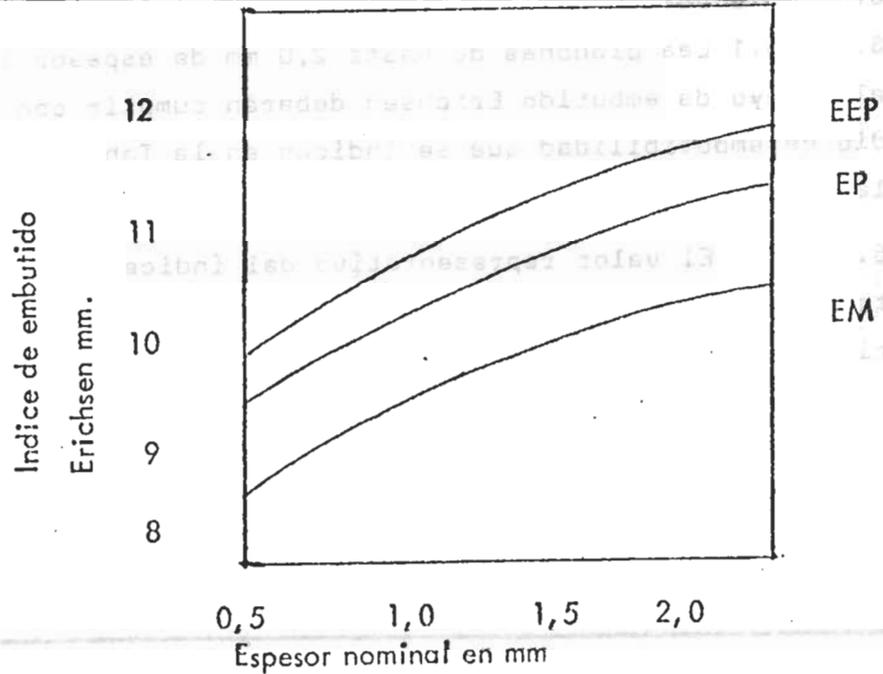


Figura 1
 Curva de valores mínimos de embutido Erichsen

6.3.2.4 Envejecimiento

6.3.2.4.1 Las planchas de tipos EM y EP podrán estar sujetas al fenómeno de envejecimiento, que se manifiesta por un aumento de la dureza y del límite de fluencia y una disminución de alargamiento y de la profundidad de embutido, perjudicando a la ductilidad del material. (el envejecimiento predispone también a la aparición de líneas de distensión cuando las planchas sufren embutido, lo cual puede ser evitado pasándolas por una enderezadora de rodillos inmediatamente antes del embutido). Las planchas de estos tipos no obstante, deberán cumplir con los requisitos de propiedades mecánicas establecidos en esta norma, durante un plazo de 8 días a partir de la fecha de puesta a disposición del comprador.

6.3.2.4.2 Las planchas del tipo EEP no deberán presentar defectos por envejecimiento, tales como líneas de distensión, durante su uso en operaciones de embutido o en ensayos de recepción establecidos por acuerdo previo entre productor y comprador, Las planchas de este tipo no deberán tampoco presentar alteraciones significativas en sus propiedades mecánicas, dentro de un período de tiempo de almacenamiento, del orden de los 6 meses a partir de la fecha de puesta a disposición del comprador.

7 INSPECCION Y RECEPCION

Salvo que por acuerdo previo se establezcan otras, las condiciones de inspección y de aceptación serán las siguientes:

7.1 CONDICIONES DE INSPECCION

7.1.1 La inspección y los ensayos deben ser realizados antes del despacho, salvo que se establezca otra cosa entre productor y comprador.

7.1.2 Si el comprador estuviera interesado en asistencia a la inspección y ensayo de los productos ordenados, el productor deberá concederle

todas las facilidades necesarias para la verificación de que su orden está siendo atendida de acuerdo con el pedido, sin que haya interrupción del procedimiento o atraso en la producción y/o despacho.

7.2 LOTES

Se formarán lotes de 50 toneladas o fracción de planchas o bobinas de las mismas dimensiones y características nominales.

7.3 MUESTRAS

De cada lote se extraerá una muestra para la obtención de las probetas para la realización de los ensayos.

7.4 PROBETAS

7.4.1 Ensayo de Tracción

Las probetas para el ensayo de tracción se extraen en la posición T de la figura 2 de manera que el eje longitudinal de la probeta sea perpendicular a la dirección final de laminación de la plancha.

7.4.2 Ensayo de Dureza

De cada muestra se extraerán tres probetas en las posiciones Du, tal como se indica en la Figura 2.

7.4.3 Ensayo de embutido Erichsen

Las probetas para el ensayo de embutido Erichsen se extraerán de una tira E de la plancha transversal a la dirección de laminación, con una longitud igual al ancho de la plancha y un ancho aproximado de 90 mm.

7.4.4 Ensayo de doblado

Las probetas para el ensayo de doblado se extraerán en la posición D

de la figura 2 de manera que el eje longitudinal de la probeta sea perpendicular a la dirección final de laminación de la plancha.

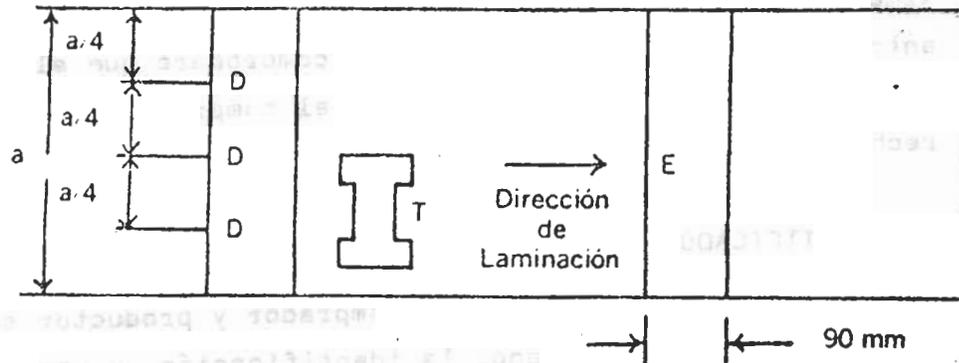


FIGURA 2

EXTRACION DE PROBETAS

7.5 ACEPTACION Y RECHAZO

El lote será aceptado si satisficiera todos los requisitos de esta norma.

Si los resultados de los ensayos de tracción y/o embutido o doblado no satisficieran los requisitos se extraerán y ensayarán 2 nuevas - probetas del mismo lote, debiendo sus resultados ser satisfactorios. De lo contrario se rechazará el lote.

Si el resultado no satisfactorio de un ensayo fuese debido evidentemente a una falla técnica en la ejecución del ensayo, o a un defecto en la probeta, tal resultado debe ser descartado, repitiéndose el ensayo.

7.6 RECLAMACION

Todo material que tras su aceptación o durante su utilización por parte del comprador evidenciara fallas o que aparentemente no estuviera de acuerdo con lo establecido en esta norma, deberá ser apartado adecuadamente manteniéndose la identificación del lote de producción,

almacenado en forma que no se alteren sus condiciones, notificándose al productor para su comprobación en el establecimiento del comprador, para lo cual se le concederá las facilidades necesarias. El plazo máximo para la presentación de la reclamación será acordado previamente entre comprador y productor. Si se comprobara que el material no cumple con las exigencias de la norma el comprador tendrá el derecho de rechazo.

7.7 CERTIFICADO

7.7.1 Por acuerdo previo entre comprador y productor se podrá entregar certificado conteniendo la identificación, y uno o más de los siguientes grupos de características del lote:

- a) Propiedades mecánicas
- b) Composición química
- c) Dimensiones nominales y tolerancias

7.7.2 Cuando se entregue, el certificado deberá acompañar al documento de entrega del material, o anticipadamente.

8 METODOS DE ENSAYO

8.1 ANALISIS QUIMICO

Los análisis químicos se efectúan de acuerdo con las normas COVENIN: 834, 817, 305, 308, 971, 1238, 1021, 997 y 946.

8.2 ENSAYO DE TRACCION

8.2.1 El ensayo de tracción se realiza de acuerdo con la Norma COVENIN 7:2-001

8.2.2 Para las planchas de espesor inferior a 3 mm, el ensayo se realiza de acuerdo con la Norma COVENIN 7:2-001**

8.3 ENSAYO DE DUREZA

8.3.1 El ensayo de dureza Rockwell superficial (escalas N y T).

8.4 ENSAYO DE EMBUTIDO ERICHSEN

8.4.1 El ensayo de embutido Erichsen se realiza de acuerdo con la Norma COVENIN 7:2-004.

8.5 ENSAYO DE DOBLADO

8.5.1 El ensayo de doblado se realiza de acuerdo a la Norma COVENIN 7:2-002

9 MARCACION, ROTULACION Y EMBALAJE

9.1 MARCACION Y ROTULACION

9.1.1 Cada paquete o bobina llevará marcado en su parte externa los siguientes datos:

- a) Nombre o símbolo del producto
- b) El número identificadorio del paquete o bobina y fecha de fabricación.
- c) Dimensiones en milímetros (espesor, ancho y, salvo en el caso de bobinas, la longitud).
- d) Masa del paquete o bobina en kilogramos y como referencia el número de planchas.
- e) Símbolo indicador del grado y tipo de la plancha (Ver 4.1).
- f) Número de esta Norma COVENIN y año de su aprobación
- g) País de origen.

9.1.2 La marcación deberá ser efectuada con pintura, directamente sobre el embalaje, o por medio de una etiqueta metálica, u otra resistencia a la intemperie, marcada en forma indeleble y firmemente adherida al paquete o bobina.

9.1.3 Cuando se solicite, para uso embutido, la marcación será individual en cada una de las planchas, debiendo constar por lo menos, los siguientes datos:

- a) Símbolo del producto
- b) El número identificador del paquete o bobina y fecha de fabricación.

9.1.4 La forma de marcación quedará a criterio del productor. En el caso de pintura, ésta debe ser de calidad tal que resista al manipuleo, no tenga características corrosivas y sea fácilmente removible.

9.2 EMBALAJE

Las exigencias con respecto al tipo de embalaje serán fijadas por acuerdo entre comprador y productor.

10 RELACION CON OTRAS NORMAS

10.1 COPANT 2:3-047-1976 (Comisión Panamericana de Normas Técnicas)

10.2 ASTM A 424 (American Society for Testing and Materials)



**COMISION VENEZOLANA DE NORMAS INDUSTRIALES
MINISTERIO DE FOMENTO**

Av. Andrés Bello Edif. Torre Fondo Común Pisos 11 y 12

Teléf: 575. 41. 11 Fax : 574. 13. 12

CARACAS

publicación de :



IMPRESO EN EL TALLER DE COVENIN

CUALQUIER TRADUCCION O REPRODUCCION PARCIAL O TOTAL DE LA PRESENTE
NORMA DEBERA SER AUTORIZADA POR EL MINISTERIO DE FOMENTO



Hardness Relationship Scales



ROCKWELL STANDARD			ROCKWELL SUPERFICIAL			Vickers 10kg (HV)	Knoop ≥500g (HK)	Brinell 10mm Standard Ball, 3000kgf (HBS)	Brinell 10mm Standard Carbide, 3000kgf (HBW)
C 150kg (HRC)	A 60kg (HRA)	D 100kg (HRD)	15N 15kg (HR15N)	30N 30kg (HR30N)	45N 45kg (HR45N)				
70.0	86.5	78.5	94.0	86.0	77.5	1076	972	-	-
69.0	86.0	78.0	93.5	85.0	76.5	1004	946	-	-
68.0	85.6	76.9	93.2	84.4	75.4	940	920	-	-
67.0	85.0	76.1	92.9	83.6	74.2	900	895	-	-
66.0	84.5	75.4	92.5	82.8	73.3	865	870	-	-
65.0	83.9	74.5	92.2	81.9	72.0	832	846	-	(739)
64.0	83.4	73.8	91.8	81.1	71.0	800	822	-	(722)
63.0	82.8	73.0	91.4	80.1	69.9	772	799	-	(705)
62.0	82.3	72.2	91.1	79.3	68.8	746	776	-	(688)
61.0	81.8	71.5	90.7	78.4	67.7	720	754	-	(670)
60.0	81.2	70.7	90.2	77.5	66.6	697	732	-	(654)
59.0	80.7	69.9	89.8	76.6	65.5	674	710	-	634
58.0	80.1	69.2	89.3	75.7	64.3	653	690	-	615
57.0	79.6	68.5	88.9	74.8	63.2	633	670	-	595
56.0	79.0	67.7	88.3	73.9	62.0	613	650	-	577
55.0	78.5	66.9	87.9	73.0	60.9	595	630	-	560
54.0	78.0	66.1	87.4	72.0	59.8	577	612	-	543
53.0	77.4	65.4	86.9	71.2	58.6	560	594	-	525
52.0	76.8	64.6	86.4	70.2	57.4	544	576	(500)	512
51.0	76.3	63.8	85.9	69.4	56.1	528	558	(487)	496
50.0	75.9	63.1	85.5	68.5	55.0	513	542	(475)	481
49.0	75.2	62.1	85.0	67.6	53.8	498	526	(464)	469
48.0	74.7	61.4	84.5	66.7	52.5	484	510	451	455
47.0	74.1	60.8	83.9	65.8	51.4	471	495	442	443
46.0	73.6	60.0	83.5	64.8	50.3	458	480	432	432
45.0	73.1	59.2	83.0	64.0	49.0	446	466	421	421

*Values follow ASTM E 140-07 Table 1 for non-austenitic steels.

Approximate Hardness Conversion Numbers

ROCKWELL STANDARD			ROCKWELL SUPERFICIAL			Vickers 10kg (HV)	Knoop ≥500g (HK)	Brinell 10mm Standard Ball, 3000kgf (HBS)	Brinell 10mm Standard Carbide, 3000kgf (HBW)
C	A	D	15N 15kg (HR15N)	30N 30kg (HR30N)	45N 45kg (HR45N)				
44.0	72.5	58.5	82.5	63.1	47.8	434	452	409	409
43.0	72.0	57.7	82.0	62.2	46.7	423	438	400	400
42.0	71.5	56.9	81.5	61.3	45.5	412	426	390	390
41.0	70.9	56.2	80.9	60.4	44.3	402	414	381	381
40.0	70.4	55.4	80.4	59.5	43.1	392	402	371	371
39.0	69.9	54.6	79.9	58.6	41.9	382	391	362	362
38.0	69.4	53.8	79.4	57.7	40.8	372	380	353	353
37.0	68.9	53.1	78.8	56.8	39.6	363	370	344	344
36.0	68.4	52.3	78.3	55.9	38.4	354	360	336	336
35.0	67.9	51.5	77.7	55.0	37.2	345	351	327	327
34.0	67.4	50.8	77.2	54.2	36.1	336	342	319	319
33.0	66.8	50.0	76.6	53.3	34.9	327	334	311	311
32.0	66.3	49.2	76.1	52.1	33.7	318	326	301	301
31.0	65.8	48.4	75.6	51.3	32.5	310	318	294	294
30.0	65.3	47.7	75.0	50.4	31.3	302	311	286	286
29.0	64.8	47.0	74.5	49.5	30.1	294	304	279	279
28.0	64.3	46.1	73.9	48.6	28.9	286	297	271	271
27.0	63.8	45.2	73.3	47.7	27.8	279	290	264	264
26.0	63.3	44.6	72.8	46.8	26.7	272	284	258	258
25.0	62.8	43.8	72.2	45.9	25.5	266	278	253	253
24.0	62.4	43.1	71.6	45.0	24.3	260	272	247	247
23.0	62.0	42.1	71.0	44.0	23.1	254	266	243	243
22.0	61.5	41.6	70.5	43.2	22.0	248	261	237	237
21.0	61.0	40.9	69.9	42.3	20.7	243	256	231	231
20.0	60.5	40.1	69.4	41.5	19.6	238	251	226	226

*Values follow ASTM E 140-07 Table 1 for non-austenitic steels.



ROCKWELL STANDARD			ROCKWELL SUPERFICIAL					
B 100kg (HRB)	A 60kg (HRA)	F 60kg (HRF)	15T 15kg (HR15T)	30T 30kg (HR30T)	45T 45kg (HR45T)	Vickers 10kg (HV)	Knoop ≥500g (HK)	Brinell 3000kgf (HBS)
100	61.5	-	93.1	83.1	72.9	240	251	240
99	60.9	-	92.8	82.5	71.9	234	246	234
98	60.2	-	92.5	81.8	70.9	228	241	228
97	59.5	-	92.1	81.1	69.9	222	236	222
96	58.9	-	91.8	80.4	68.9	216	231	216
95	58.3	-	91.5	79.8	67.9	210	226	210
94	57.6	-	91.2	79.1	66.9	205	221	205
93	57.0	-	90.8	78.4	65.9	200	216	200
92	56.4	-	90.5	77.8	64.8	195	211	195
91	55.8	-	90.2	77.1	63.8	190	206	190
90	55.2	-	89.9	76.4	62.8	185	201	185
89	54.6	-	89.5	75.8	61.8	180	196	180
88	54.0	-	89.2	75.1	60.8	176	192	176
87	53.4	-	88.9	74.4	59.8	172	188	172
86	52.8	-	88.6	73.8	58.8	169	184	169
85	52.3	-	88.2	73.1	57.8	165	180	165
84	51.7	-	87.9	72.4	56.8	162	176	162
83	51.1	-	87.6	71.8	55.8	159	173	159
82	50.6	-	87.3	71.1	54.8	156	170	156
81	50.0	-	86.9	70.4	53.8	153	167	153
80	49.5	-	86.6	69.7	52.8	150	164	150
79	48.9	-	86.3	69.1	51.8	147	161	147
78	48.4	-	86.0	68.4	50.8	144	158	144
77	47.9	-	85.6	67.7	49.8	141	155	141
76	47.3	-	85.3	67.1	48.8	139	152	139
75	46.8	99.6	85.0	66.4	47.8	137	150	137
74	46.3	99.1	84.7	65.7	46.8	135	147	135
73	45.8	98.5	84.3	65.1	45.8	132	145	132

*Values follow ASTM E 140-07 Table 2 for non-austenitic steels.

Approximate Hardness Conversion Numbers

ROCKWELL STANDARD			ROCKWELL SUPERFICIAL			Vickers 10kg (HV)	Knoop ≥500g (HK)	Brinell 3000kgf (HBS)
B 100kg (HRB)	A 60kg (HRA)	F 60kg (HRF)	15T 15kg (HR15T)	30T 30kg (HR30T)	45T 45kg (HR45T)			
72	45.3	98.0	84.0	64.4	44.8	130	143	130
71	44.8	97.4	83.7	63.7	43.8	127	141	127
70	44.3	96.8	83.4	63.1	42.8	125	139	125
69	43.8	96.2	83.0	62.4	41.8	123	137	123
68	43.3	95.6	82.7	61.7	40.8	121	135	121
67	42.8	95.1	82.4	61.0	39.8	119	133	119
66	42.3	94.5	82.1	60.4	38.7	117	131	117
65	41.8	93.9	81.8	59.7	37.7	116	129	116
64	41.4	93.4	81.4	59.0	36.7	114	127	114
63	40.9	92.8	81.1	58.4	35.7	112	125	112
62	40.4	92.2	80.8	57.7	34.7	110	124	110
61	40.0	91.7	80.5	57.0	33.7	108	122	108
60	39.5	91.1	80.1	56.4	32.7	107	120	107
59	39.0	90.5	79.8	55.7	31.7	106	118	106
58	38.6	90.0	79.5	55.0	30.7	104	117	104
57	38.1	89.4	79.2	54.4	29.7	103	115	103
56	37.7	88.8	78.8	53.7	28.7	101	114	101
55	37.2	88.2	78.5	53.0	27.7	100	112	100
54	36.8	87.7	78.2	52.4	26.7	-	111	-
53	36.3	87.1	77.9	51.7	25.7	-	110	-
52	35.9	86.5	77.5	51.0	24.7	-	109	-
51	35.5	86.0	77.2	50.3	23.7	-	108	-
50	35.0	85.4	76.9	49.7	22.0	-	107	-
49	34.6	84.8	76.6	49.0	21.7	-	106	-
48	34.1	84.3	76.2	48.3	20.7	-	105	-
47	33.7	83.7	75.9	47.7	19.7	-	104	-
46	33.3	83.1	75.6	47.0	18.7	-	103	-
45	32.9	82.6	75.3	46.3	17.7	-	102	-

*Values follow ASTM E 140-07 Table 2 for non-austenitic steels.

ROCKWELL STANDARD			ROCKWELL SUPERFICIAL			Vickers 10kg (HV)	Knoop ≥500g (HK)	Brinell 3000kgf (HBS)
B 100kg (HRB)	A 60kg (HRA)	F 60kg (HRF)	15T 15kg (HR15T)	30T 30kg (HR30T)	45T 45kg (HR45T)			
45	32.9	82.6	75.3	46.3	17.7	-	102	-
44	32.4	82.0	74.9	45.7	16.7	-	101	-
43	32.0	81.4	74.6	45.0	15.7	-	100	-
42	31.6	80.8	74.3	44.3	14.7	-	99	-
41	31.2	80.3	74.0	43.7	13.6	-	98	-
40	30.7	79.7	73.6	43.0	12.6	-	97	-
39	30.3	79.1	73.3	42.3	11.6	-	96	-
38	29.9	78.6	73.0	41.6	10.6	-	95	-
37	29.5	78.0	72.7	41.0	9.6	-	94	-
36	29.1	77.4	72.3	40.3	8.6	-	93	-
35	28.7	76.9	72.0	39.6	7.6	-	92	-
34	28.2	76.3	71.7	39.0	6.6	-	91	-
33	27.8	75.7	71.4	38.3	5.6	-	90	-
32	27.4	75.2	71.0	37.6	4.6	-	89	-
31	27.0	74.6	70.7	37.0	3.6	-	88	-
30	26.6	74.0	70.4	36.3	2.6	-	87	-

*Values follow ASTM E 140-07 Table 2 for non-austenitic steels.

**Conversions for scales using carbide (WC) ball indenter have not yet been developed.



Minimum Thickness Guide

Using the Diamond Indenter
Rockwell & Rockwell Superficial Scale
Minimum Thickness

in.	mm	15N Hardness Reading	30N Hardness Reading	45N Hardness Reading	A Hardness Reading	C Dial Reading
0.006	0.15	92	...	...	...	...
0.008	0.20	90	...	...	...	...
0.010	0.25	88	...	...	...	...
0.012	0.30	83	82	77	...	...
0.014	0.36	76	78.5	74	...	...
0.016	0.41	68	74	72	86	...
0.018	0.46	...	66	68	84	...
0.020	0.51	...	57	63	82	...
0.022	0.56	...	47	58	79	69
0.024	0.61	...	...	51	76	67
0.026	0.66	...	...	37	71	65
0.028	0.71	...	...	20	67	62
0.030	0.76	...	...	...	60	57
0.032	0.81	...	...	...	...	52
0.034	0.86	...	...	...	...	45
0.036	0.91	...	...	...	...	37
0.038	0.96	...	...	...	...	28
0.040	1.02	...	...	...	...	20

Using the 1/16th" (1.588 mm)
Diameter Ball Indenter
Rockwell & Rockwell Superficial Scale
Minimum Thickness

in.	mm	15T Hardness Reading	30T Hardness Reading	45T Hardness Reading	F Hardness Reading	B Dial Reading
0.010	0.25	91	93	...	...	...
0.012	0.30	86	78	...	...	...
0.014	0.36	81	62	...	...	...
0.016	0.41	75	44	71	...	...
0.018	0.46	68	24	62	...	...
0.020	0.51	...	...	53	...	...
0.022	0.56	...	...	43	...	...
0.024	0.61	...	...	31	98	94
0.026	0.66	...	...	18	91	87
0.028	0.71	...	...	4	85	80
0.030	0.76	...	...	...	77	71
0.032	0.81	...	...	...	69	62
0.034	0.86	...	...	...	...	52
0.036	0.91	...	...	...	...	40
0.038	0.96	...	...	...	...	28
0.040	1.02	...	...	...	...	...





**Corrections to be Added to Rockwell C, A, and D Values Obtained
on Convex Cylindrical Surfaces of Various Diameters**
Diameters of Convex Cylindrical Surfaces

Dial Reading	1/4 in. (6.4 mm)	3/8 in. (10 mm)	1/2 in. (13 mm)	5/8 in. (16 mm)	3/4 in. (19 mm)	7/8 in. (22 mm)	1 in. (25 mm)	1 1/4 in. (32 mm)	1 1/2 in. (38 mm)
20	6.0	4.5	3.5	2.5	2.0	1.5	1.5	1.0	1.0
25	5.5	4.0	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0	1.0	1.0
30	5.0	3.5	2.5	2.0	1.5	1.5	1.0	1.0	0.5
35	4.0	3.0	2.0	1.5	1.5	1.0	1.0	0.5	0.5
40	3.5	2.5	2.0	1.5	1.0	1.0	1.0	0.5	0.5
45	3.0	2.0	1.5	1.0	1.0	1.0	0.5	0.5	0.5
50	2.5	2.0	1.5	1.0	1.0	0.5	0.5	0.5	0.5
55	2.0	1.5	1.0	1.0	0.5	0.5	0.5	0.5	0
60	1.5	1.0	1.0	0.5	0.5	0.5	0.5	0	0
65	1.5	1.0	1.0	0.5	0.5	0.5	0.5	0	0
70	1.0	1.0	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0	0
75	1.0	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0	0	0
80	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0	0	0	0
85	0.5	0.5	0.5	0	0	0	0	0	0
90	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0



Correction for Convex Cylindrical Surfaces

Corrections to be Added to Rockwell B, F, and G Values Obtained on Convex Cylindrical Surfaces of Various Diameters
Diameters of Convex Cylindrical Surfaces

Hardness Reading	1/4 in. (6.4 mm)	3/8 in. (10 mm)	1/2 in. (13 mm)	5/8 in. (16 mm)	3/4 in. (19 mm)	7/8 in. (22 mm)	1 in. (25 mm)
0	12.5	8.5	6.5	5.5	4.5	3.5	3.0
10	12.0	8.0	6.0	5.0	4.0	3.5	3.0
20	11.0	7.5	5.5	4.5	4.0	3.5	3.0
30	10.0	6.5	5.0	4.5	3.5	3.0	2.5
40	9.0	6.0	4.5	4.0	3.0	2.5	2.5
50	8.0	5.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0
60	7.0	5.0	3.5	3.0	2.5	2.0	2.0
70	6.0	4.0	3.0	2.5	2.0	2.0	1.5
80	5.0	3.5	2.5	2.0	1.5	1.5	1.5
90	4.0	3.0	2.0	1.5	1.5	1.5	1.0
100	3.5	2.5	1.5	1.5	1.0	1.0	0.5





Corrections to be Added to Rockwell Superficial 15N, 30N, and 45N
Values Obtained on Convex Cylindrical Surfaces of Various Diameters
Diameters of Convex Cylindrical Surfaces

Hardness Reading	1/8 in. (3.2 mm)	1/4 in. (6.4 mm)	3/8 in. (10 mm)	1/2 in. (13 mm)	3/4 in. (19 mm)	1 in. (25 mm)
20	6.0	3.0	2.0	1.5	1.5	1.5
25	5.5	3.0	2.0	1.5	1.5	1.0
30	5.5	3.0	2.0	1.5	1.0	1.0
35	5.0	2.5	2.0	1.5	1.0	1.0
40	4.5	2.5	1.5	1.5	1.0	1.0
45	4.0	2.0	1.5	1.0	1.0	1.0
50	3.5	2.0	1.5	1.0	1.0	0.5
55	3.5	2.0	1.5	1.0	0.5	0.5
60	3.0	1.5	1.0	1.0	0.5	0.5
65	2.5	1.5	1.0	0.5	0.5	0.5
70	2.0	1.0	1.0	0.5	0.5	0.5
75	1.5	1	0.5	0.5	0.5	0
80	1	0.5	0.5	0.5	0	0
85	0.5	0.5	0.5	0.5	0	0
90	0	0	0	0	0	0



Correction for Convex Cylindrical Surfaces

Corrections to be Added to Rockwell Superficial 15T, 30T, and 45T Values Obtained on Convex Cylindrical Surfaces of Various Diameters
Diameters of Convex Cylindrical Surfaces

Hardness Reading	1/8 in. (3.2 mm)	1/4 in. (6.4 mm)	3/8 in. (10 mm)	1/2 in. (13 mm)	5/8 in. (16 mm)	3/4 in. (19 mm)	1 in. (25 mm)
20	13.0	9.0	6.0	4.5	4.5	3.0	2.0
30	11.5	7.5	5.0	3.5	3.5	2.5	2.0
40	10.0	6.5	4.5	3.5	3.0	2.5	2.0
50	8.5	5.5	4.0	3.0	2.5	2.0	1.5
60	6.5	4.5	3.0	2.5	2.0	1.5	1.5
70	5.0	3.5	2.5	2.0	1.5	1.0	1.0
80	3.0	2.0	1.5	1.5	1.0	1.0	0.5
90	1.5	1.0	1.0	0.5	0.5	0.5	0.5



LECO Optical Service calibrations are accredited to ISO 17025



Inquiries may be made to the following:

LECO Corporation • 3000 Lakeview Avenue • St. Joseph, MI 49085
Phone: (269) 982-2385 • Fax: (269) 982-8982 • optical_service@leco.com

We sell, service, and calibrate

- Rockwell-Type Testers
- Vickers and Knoop Hardness Testers
- Microscope Reticles and Photomicrographs
- Image Analysis and Video Measuring Systems
- Stage Micrometers



Delivering the Right Results

LECO Corporation

3000 Lakeview Avenue • St. Joseph, MI 49085

Phone: 800-292-6141 • Fax: 269-982-8977

info@leco.com • www.leco.com • ISO-9001:2000 No. FM 24045

LECO is a registered trademark of LECO Corporation.