

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE BUENOS AIRES – ITBA

ESCUELA DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN DISPOSITIVO PARA REALIZAR ENSAYOS DE FRICCIÓN DEL TIPO INLAND

AUTOR/ES: Agulló, Juan (Leg. N° 52023)

DOCENTE/S TITULAR/ES O TUTOR/ES: D'hers, Sebastián; Di Luch, Aníbal

Contenido

1	Resumen.....	3
2	Marco Teórico	4
2.1	Proceso de fabricación del acero.....	4
2.1.1	Alto Horno	4
2.1.2	Aceración	5
2.1.3	Colada Continua	5
2.1.4	Laminado en Caliente	5
2.1.5	Laminado en Frío	6
2.2	Corrosión.....	7
2.3	Recubrimientos	7
2.3.1	Recubrimientos de zinc	7
2.3.2	Galvanizado por inmersión en caliente.....	8
2.3.3	Electrocincado	9
2.3.4	Prefosfatizado.....	11
2.4	Embutido Profundo y Estirado.....	13
2.4.1	Ensayo de embutibilidad	13
3	Ensayo de Fricción.....	16
3.1	Descripción del ensayo	17
3.2	Análisis de ensayos previos.....	18
3.2.1	Ensayo 1.....	18
3.2.2	Discusión de resultados y conclusiones del Ensayo 1	24
3.2.3	Ensayo 2.....	26
3.2.4	Discusión de resultados y conclusiones del Ensayo 2	28

3.2.5	Ensayo 3.....	28
3.2.6	Discusión de resultados y conclusiones del Ensayo 3	33
4	Diseño y construcción	35
4.1	Diseño del dispositivo	35
4.2	Dimensionamiento.....	36
4.3	Construcción del dispositivo	37
5	Ensayos de fricción realizados	41
5.1	Materiales a ensayar.....	41
5.2	Metodología de ensayo	41
5.3	Resultados obtenidos	42
5.3.1	Coeficientes de roce	43
6	Conclusiones	45
7	Apéndice.....	46
7.1	Tabla de calibración de la celda de carga	51
8	Anexo 1 – Cálculos	52
8.1.1	Mordazas	52
8.1.2	Guías C	52
8.1.3	Placa.....	53
9	Bibliografía	54

1 Resumen

El objetivo de este trabajo es estudiar las propiedades de fricción de los aceros de bajo carbono para embutido profundo, preferentemente utilizados en la industria automotriz. Se busca analizar el comportamiento de los materiales con distintos tratamientos superficiales, como el electrocincado, galvanizado, galvanneal y también la chapa sin recubrimiento.

En el embutido intervienen diversas variantes que van desde las propiedades mecánicas propias de cada grado de acero hasta la rugosidad superficial definida en las últimas etapas de la fabricación. Se analizarán en conjunto ensayos de fricción realizados bajo distintas condiciones de lubricación, velocidad de ensayo y tipo de mordaza.

Finalmente, se busca diseñar y construir un dispositivo para realizar ensayos de fricción del tipo INLAND que pueda ser acoplable a la máquina de tracción "Instron" que se encuentra actualmente en el taller del Instituto Tecnológico de Buenos Aires.

2 Marco Teórico

Para poder estudiar el fenómeno de fricción entre la chapa y la matriz primero es necesario entender los diversos aspectos involucrados, que van desde la química propia del acero hasta el análisis de rugosidad, pasando por la fricción, la corrosión, la lubricación y la aplicación de recubrimientos.

2.1 Proceso de fabricación del acero

2.1.1 Alto Horno

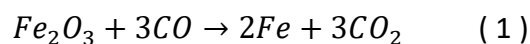
El objetivo principal del Alto Horno es obtener arrabio líquido a partir del mineral del hierro. En el mismo se introducen coque, fundentes y mineral de hierro, que puede estar en pellets o en sinter, tal como se puede observar en la siguiente ilustración..



Ilustración 1. Flujo de Procesos del Alto Horno [1]

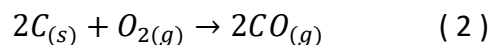
Desde la parte superior se cargan en el horno alternadamente capas de coque y mineral de hierro. Se insufla aire caliente mediante toberas en la parte inferior para lograr un flujo a contracorriente y aumentar la eficiencia de la reacción.

La principal reacción que ocurre en el mismo es la reducción del óxido de hierro debido a la presencia de monóxido de carbono.



El monóxido de Carbono proviene del aire precalentado que reacciona con el coque al salir de las toberas.

Las principales reacciones que ocurren en el mismo son:



Se obtiene una aleación de Hierro con 3,9 a 4,6% de Carbono y otros componentes de impurezas tales como: Azufre (proviene fundamentalmente de la ceniza del Coque, de la ganga del mineral de Hierro y de los fundentes), Fósforo (proviene del mineral de Hierro), Silicio (proviene de la ganga y de la ceniza de Coque) y manganeso (proviene del mineral de Manganeseo que se le carga al horno). A esta aleación comúnmente se la denomina Arrabio.

2.1.2 Aceración

Este proceso se puede dividir en dos etapas: Convertidor y Metalurgia Secundaria. En el convertidor se transforma el arrabio en acero líquido. Para ello es necesario eliminar las impurezas del baño metálico mediante una oxidación controlada: se inyecta oxígeno a alta presión para que reaccione con las impurezas formando óxidos que se depositan en la escoria. La metalurgia secundaria es un proceso complementario al convertidor, con el objetivo de realizar el ajuste del acero líquido en composición, limpieza y temperatura adecuado a las exigencias de la colada continua y a la calidad del producto final. Es un proceso estándar para la desulfuración, desgasificado, remoción de inclusiones y descarburación para aceros de ultra bajo carbono

2.1.3 Colada Continua

La Colada Continua, transforma el acero líquido proveniente de la Metalurgia Secundaria en acero sólido listo para ser transformado a los distintos procesos en la Laminación

En esta etapa se hace pasar el acero fundido a través de una sección rectangular para obtener los planchones de acero. Cuando el material pasa a través del molde, comienza a solidificar su superficie, lo que permite que el material conserve su forma. El molde se agita mecánicamente para evitar la adherencia del metal a las paredes del mismo. El acero se agita magnéticamente para garantizar una mayor homogeneidad en la solidificación. A medida que el material avanza, la solidificación avanza hacia el centro hasta que toda la sección se encuentra en estado sólido. La distancia desde la salida del molde hasta el punto en el que se alcanza la solidificación de toda la sección se conoce como *Longitud Metalúrgica*. Este método de solidificación, si bien requiere una instalación compleja, permite fabricar el acero con mínimos desperdicios (un alto rendimiento metálico).

2.1.4 Laminado en Caliente

Durante este proceso se transforma un planchón (proveniente de la colada continua) en una bobina laminada. Se hace pasar el planchón a través de unos rodillos a altas

temperaturas (alrededor de 900 °C) que lo deforman plásticamente. Al ser un proceso en caliente el material restaura sus propiedades originales de forma dinámica durante la deformación. Por esta razón se pueden realizar grandes deformaciones sin que el material se endurezca ni se rompa. Como contraparte, las tolerancias finales no son muy pequeñas y la superficie que se obtiene es de una rugosidad elevada.

2.1.5 Laminado en Frío

Se hace pasar la bobina a través de unos rodillos que la deforman plásticamente. Al ser un proceso en frío, el material no restaura sus propiedades y por lo tanto se produce endurecimiento por deformación. La bobina finaliza con una alta dureza y baja ductilidad. Se obtiene una superficie lisa y tolerancias dimensionales bajas. Las dimensiones obtenidas en esta etapa son las definitivas. Para su posterior uso en embutido, siempre es necesario un tratamiento de recocido para ablandar el material.

2.2 Corrosión

Es importante estudiar la corrosión ya que es una de las razones por las que se aplican recubrimientos. Estos recubrimientos son los que van a intervenir en las propiedades superficiales de la chapa.

De acuerdo a la norma DIN ISO 8044 la corrosión se define como:

“Interacción física entre un metal y el ambiente, lo cual resulta en cambios en las propiedades del metal, y podría resultar en una significativa pérdida de funcionalidad del metal, del ambiente o del sistema al que ambos pertenecen.”

Los materiales se encuentran en la naturaleza en su forma más estable, es decir, en estado oxidado. Al fabricar un metal, lo estamos sacando de su punto de equilibrio al entregarle cierta energía para reducirlo. Por esta misma razón, los metales van a tender a oxidarse para regresar a su estado de menor energía.

Existen dos formas de proteger a un acero contra la corrosión que se pueden definir de la siguiente manera.

1. Mediante un elemento que tenga mayor tendencia a oxidarse que el hierro
2. Utilizando una película protectora que impida el contacto del metal con el oxígeno

El recubrimiento de zinc representa el primer caso y se conoce como protección catódica. Al entrar en contacto con la atmósfera, el zinc se corroe preferentemente frente al hierro formando una capa protectora de óxido de zinc, evitando así el contacto entre el hierro y la atmósfera (ver ilustración 2). Un caso típico de lo segundo es una capa de pintura sobre el metal.

2.3 Recubrimientos

Existe una gran variedad de recubrimientos que se pueden aplicar a las chapas metálicas, de acuerdo a la utilidad posterior que se le de a la chapa. Entre los más comunes se pueden destacar el estaño, zinc, zincalum y cromo.

2.3.1 Recubrimientos de zinc

Se ahondará en este tipo de recubrimientos ya que son los más utilizados en la industria automotriz. La función primordial que cumple el zinc es proteger al acero contra la corrosión mediante lo que se conoce como “protección catódica”. El zinc tiene un potencial de reducción menor que el hierro y se oxida preferentemente frente a este último formando una capa protectora que impide el contacto entre el metal y la atmósfera. El recubrimiento de zinc, además, permite obtener una superficie lisa y estética, la cual es una característica

especialmente requerida en la industria automotriz y en la industria de electrodomésticos (línea blanca).

2.3.2 Galvanizado por inmersión en caliente

La inmersión en caliente es uno de los métodos más conocidos mediante el cual se recubre el acero con zinc. El proceso comienza con una bobina laminada en frío (LAF), la cual se hace pasar por unos hornos de recocido para reducir las tensiones producidas durante la laminación. Posteriormente se hace pasar la chapa por la pileta de zinc fundido bajo una atmósfera protectora (ver Ilustración 2).

A medida que la chapa se va recubriendo el nivel del baño metálico en el pote o crisol disminuye, por lo cual se debe reponer en forma constante mediante el agregado (en el caso de Siderar) de pre aleados, de 1 tonelada de peso aproximadamente.



Ilustración 2. Pileta de Inmersión de Planta Canning

Al finalizar el baño de zinc, la chapa pasa por unas navajas de aire que regulan el espesor del recubrimiento. Este método genera una superficie lisa pero con un espesor heterogéneo que depende de la rugosidad de la chapa base. Esta es una de las principales razones por las que el galvanizado realizado en la planta de Canning no es válido en términos de normas para la industria automotriz pero sí lo es para la construcción (menos exigente). Cabe aclarar que la línea de Canning no fue diseñada para hacer recubrimientos con la calidad superficial que exige la industria automotriz (se fabrican chapas para construcción). Para ello se requiere un horno de recocido especial, un control del espesor del recubrimiento mucho mas preciso entre otras cosas.

El galvanizado tiene una rugosidad requerida. Un indicador de la calidad superficial del recubrimiento se conoce como flor de lámina, que se determina mediante el tamaño de los cristales de zinc formados.

2.3.3 Electrocinchado

Es un proceso en el cual se hace pasar la chapa por una serie de celdas en las cuales se realiza la electrodeposición del zinc.



Ilustración 3. Imagen de una Bobina Electrocinchada de la planta de Florencio Varela

Inicialmente se realizan una serie de tratamientos para dejar a la chapa en condiciones óptimas para ingresar en las celdas (ver Ilustración 4).

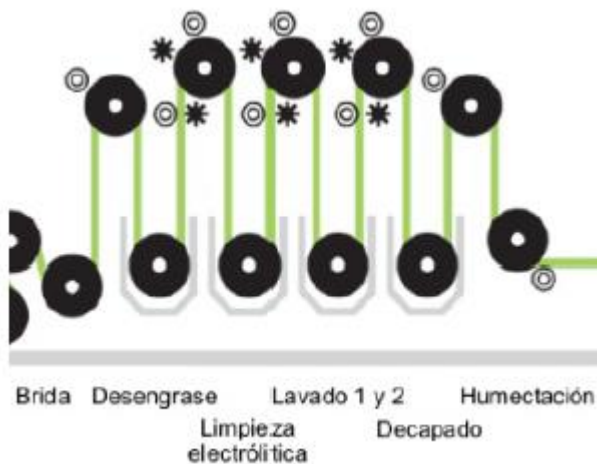


Ilustración 4. Sección de Pretratamiento de la LEZ [2]

Luego del pretratamiento, el material ingresa en la zona de deposición electrolítica que consiste en una serie de celdas electroquímicas como la que se observa en la Ilustración 5.

La aplicación del recubrimiento se realiza mediante el principio de electrodeposición. En cada celda electroquímica se colocan unos ánodos con polarización positiva y la chapa se conecta al polo negativo a través de unos rodillos conductores. Se pueden utilizar uno o dos ánodos dependiendo de cuántas caras se quieran recubrir. Tanto la chapa como los ánodos se encuentran sumergidos en una solución de sulfato de zinc (ZnSO_4) que actúa como conductor de los iones Zn^{2+} . De esta forma, al circular corriente se irá depositando el Zn de la solución en la chapa. Según las leyes de Faraday se cumple que:

$$96490 [A s] \rightarrow 32,69 [gr Zn] \quad (3)$$

Si se utilizan ánodos solubles de Zn, estos se irán consumiendo a medida que avanza la deposición y deberán ser sustituidos cada vez que se terminan. En la planta de Siderar en Florencio Varela se utilizan ánodos insolubles de titanio que se aprovechan para catalizar la reacción mientras que el zinc deberá ser repuesto continuamente en la solución de ZnSO_4 . Estos últimos tienen una duración aproximada de un año.

Por lo tanto, como se puede inferir a partir de la ecuación (3), el espesor final del recubrimiento (se busca que esté entre entre los $5\mu\text{m}$ y los $10\mu\text{m}$) va a quedar determinado por: la velocidad de avance de la chapa (afecta los segundos que pasa la chapa dentro de la celda), la corriente impuesta en cada celda, y la cantidad de celdas en serie.

Mediante este método de electrodeposición se logra una gran adherencia entre el metal y el recubrimiento y una gran uniformidad en el espesor ya que el zinc se deposita de manera tal que se copia la superficie del metal. Esta diferencia en el sistema de deposición es fundamental ya que es una de las principales razones por las que el electrocincado tiene algunos problemas durante el conformado. A diferencia de la inmersión en caliente, en este caso es necesario un tratamiento de recocido previo para ablandar las tensiones generadas en el laminado en frío. También se realiza previamente el temper o skin-pass

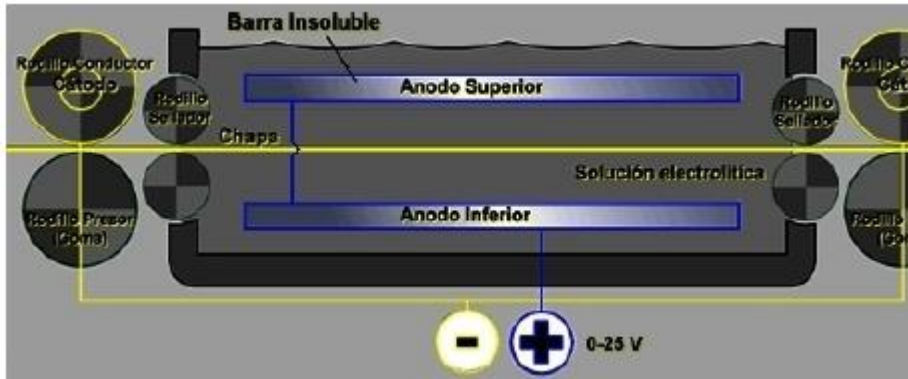


Ilustración 5. Esquema de una Celda Electroquímica [2]

Una vez aplicado el recubrimiento, hay una serie de post-tratamientos que se suelen aplicar al material para proteger a la capa de zinc (Ilustración 6). Uno de los más comunes es el fosfatizado.

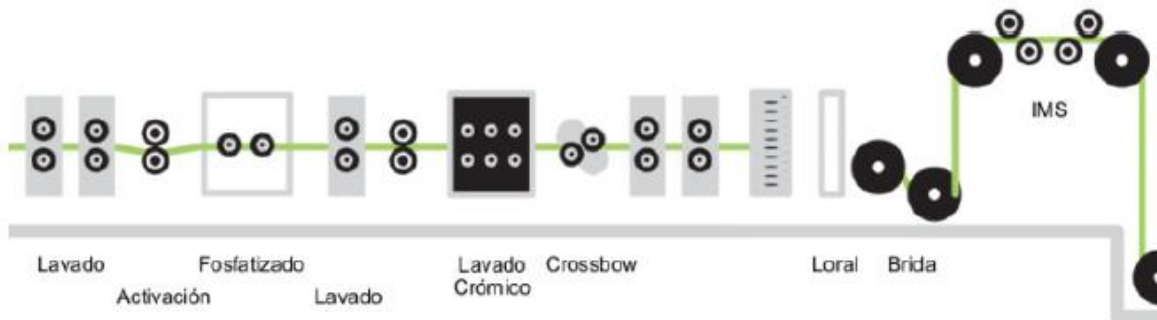


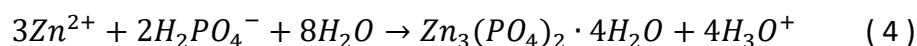
Ilustración 6. Diagrama de la Sección de Postratamiento de la Planta Florencio Varela [2]

2.3.4 Prefosfatizado

En la Ilustración 7 se observan los tratamientos realizados sobre una lámina luego de la aplicación del recubrimiento (en este caso galvanizado). Como se puede ver, el prefosfatado es un tratamiento que se aplica justo después del recubrimiento. Durante el mismo, se deposita una capa de fosfato sobre el recubrimiento. Esta etapa es fundamental, ya que es la que define algunas de las propiedades superficiales finales de la chapa. El proceso de fosfatado consiste de varias etapas.

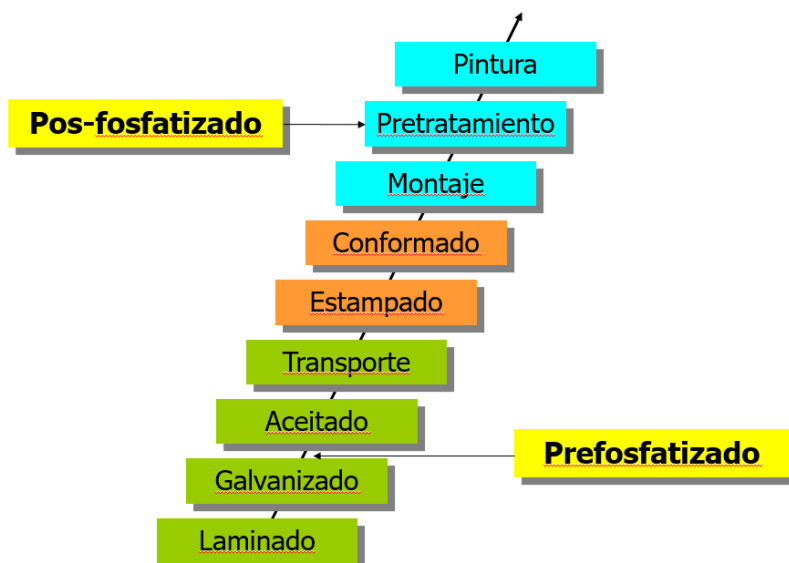
1. Decapado para eliminar la capa de óxido y limpiar la superficie
2. Enjuague de la superficie para eliminar el ácido del decapado
3. Activación para dejar la superficie lista para reaccionar con el fosfato
4. Fosfatizado
5. Enjuague y secado
6. Aceitado

La reacción de la deposición es



Esto permite proteger al recubrimiento contra la corrosión aumentando la vida útil del mismo. Además, otorga grandes ventajas en el conformado, ya que mejora la fricción entre la chapa y la matriz permitiendo así obtener formas más complejas sin romper el material. Por otra parte, la capa de fosfato de zinc funciona como adherente entre el recubrimiento y la pintura (en el caso de que se requiera pintar la placa posteriormente). Se puede aplicar como solución, en general fosfato de zinc, o también en forma de spray.

Las propiedades pueden mejorar si se varía la composición química de la solución. Una opción interesante es el fosfatizado tricatónico, el cual se cree que podría mejorar ciertas propiedades del conformado simplemente cambiando los componentes de la solución. La diferencia con la ecuación (4) está en que se deposita



17

Ilustración 7. Diagrama de proceso y opciones de fosfatizado [9]

Hay un segundo método de aplicación del fosfatizado que consiste en aplicar el fosfato en seco en forma de lámina mediante unos rodillos. Se lo conoce como fosfatizado “Dry-in-Place”. Este método, además de otorgar una mejor protección contra la corrosión, permite obtener una buena lubricación en seco, evitando así el uso de aceites. La razón por la que no se aplica este tratamiento en la planta de Siderar de Florencio Varela es porque se necesitaría una gran inversión en la línea para colocar los rodillos y demás maquinaria. Además, por esa misma razón, es complicado obtener una muestra de este tipo para poder ensayarla.

2.4 Embutido Profundo y Estirado

El embutido y el estirado son procesos de conformado cuyos objetivos son transformar una chapa plana en una superficie alabeada o recipiente. El embutido es una operación en la que el accionar de un punzón somete a una parte de la chapa a tensiones de tracción que inducen a las zonas periféricas de la misma a introducirse en la garganta de una matriz. Se tracciona en la dirección radial y se comprime en la dirección circunferencial.

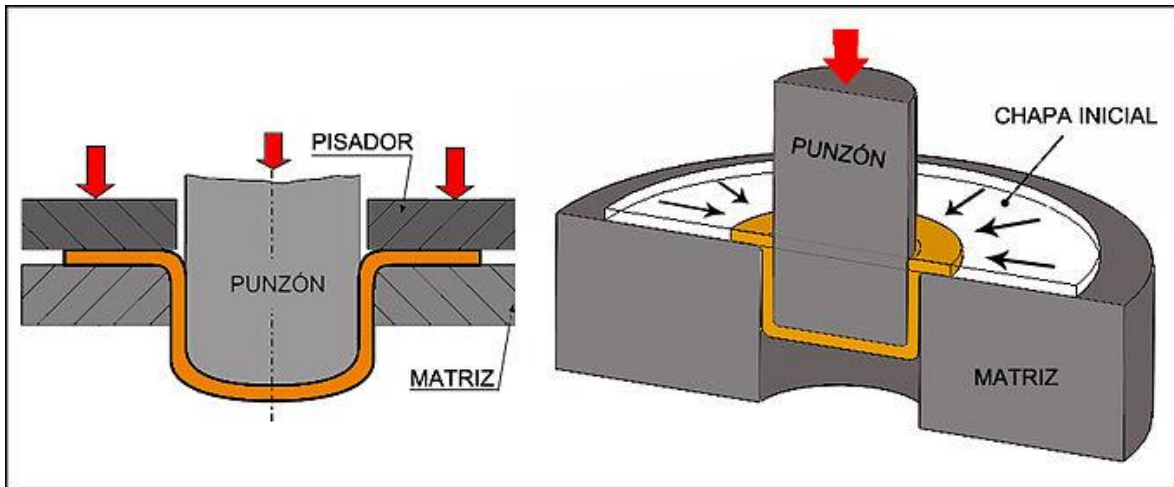


Ilustración 8. Esquema del proceso de embutido profundo [10]

Cuando no hay compresión en la dirección circunferencial, la operación es de estirado. Una operación típica en la que el material se somete a embutido es el conformado de una copa cilíndrica de fondo plano mientras que en el otro extremo se tienen operaciones de estirado biaxial en el que dos de las deformaciones principales son de tracción. Resumiendo, en el embutido se generan tensiones principales de compresión y tracción mientras que en el estirado se generan tensiones de tracción exclusivamente.

2.4.1 Ensayo de embutibilidad

La embutibilidad es la capacidad de un material a ser deformado plásticamente y adoptar la forma de una matriz de embutido.

En primer lugar, la capacidad de deformarse depende del porcentaje de carbono y otros aleantes, ya que estos afectan la ductilidad del acero y por lo tanto su capacidad de absorber energía por deformación plástica.

En segundo lugar, se ve afectada por la fricción entre la chapa y la matriz de embutido, pues durante el proceso de deformación, el acero debe deslizarse sobre la matriz para poder adoptar su forma. Si el coeficiente de fricción es muy elevado, la chapa no va a poder deslizarse y las tensiones generadas pueden llegar a producir fisuras en el metal. Por otra

parte, si el coeficiente de fricción es muy bajo (por el uso excesivo de aceites o una baja presión del pisador), el material no se va a deformar plásticamente y en su lugar se pueden producir arrugas.

La fricción debe estar en un óptimo que permita al material deslizarse en la matriz y al mismo tiempo permita fijarlo con la prensa para evitar las arrugas.

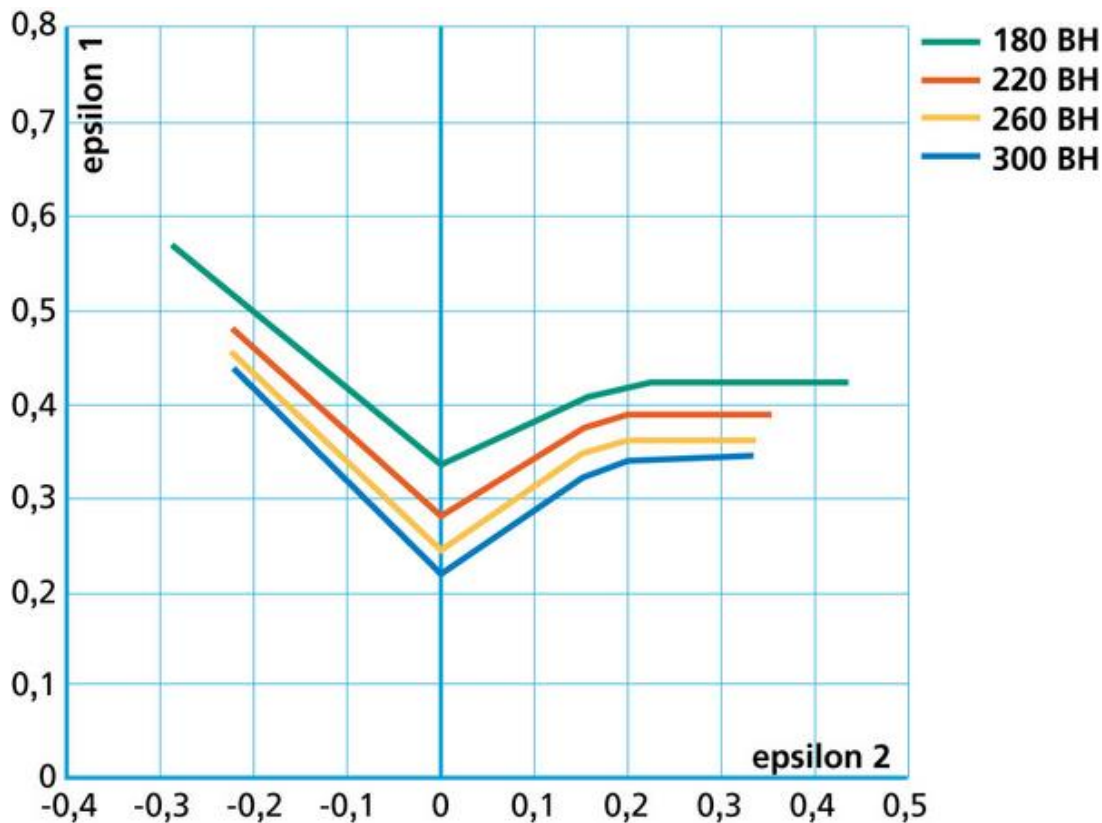


Ilustración 9. Ejemplo de un diagrama límite de conformado. El área debajo de las curvas se considera zona segura. [9]

En la Ilustración 9 se muestran las curvas límites de conformado para distintas durezas (. 180, 220, 260 y 300 BH). Del lado izquierdo del gráfico se obtiene lo que se conoce como estirado porque una deformación es positiva y la otra es negativa. Del otro, se observa embutido porque ambas deformaciones son positivas. Por debajo de estas curvas sabemos que el material no se romperá.

Para estimar el estado de deformación de una pieza, se toma una muestra y se le realiza previamente un grillado circular. Luego se aplica el estampado para obtener la pieza final y se mide la deformación mayor y la deformación menor en cada círculo. En función de esas mediciones se ubican esos dos valores en el diagrama límite de conformado. En caso de que alguno de los puntos quede por encima de la curva se tienen dos opciones: se modifica el

material por uno de mayor conformabilidad (variando el % de carbono) o se rediseña la pieza para evitar el punto crítico de deformación.

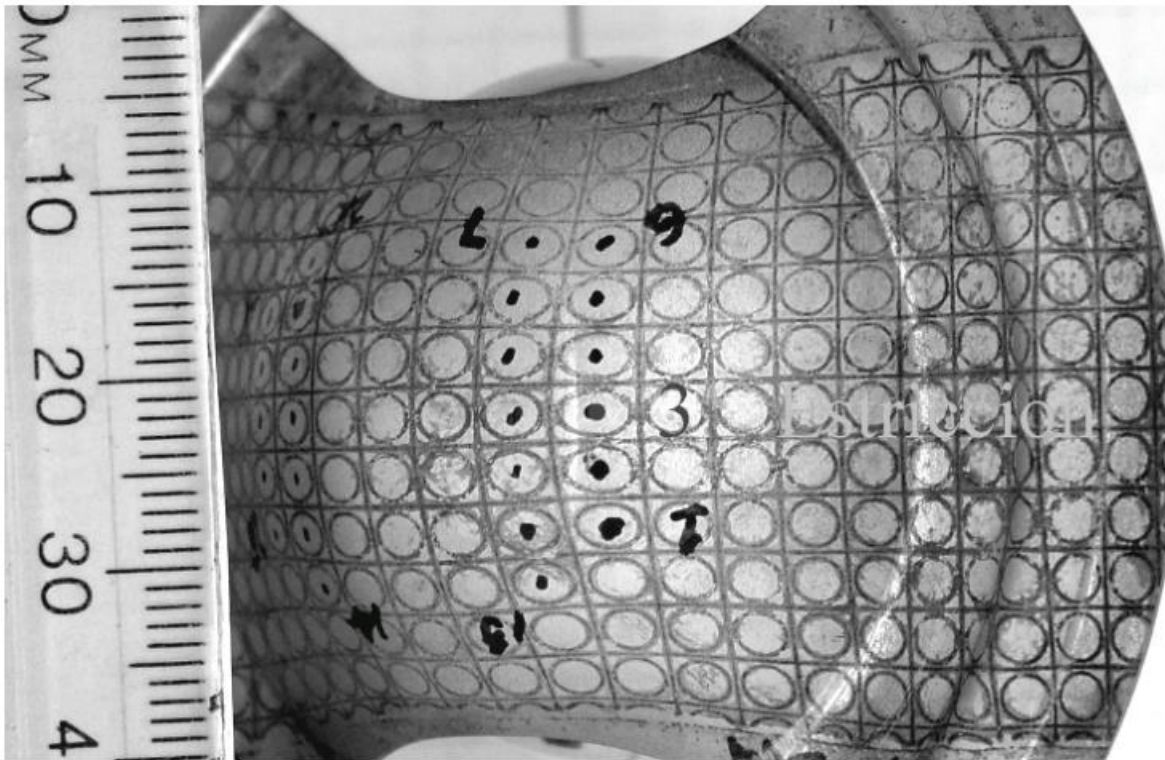


Ilustración 10. Ejemplo de un ensayo de conformabilidad. Con la ayuda de los círculos, se mide la deformación en las 2 direcciones

En la Ilustración 10 se observan los círculos marcados sobre la chapa utilizados para medir las deformaciones de cada punto, y las zonas en donde ocurre estricción (reducción del espesor).

Otra variable que interviene en el estampado es la fricción entre la chapa y la matriz. Se busca un óptimo que garantice un buen deslizamiento de la chapa, al mismo tiempo que permita fijar los bordes de la chapa a la prensa y evitar que se produzca el arrugado.

3 Ensayo de Fricción

El ensayo de fricción para chapas de acero con el que se trabajará en este informe es el de tipo INLAND, el cual generalmente se aplica para evaluar el comportamiento de los aceites y lubricantes.

De acuerdo con la recomendación Renault, se debe determinar el coeficiente de roce μ entre una probeta rectangular que se hace deslizar entre una mordaza plana y una semicilíndrica sometida a una fuerza normal N (Ilustración 11)

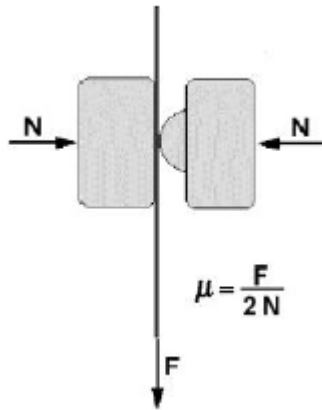


Ilustración 11. Esquema del Ensayo de fricción tipo INLAND [4]

Actualmente, en Argentina existe una sola máquina diseñada para realizar estos ensayos y se encuentra en el Laboratorio de Metalurgia de la Universidad Nacional del Sur (ver Ilustración 12).

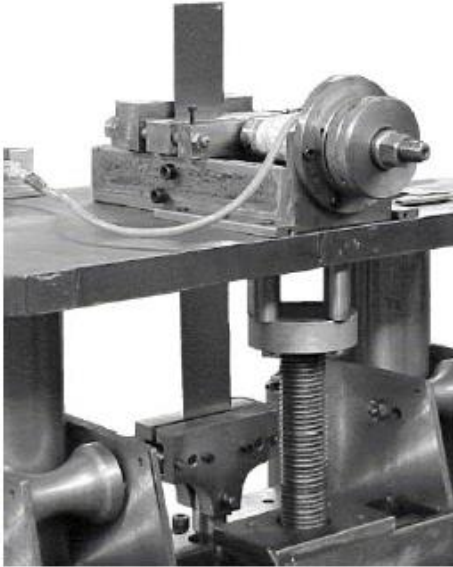


Ilustración 12. Fotografía de la Máquina de Ensayo [4]

Esta máquina fue la que se utilizó en los ensayos que se detallan más adelante.

Como se mencionó anteriormente, el objetivo de este proyecto es diseñar una máquina similar aprovechando la capacidad de la máquina de tracción disponible en el taller. La máquina de tracción permite medir la fuerza requerida al desplazarse a velocidad constante, y de esta manera se obtiene el diagrama de tracción característico. Para realizar el ensayo de fricción, hace falta reemplazar la mordaza inferior de la máquina de tracción por un sistema de mordazas similar a la de la Ilustración 10 .

3.1 Descripción del ensayo

El ensayo consiste en hacer deslizar una probeta rectangular plana entre dos probetas, una plana y otra semicilíndrica, aplicando una fuerza normal N . Midiendo la fuerza F ejercida para deslizar a velocidad constante, se calcula el coeficiente de roce entre el material y las mordazas ver (Ilustración 10).

Los resultados de este ensayo sirven para comparar los comportamientos en fricción bajo distintas condiciones de lubricación.

De acuerdo con la recomendación Renault, las probetas deben ser de 400mm x 50mm y se las debe hacer deslizar a una velocidad lenta de 20 [mm/min], para así lograr las condiciones más severas para el lubricante, (teniendo en cuenta que a altas velocidades el coeficiente de roce es menor que a bajas velocidades). La fuerza normal N aplicada es de 5000N y el radio de la mordaza es de 10mm. Se realizarán un total de 10 pasadas por cada probeta para analizar la evolución a lo largo de las mismas.

3.2 *Análisis de ensayos previos*

Como parte del estudio de la fricción en chapas para estampados, a continuación, se analizan los resultados obtenidos en ensayos realizados en la Universidad Nacional del Sur.

3.2.1 **Ensayo 1.**

“Comparación de coeficientes de fricción en ensayos con diferentes geometrías de herramienta” (Ref. 4)

El primero de los ensayos que se tomó como referencia fue el realizado en Bahía Blanca, en la Universidad Nacional del Sur, a cargo de J. Instausti, L. Iurman y A. Lucaioli y otros.

En el mismo se realizaron ensayos de fricción en chapas electrocincadas para comparar el efecto que provoca utilizar dos mordazas planas versus una mordaza plana y una cilíndrica como se recomienda en el ensayo Inland tradicional. El ensayo con ambas mordazas planas intenta simular la situación en la que la chapa se desliza entre la matriz y el sujetador mientras que el segundo se asemeja más al caso en el que la chapa debe deslizarse sobre algún radio de la matriz de embutido.

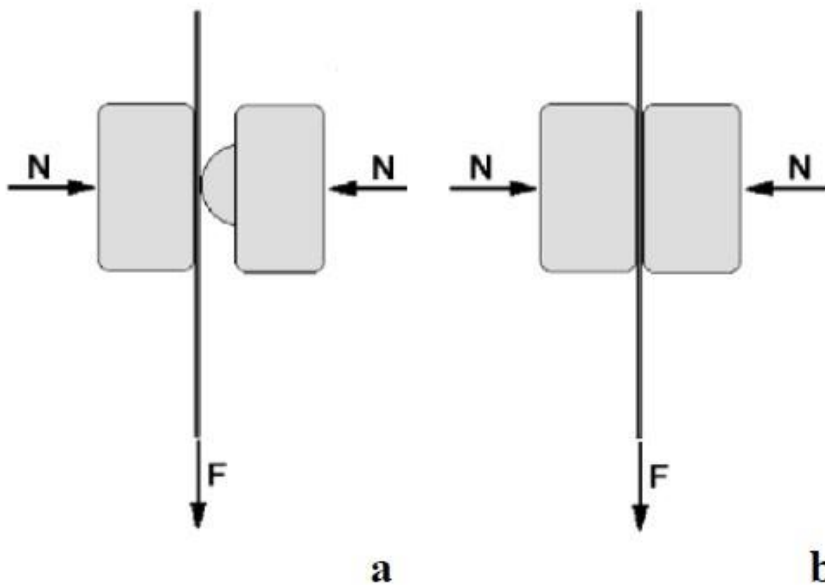


Ilustración 14. Dos posibilidades para realizar el ensayo: a) Mordaza semicilíndrica b) Mordazas Planas [4]

Además, se realizaron ensayos con dos velocidades lenta (20 mm/min) y rápida (280 mm/min) y se aplicaron dos tipos de aceites diferentes. La Tabla 1 muestra las características principales de las chapas ensayadas y la Tabla 2, las propiedades de los lubricantes

Tabla 1 Características de los materiales ensayados

Muestra	8	35	71
Condición	Alta exigencia superficial. Muy alta embutibilidad.	Exigencia superficial estándar. Alta embutibilidad.	Exigencia superficial estándar. Muy alta embutibilidad.
Tipo de Recubrimiento	Orgánico Sobre Electrocoado	Electrocoado	Electrocoado
Espesor de chapa [mm]	0.77	0.71	0.87
Espesor de Recubrimiento [mm]	9 (ambas caras)	7.5 (ambas caras)	9 (ambas caras)
Ra [μm]	1,70 ± 0,02	1,30 ± 0,02	1,23 ± 0,02
Rt [μm]	12,7 ± 0,4	9,0 ± 0,2	10,8 ± 0,4
Densidad de Crestas [crestas/pulg.]	94	87	67
Microdureza superficial [HV(107grf)]	39 ± 2	40 ± 4	39 ± 2
Orientación Cristalina del Recubrimiento	Predominio de planos basales	Predominio de planos bipiramidales y prismáticos	Predominio de planos bipiramidales y prismáticos

Tabla 2 Propiedades de los Lubricantes

Aceite		Prelube	Aceite mineral
Descripción		Aditivos anticorrosivos disueltos en aceite mineral	Aceite mineral con aditivos de EP(TSD 996)
Color	-	Amarillento oscuro	Amarillento oscuro
Densidad a 15 °C	gr/ml	0.88	0.91
Viscosidad a 40°C	cSt	26	-
Viscosidad Redwood	seg	-	70 a 80
Viscosidad a 21°C	cSt	67	764
Punto de inflamación	°C	140	215
Ensayo de 4 bolas	N	4000	-
Cámara de humedad	horas	480	-
Cámara de Rocío salino (vertical)	horas	72	-
Acidez orgánica KOH/gramo máx	mg	-	0.10
Acidez inorgánica	-	-	ninguna

A continuación, se muestran los resultados de fuerza en función del tiempo para ensayos realizados a velocidad constante (lenta y rápida) y mordazas planas o semicilíndrica (Inland).

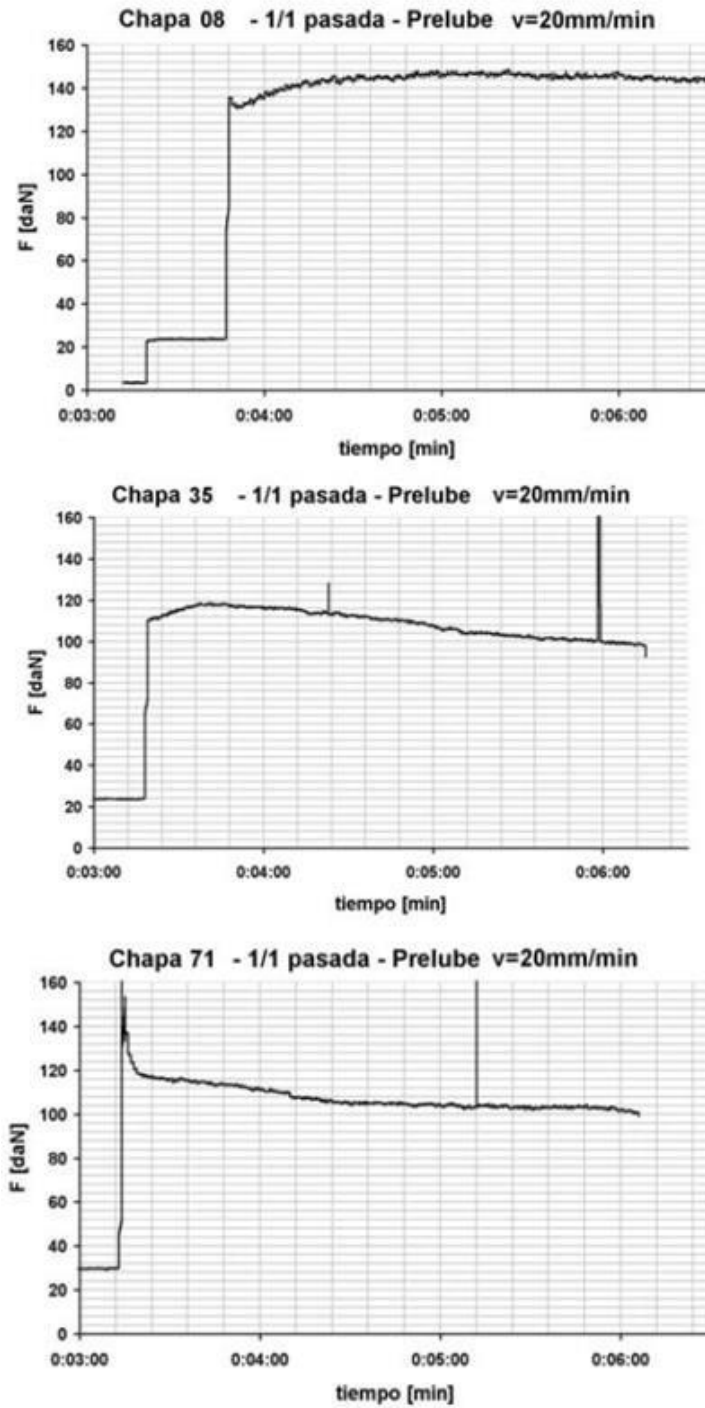


Ilustración 13. Resultados de Fuerza vs tiempo en las 3 muestras. Se utilizó una mordaza semicilíndrica y una mordaza plana a velocidad lenta [4]

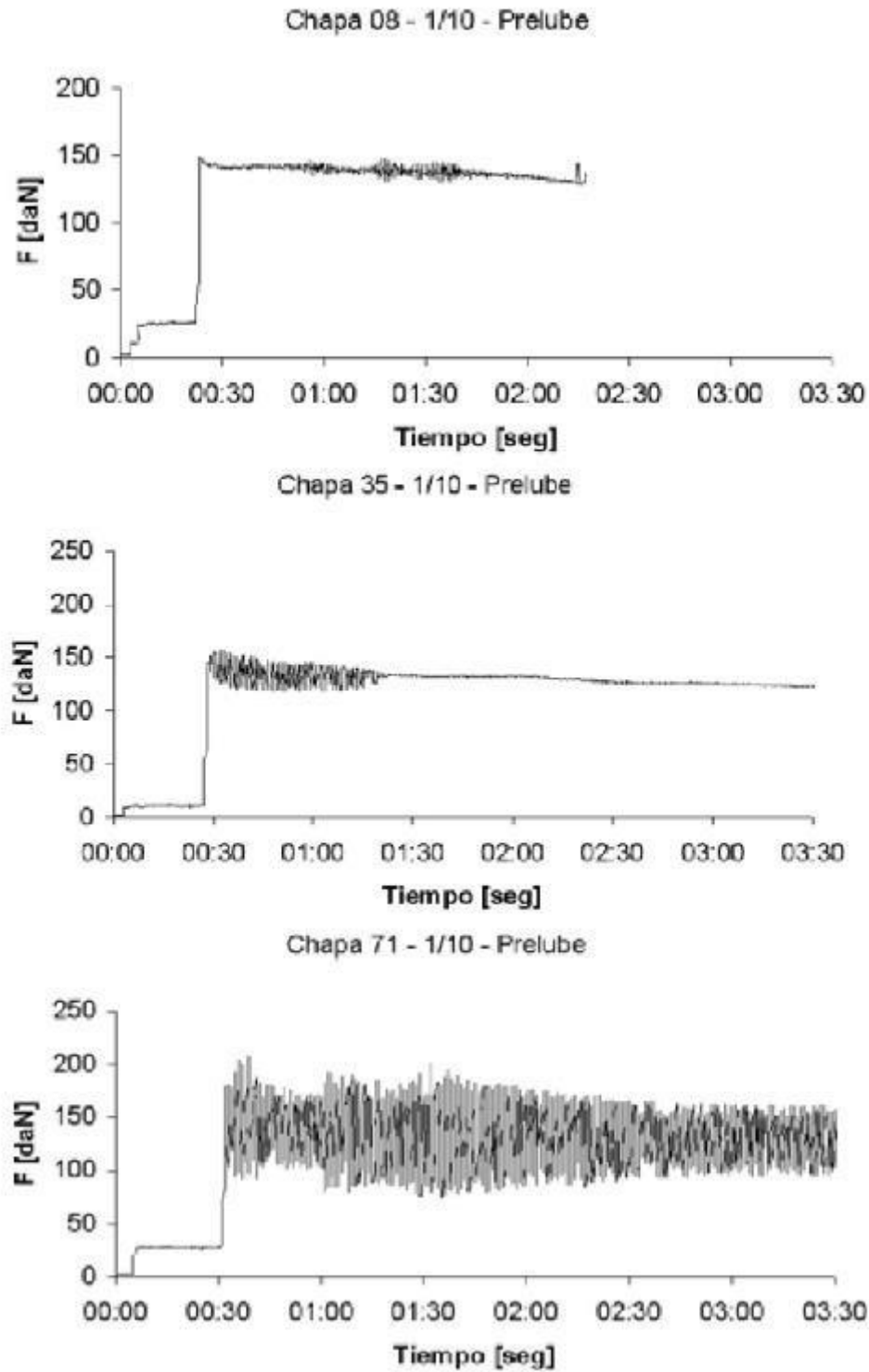


Ilustración 14. Resultados de fuerza vs tiempo en las 3 muestras. Se utilizaron mordazas planas a velocidad lenta [4]

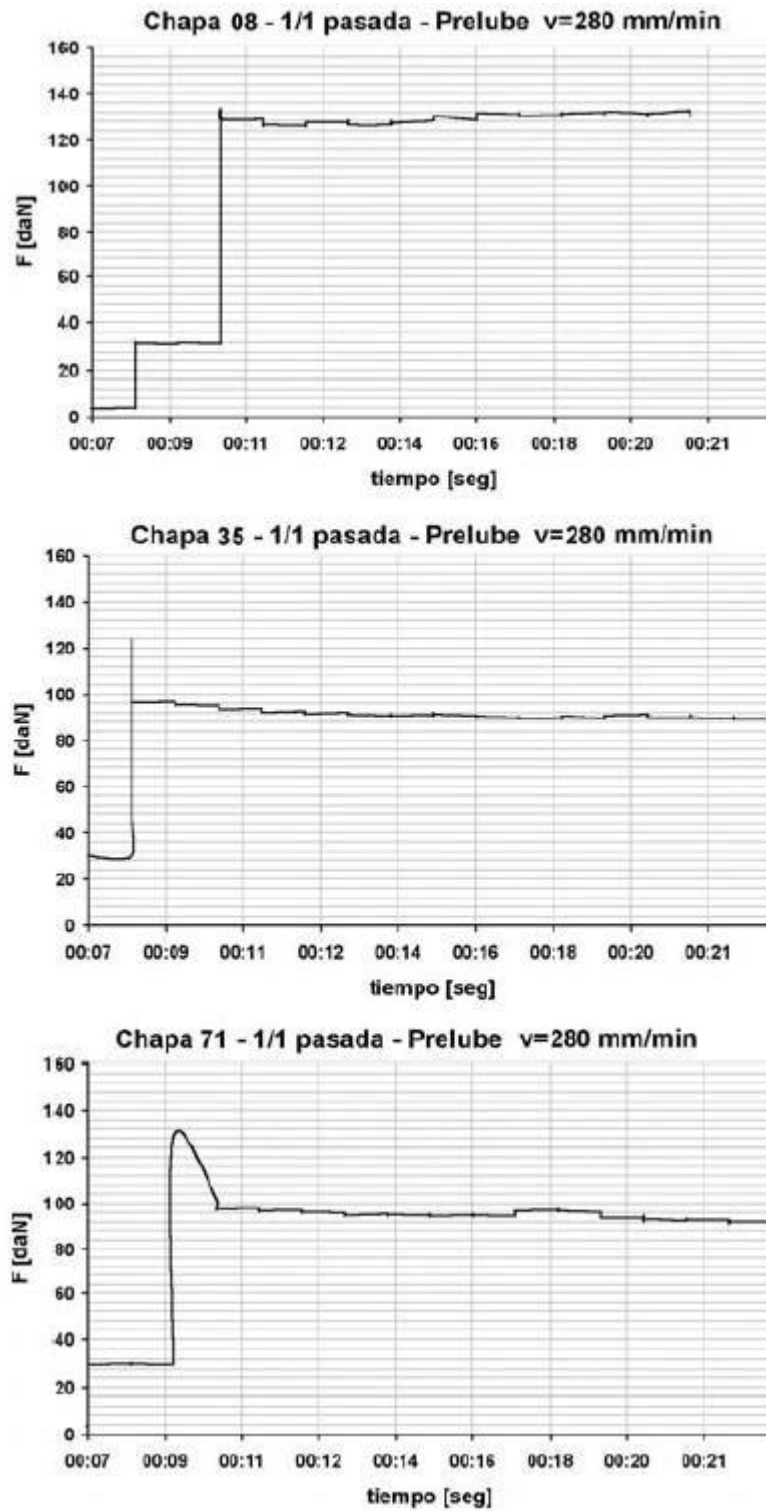


Ilustración 15. Resultados de Fuerza vs tiempo en las 3 muestras. Se utilizó una mordaza semicilíndrica y una mordaza plana a velocidad rápida [4]

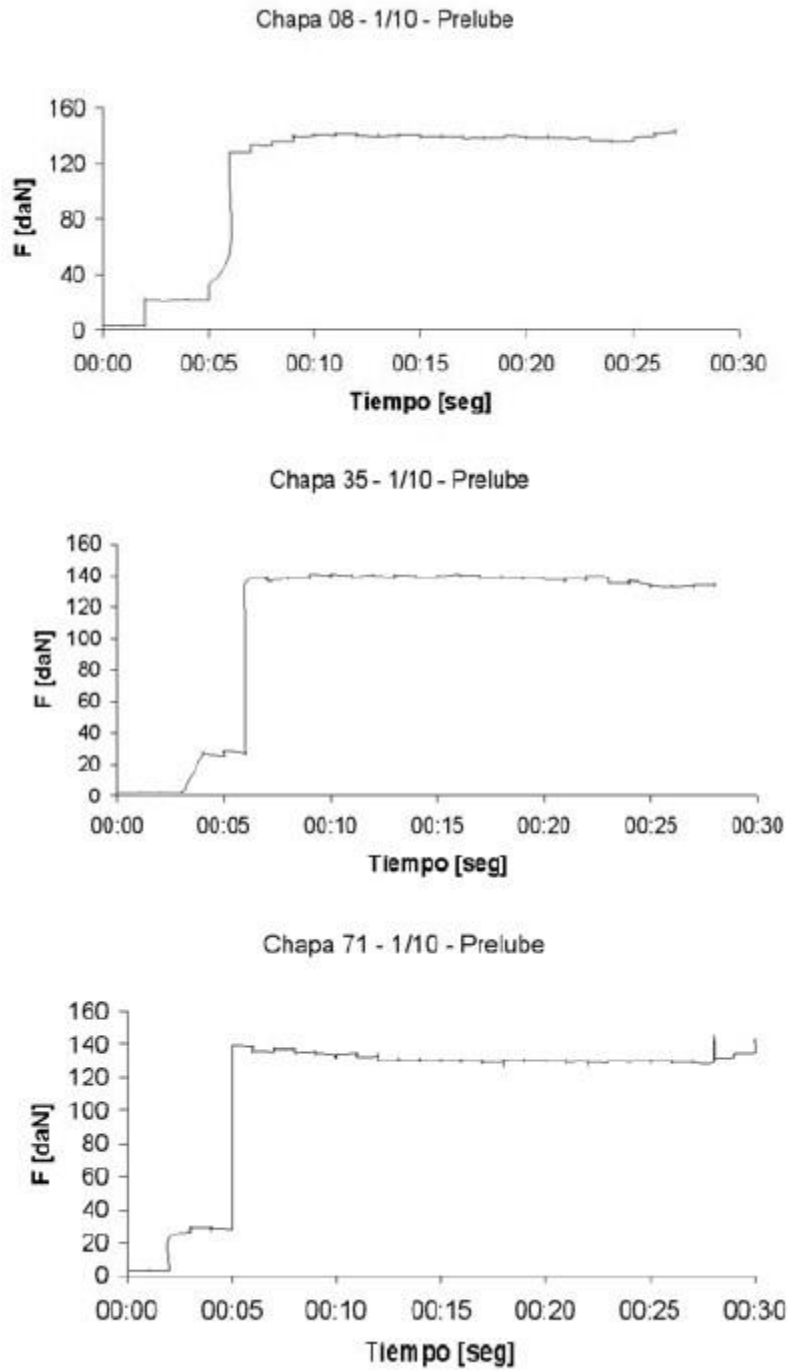


Ilustración 16. Resultados de Fuerza vs tiempo en las 3 muestras. Se utilizaron mordazas planas a velocidad rápida. [4]

Tabla 3. Coeficientes obtenidos en el Ensayo 1

Herramienta	Cilíndrica-Plana		Plana-Plana			
Aceite	Prelube		Prelube		TSD 996	
Velocidad [mm/min]	20	280	20	280	20	280
Muestra	8	0,14	0,13	0,135	0,129	0,093
	35	0,1	0,09	0,123	0,109	0,087
	71	0,1	0,09	0,135	0,129	0,071

3.2.2 Discusión de resultados y conclusiones del Ensayo 1

Los picos observados en la Ilustración 13 se deben al agarre que se produce entre la chapa y la matriz. Este fenómeno se ve potenciado en la Ilustración 14 en donde se produce un fenómeno de agarre-deslizamiento intermitente. Esto da lugar a esos cambios bruscos en la fuerza aplicada y hacen que la determinación de un coeficiente de fricción sea imprecisa.

En general se observa un leve decaimiento de la fuerza aplicada a medida que avanza la chapa, aunque prácticamente se podría considerar uniforme.

Los coeficientes de fricción se calcularon a los 50mm de carrera de deslizamiento.

En los ensayos de velocidad rápida no se observan fenómenos de agarre.

Analizando la Tabla 3 se puede apreciar que para el caso de los ensayos del tipo Inland, el coeficiente disminuye levemente al aumentar la velocidad. Al mismo tiempo se puede apreciar una correlación entre el coeficiente de roce y la orientación cristalina ya que las chapas 35 y 71 tienen una orientación cristalina similar (ver Tabla 1)

En los ensayos realizados con herramientas planas y aceite Prelube no se observa una correlación definida entre el coeficiente de fricción y la velocidad del ensayo. Cabe recordar que en el ensayo realizado a velocidad lenta se produjo el fenómeno de agarre-deslizamiento, lo cual generó imprecisiones en la estimación del coeficiente.

En los ensayos con TDS 996 nuevamente se observa una disminución del coeficiente de fricción al aumentar la velocidad. No se observa en este caso una dependencia con la orientación cristalina.

Esta dependencia del coeficiente con la velocidad del ensayo puede explicarse mediante los distintos regímenes de lubricación. A velocidades lentas se produce lo que se conoce como lubricación límite (ref[3] pag 36). En este caso existe contacto físico entre la herramienta y las asperezas más sobresalientes de la chapa. A mayores velocidades se

producen regímenes de lubricación mixta, que es una combinación de régimen de capa gruesa y lubricación límite. Esto se confirma por el orden del coeficiente de fricción observado: un coeficiente mayor a 0,10 se considera como régimen de lubricación límite mientras que los valores entre 0,01 y 0,10 se pueden tomar como lubricación mixta.

Finalmente, se recomienda realizar un mayor número de repeticiones para tener una mayor confiabilidad en los resultados.

3.2.3 Ensayo 2.

“Comparación de coeficientes de fricción en ensayos tipo Inland sobre chapas de acero desnudas y recubiertas” (Ref. 6)

Este estudio también fue realizado en la Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca a cargo de a. O. Lucaioli y J. W. Insausti entre otros.

En esta ocasión se buscó estudiar las diferencias en el comportamiento tribológico entre las superficies electrocincadas y las superficies sin recubrimiento (siempre tomando como base aceros de bajo carbono laminados en frío.

Los coeficientes de las chapas electrocincadas se obtuvieron de los ensayos realizados en el “Ensayo 1”.

Para obtener los coeficientes de las superficies sin recubrimiento (LAF) fue necesario realizar una nueva tanda de ensayos. La Tabla 4 muestra las características de las chapas A y B correspondientes a los nuevos ensayos. Todos los ensayos de fricción realizados en este caso fueron del tipo Inland.

Tabla 4. Características de las chapas sin recubrimiento utilizadas en el ensayo.

Chapa	Espesor [mm]	Dureza HV5	Tamaño de grano ASTM	Ra±0,1 [μm]	Rt ±1,1 [μm]
A	0,97	93,4	7-8	1,14	9,4
B	0,91	93,4	6	0,89	7

Nota: un mayor valor de tamaño de grano ASTM indica que tengo mayor cantidad de granos por unidad de superficie con lo cual esto implica un menor tamaño de grano.

La rugosidad fue determinada por un rugosímetro de palpador inductivo y estos resultados se complementaron con un análisis metalográfico con microscopio electrónico de barrido.

A continuación, se muestran los diagramas de Fuerza vs tiempo para los ensayos realizados a baja velocidad.

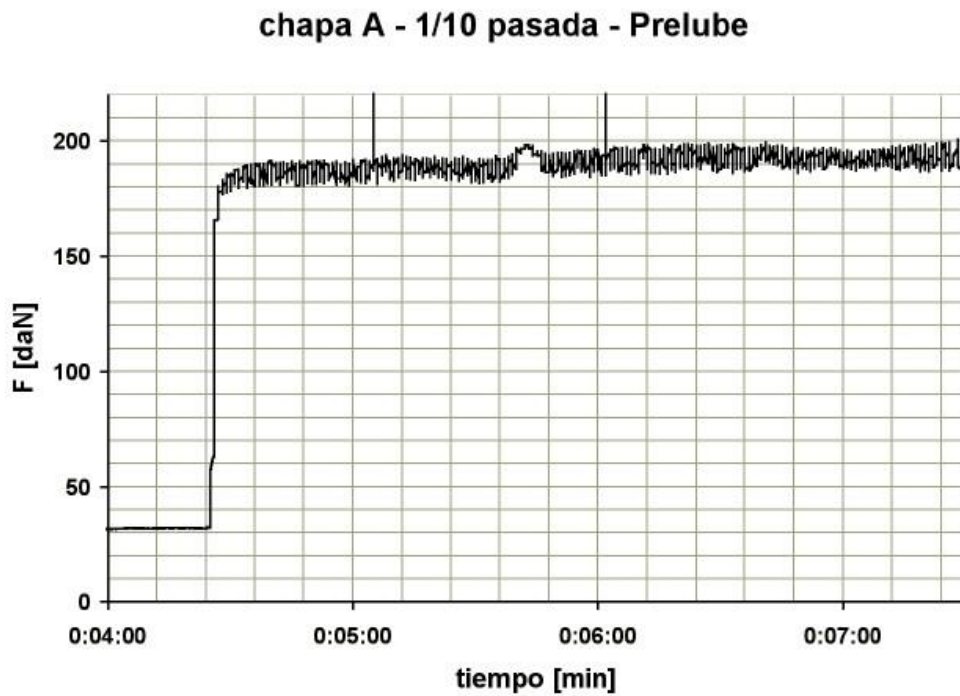


Ilustración 17. Curva de Fuerza vs tiempo para la Chapa A [6]

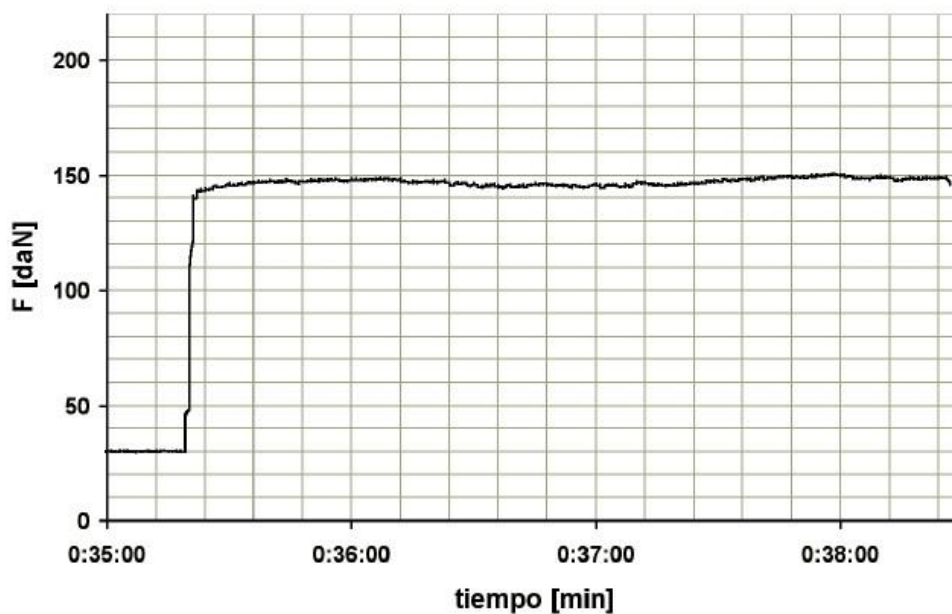


Ilustración 18. Curva de Fuerza vs tiempo para la Chapa B [6]

En la Tabla 5 Se muestran los coeficientes de fricción obtenidos. Para mayor facilidad en la lectura y análisis, también se incluyen los coeficientes obtenidos previamente en los ensayos con chapas recubiertas (ELZ).

Tabla 5. Coeficientes de fricción para las chapas sin recubrimiento (A y B) y ELZ (08, 71 y 35)

Chapa	A	B	08	71	35
Baja Velocidad	0,19	0,15	0,14	0,10	0,10
Alta Velocidad	0,16	0,16	0,13	0,09	0,09

3.2.4 Discusión de resultados y conclusiones del Ensayo 2

En primer lugar, se observa un mayor coeficiente de roce para las superficies sin recubrimiento tanto a baja como a alta velocidad.

Los valores obtenidos de μ para todos los casos indican un régimen de lubricación límite.

En casi todos los casos se observa una disminución muy leve del coeficiente de roce al aumentar la velocidad del ensayo. En la chapa B se produce un ligero incremento.

En la Ilustración 17 se puede apreciar nuevamente el fenómeno de agarre-deslizamiento que genera esa curva sombreada característica.

Entre A y B la diferencia se marca fundamentalmente a bajas velocidades. Observando la Tabla 6 vemos que la gran diferencia que hay entre ambas muestras es la rugosidad. Es posible que el lubricante utilizado (en todos los casos Prelube) no alcance a cubrir las crestas cuando el deslizamiento relativo es bajo, con lo cual se produce un contacto íntimo entre la chapa y la mordaza.

3.2.5 Ensayo 3.

“Ensayos de fricción tipo Inland – Instituto Argentino de Siderurgia” (Ref 5)

Se realizaron ensayos del tipo Inland con una probeta semi-cilíndrica y una plana.

Se estudiaron 2 chapas de acero de bajo carbono, una sin recubrimiento y otra electrocincada. Además, se estudió el efecto de 4 lubricantes, y se realizaron pruebas a baja y alta velocidad. Esto dio lugar a un total de 12 ensayos diferentes.

Las características de los materiales y aceites utilizados se listan a continuación.

Tabla 6. Características de los materiales ensayados

Características	Sin recubrimiento	Electrocincada
Grado de Acero	7103	7909
Calidad	EEP -PC	RLF - 220
Espesor [mm]	0,8	0,75
Dureza HV10	78	99
Fluencia [Mpa]	144	230
Rotura [Mpa]	274	381
Alargamiento [%]	49	34
Ra [μm]	1,04	1,3
Rz [μm]	6,66	7,74
Rq [μm]	1,29	1,58
Rp [μm]	3,6	2,72
Pc [Picos/cm]	9	52,74

Tabla 7. Propiedades de los aceites utilizados

Aceite	Viscosidad a 40°C (cst)
LAF (específico)	21
ELZ (específico)	31
Lavadora Nuevo (LN)	8
Lavadora Recirculado (LR)	10,5

Resultados obtenidos

Se muestra la variación de la rugosidad y el coeficiente a lo largo de las 10 pasadas que se le hicieron a las probetas

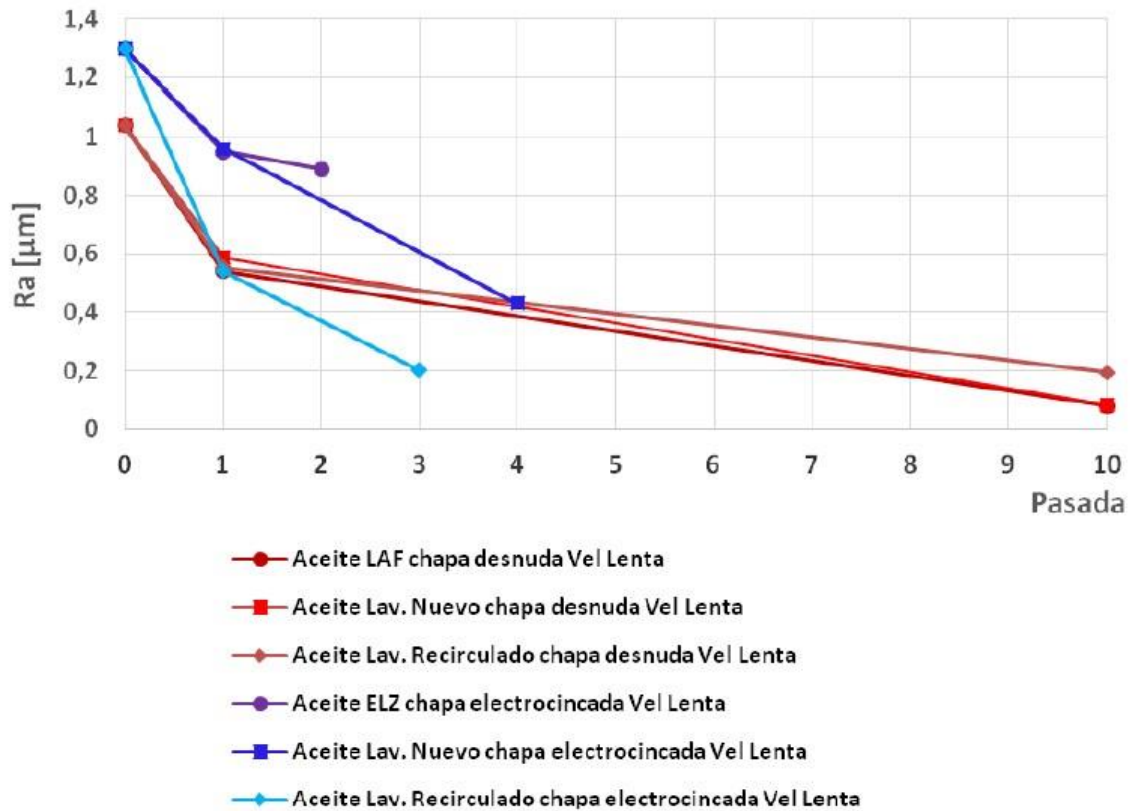


Ilustración 19. Variación de la Ra a lo largo de las sucesivas pasadas para los ensayos realizados a velocidad lenta

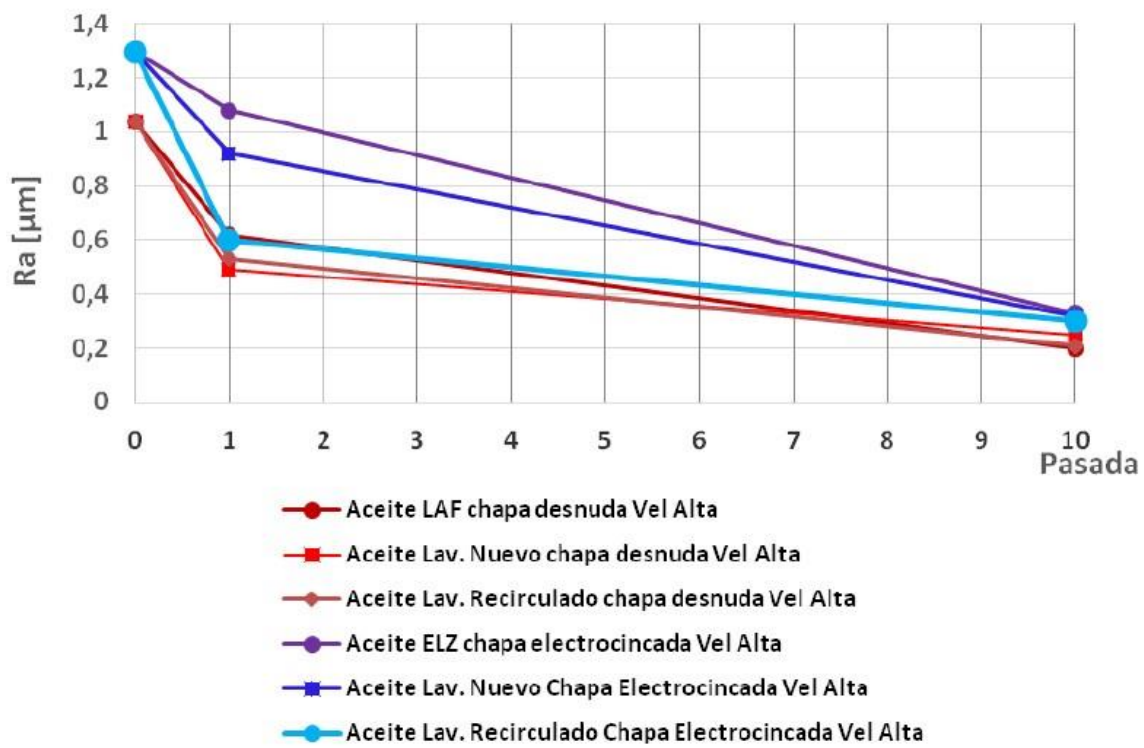


Ilustración 20. Variación de la Ra a lo largo de las sucesivas pasadas para los ensayos realizados a velocidad rápida

Donde el Ra representa el promedio de los valores absolutos de altura medidos desde la línea media. Se trata de uno de los varios indicadores de rugosidad que se muestran en la Tabla 6. Características de los materiales ensayados.

Tabla 8. Coeficientes de roce para la chapa sin recubrimiento con velocidad lenta

Pasada	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Aceite LAF	0,18	0,174	0,166	0,166	0,163	0,17	0,177	0,178	0,182	0,196
Aceite LN	0,171	0,166	0,163	0,163	0,167	0,176	0,177	0,178	0,186	0,186
Aceite LR	0,169	0,16	0,162	0,169	0,18	0,181	0,186	0,188	0,188	0,194

Tabla 9. Coeficientes de roce para la chapa sin recubrimiento con velocidad rápida

Pasada	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Aceite LAF	0,117	0,117	0,117	0,119	0,121	0,122	0,12	0,117	0,122	0,117
Aceite LN	0,124	0,122	0,12	0,121	0,12	0,121	0,122	0,124	0,122	0,124
Aceite LR	0,12	0,119	0,119	0,119	0,117	0,117	0,117	0,118	0,117	0,115

Tabla 10. Coeficientes de roce para la chapa electrocincada con velocidad lenta

Pasada	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Aceite ELZ	0,188	0,213	-	-	-	-	-	-	-	-
Aceite LN	0,211	0,259	0,282	0,282	-	-	-	-	-	-
Aceite LR	0,249	0,253	0,278	-	-	-	-	-	-	-

Tabla 11. Coeficientes de roce para la chapa electrocincada con velocidad rápida

Pasada	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Aceite ELZ	0,098	0,102	0,101	0,105	0,111	0,111	0,116	0,115	0,118	0,118
Aceite LN	0,131	0,129	0,132	0,139	0,139	0,139	0,144	0,151	0,151	0,158
Aceite LR	0,136	0,127	0,129	0,133	0,135	0,134	0,127	0,139	0,137	0,136

En los siguientes gráficos se condensa la información de estas tablas para tener un mejor panorama de los resultados.

CHAPA DESNUDA

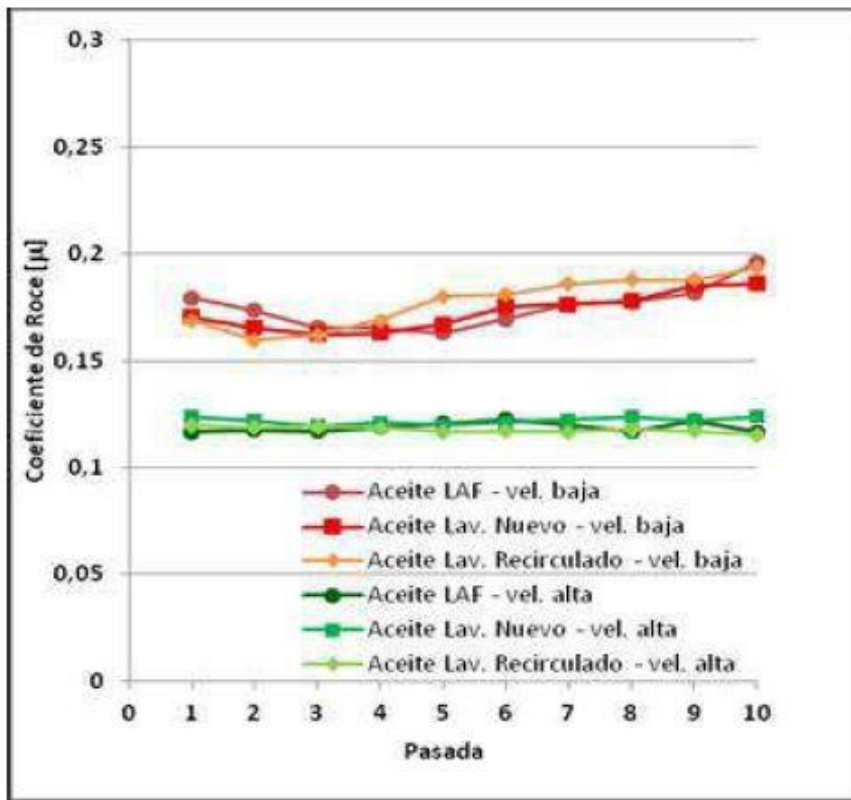


Ilustración 21. Variación del coeficiente de fricción para la chapa sin recubrimiento en las diferentes condiciones ensayadas

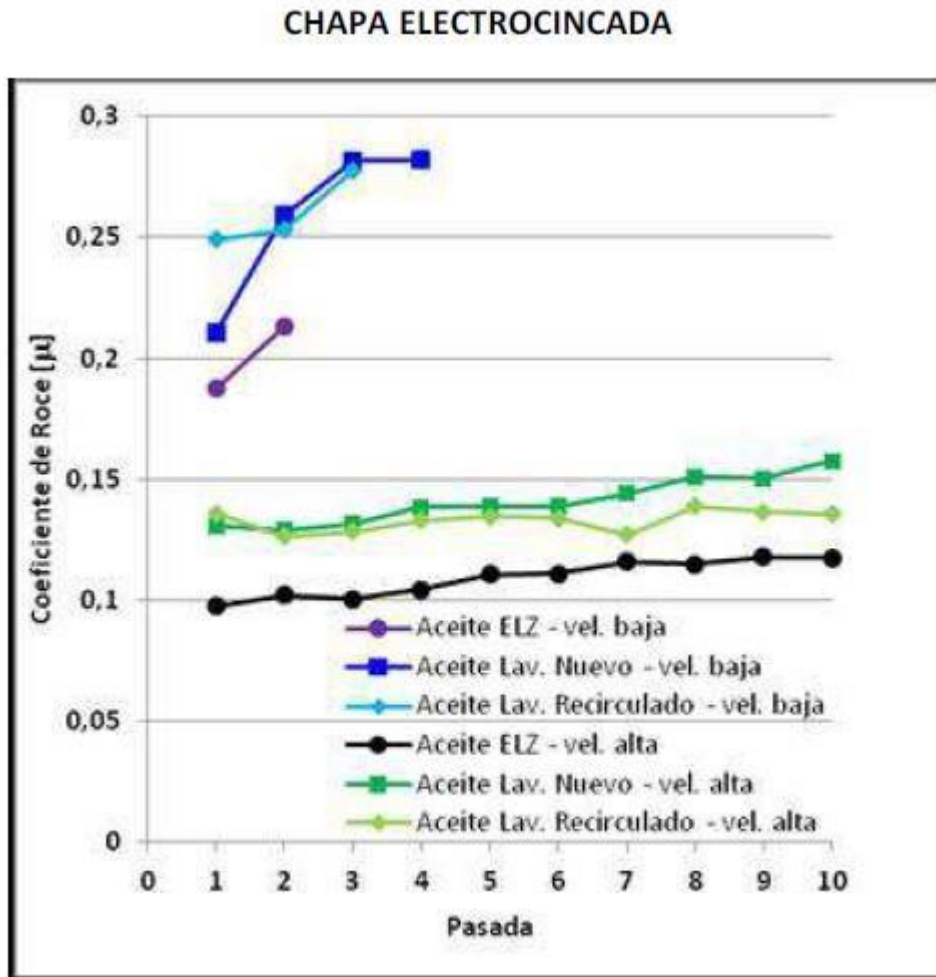


Ilustración 22. Variación del coeficiente de fricción para la chapa electrocincada en las diferentes condiciones ensayadas

3.2.6 Discusión de resultados y conclusiones del Ensayo 3

Contrario a lo que se observó en el Ensayo 2, en este caso vemos que el coeficiente de roce es mayor para la chapa electrocincada. Esto se aprecia sobre todo en los ensayos a baja velocidad. También se observa un fuerte aumento del coeficiente con el número de pasadas.

Con la chapa electrocincada a baja velocidad solamente se hicieron tres o cuatro pasadas debido nuevamente al agarre-deslizamiento entre la chapa y la mordaza.

A altas velocidades, (condición más próxima al estampado industrial), ambas superficies presentan un comportamiento similar aunque se aprecia un leve aumento del rozamiento en el caso de la ELZ

En cuanto a los aceites, se destaca el comportamiento del aceite específico para ELZ en el cual se alcanza un valor mínimo de 0,098.

Dejando de lado esta última excepción, todos los coeficientes obtenidos corresponden a lubricación límite.

La diferencia entre los coeficientes obtenidos a baja velocidad y los correspondientes para altas velocidades es notable. Esta diferencia parece acentuarse a medida que aumentan las pasadas

4 Diseño y construcción

4.1 *Diseño del dispositivo*

Una vez concluido el análisis de ensayos Inland, se procedió a construir un dispositivo para ensayos de fricción que se pueda adaptar a la máquina de tracción “Instron 3382” que se encuentra en el taller de la facultad.

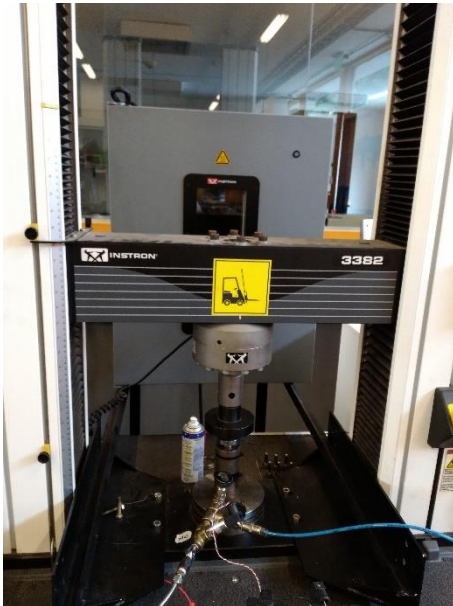


Ilustración 23 Máquina de tracción actualmente instalada en el taller de la facultad (Fotografía del autor)

Se busca reemplazar la mordaza inferior de la “Instron” (ver Ilustración 23) por un dispositivo que permita el deslizamiento de la probeta.

Se analizaron distintas posibilidades de diseño hasta que finalmente se obtuvo el siguiente (ver

Ilustración 24).

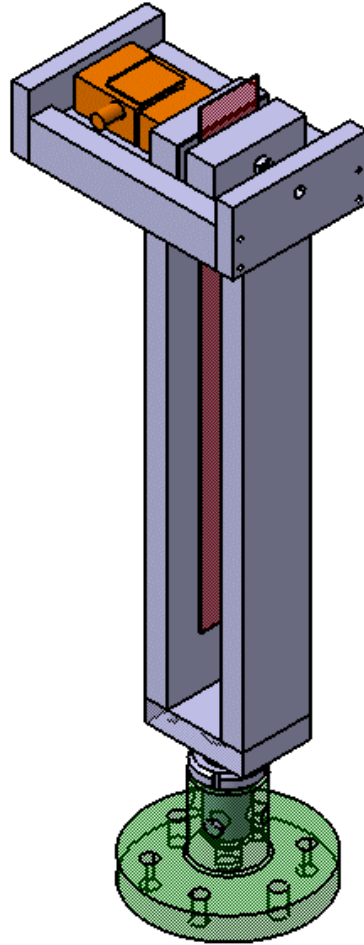


Ilustración 24. Diseño final de la mordaza adaptable a la máquina de tracción.

En color verde se observa el soporte sobre el cual irá insertado el dispositivo. En naranja se puede ver la celda de carga utilizada para medir la carga normal que actúa sobre la probeta (rojo). Durante el ensayo, las mordazas se ajustan mediante un perno y una contratuerca mientras que las mordazas de la “Instron” sujetan la probeta desde arriba y la fuerzan a deslizar hacia arriba a velocidad constante. Las mordazas pueden pivotar sobre las guías con el fin de garantizar un correcto apoyo sobre la probeta.

4.2 Dimensionamiento

El conjunto estará sometido a una carga de 5kN en dirección normal a la chapa y a su vez estará sometido a una carga en la dirección vertical que dependerá del valor del coeficiente de roce de acuerdo con la siguiente ecuación (Ilustración 25):

$$F = \mu * 2N \quad (5)$$

Por lo visto en los ensayos realizados previamente con probetas lubricadas, el coeficiente de roce no debería superar los 0,3. Sin embargo, para el caso de probetas sin lubricar, el coeficiente se eleva considerablemente. Se tomó $\mu=1$ como parámetro de diseño, de tal manera que la máquina pueda ser utilizada en ensayos con probetas tanto sin lubricación como lubricadas.

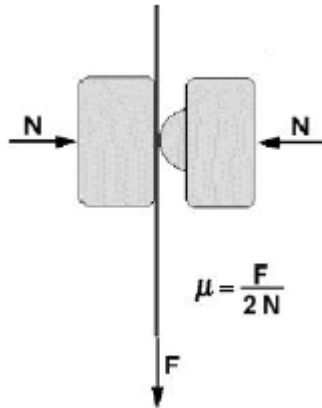


Ilustración 25 Diagrama de fuerzas que actúan sobre la probeta [4]

Por lo tanto, la carga vertical utilizada para el dimensionamiento fue de 10kN.

A continuación, se procedió a calcular las dimensiones necesarias de las piezas (buscando unificar espesores) y los bulones adecuados para soportar la carga durante los ensayos (ver anexo).

4.3 Construcción del dispositivo

Una vez finalizada la etapa de diseño, se procedió con la compra de material y mecanizado de las piezas. Se adquirieron:

- una placa de 19mm (3/4") de 300mm x 400mm de acero SAE 1010,
- un cilindro de 20mm rectificado,
- un cilindro de 45mm de acero SAE 1045,
- un tocho de 100x40x30mm en acero SAE 1010
- un tocho de 100x40x30mm en acero especial K

A partir de la placa se cortaron en la sierra automática las piezas brutas correspondientes a la base, las dos columnas, las guías superiores, los respaldos, y la base que sostiene las columnas.



Ilustración 26 Sierra automática utilizada para el corte de las piezas

En la Ilustración 27 se observa el esquema de corte utilizado para evitar desperdicios innecesarios de material.

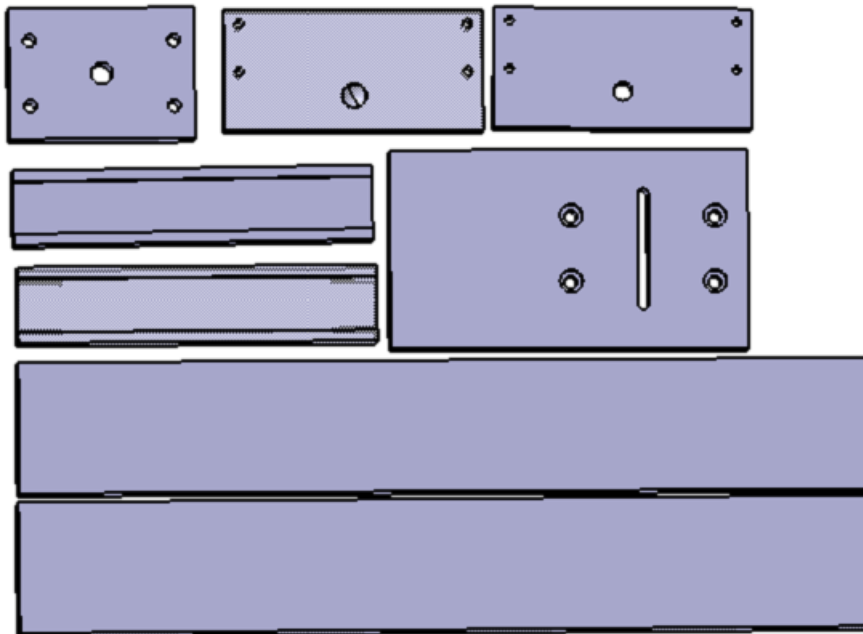


Ilustración 27 Plano de corte utilizado para las piezas de 20mm

En la fresadora manual (Ilustración 28) se realizaron los contornos de todas las piezas que no fueran cilíndricas.



Ilustración 28 Momento en que se realiza el contorno de la placa superior

Luego se realizaron los agujeros y ranuras en la fresadora CNC (Ilustración 29) utilizando los códigos G generados mediante CAM.



Ilustración 29 Mecanizado de la mordaza en la fresadora CNC

Los agujeros con rosca se realizaron inicialmente con una mecha de menor diámetro (de acuerdo a la norma) para luego ser roscados mediante un macho de roscar (Ilustración 30).



Ilustración 30 Roscado de un agujero M10 utilizando un macho de roscar

Una vez que todas las piezas estuvieron finalizadas, se armó el dispositivo y se colocó en la máquina de tracción para así proceder a realizar los ensayos.



Ilustración 31 Dispositivo con la probeta colocada lista para ensayar

5 Ensayos de fricción realizados

Se realizaron ensayos a modo de prueba con el fin de poder comparar los resultados obtenidos con los coeficientes esperados entre 0,1 y 0,3.

5.1 Materiales a ensayar

A continuación se detallan las especificaciones y composición de las probetas ensayadas.

Tabla 12 Características de las probetas

Probeta	1	2	3
Recubrimiento	Galvanizado	Sin recubrimiento	Electrocincado
Espesor [mm]	0,65	0,70	1,00
Ra [μm]	0,95	0,75	0,88
Rt [μm]	5,19	4,95	4,97

Tabla 13 composición del material de las probetas

Probeta	1	2	3
Grado	0005	7015	7015
C [%]	0,0023	0,0430	0,0360
Mn [%]	0,105	0,190	0,190
Al [%]	0,036	0,047	0,032
Cr [%]	0,005	0,015	0,018
P [%]	0,008	0,016	0,014
S [%]	0,007	0,008	0,009
Cu [%]	0,011	0,006	0,007
Co [%]	-	0,002	0,003
As [%]	-	0,001	0,001
Sn [%]	0,006	0,002	0,000
B [%]	0,0001	-	-
Nb [%]	0,002	-	-
Ti [%]	0,059	-	-
V [%]	0,003	-	-

5.2 Metodología de ensayo

El procedimiento utilizado para realizar los ensayos fue el siguiente:

1. Cortar probetas de 35mm x 400mm asegurándose de que no queden rebabas
2. Lubricar utilizando aceite 15W40
3. Medir la rugosidad R_a y R_t sobre la superficie de la probeta

4. Sujetar la probeta a la mordaza superior y ajustar la posición de esta de tal manera que permita realizar una carrera de 60mm.
5. Llevar a cero el indicador de desplazamiento y fuerza.
6. Ajustar las mordazas hasta medir en la celda una carga de 5kN. Asegurar la contratuerca para que no se afloje.
7. Antes de iniciar el ensayo, configurar los siguientes parámetros en el sistema

Parámetro	Valor
Velocidad de desplazamiento	20mm/min
Desplazamiento total	60mm
Carga límite	10kN

8. Iniciar el ensayo
9. Al finalizar, aflojar las mordazas y retirar la probeta

Se realizaron 2 pasadas por cada probeta, obteniéndose un total de 6 ensayos.

5.3 Resultados obtenidos

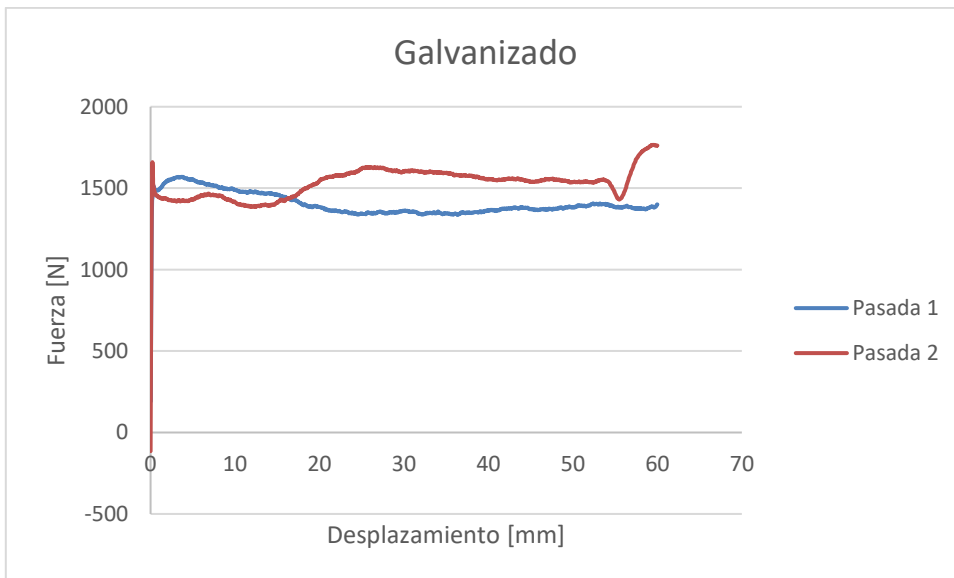


Ilustración 32 Fuerza vs desplazamiento en la probeta con recubrimiento galvanizado

El pico que se observa al final del ensayo en la pasada 2 se debe a que la probeta se atascó con uno de los bordes de la ranura de la placa. Este atasco se debió a un mal agarre inicial

con la mordaza que hizo que la probeta quede levemente inclinada hacia uno de los lados. Este pico no fue considerado en el cálculo de los coeficientes.

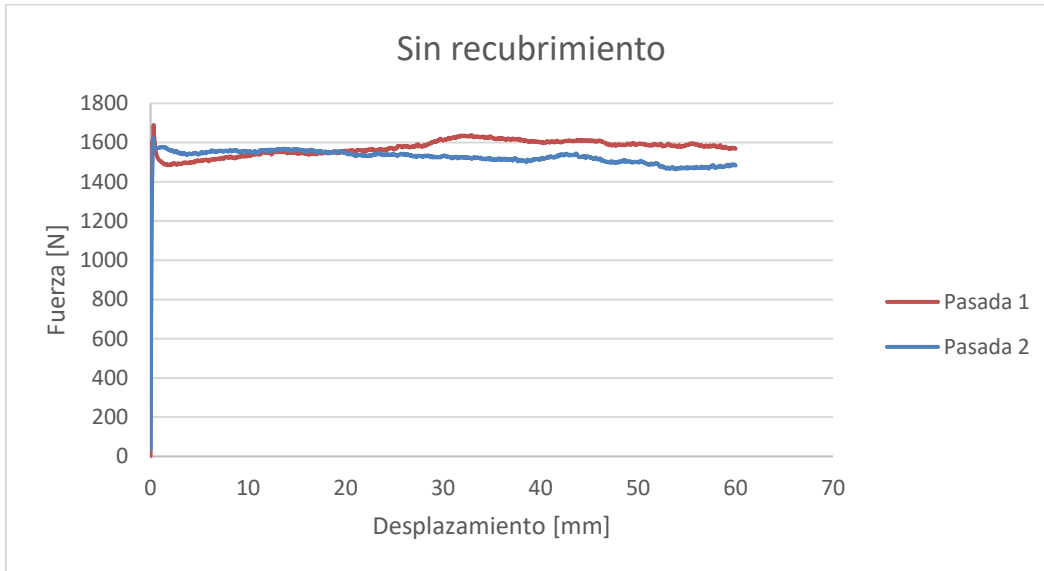


Ilustración 33

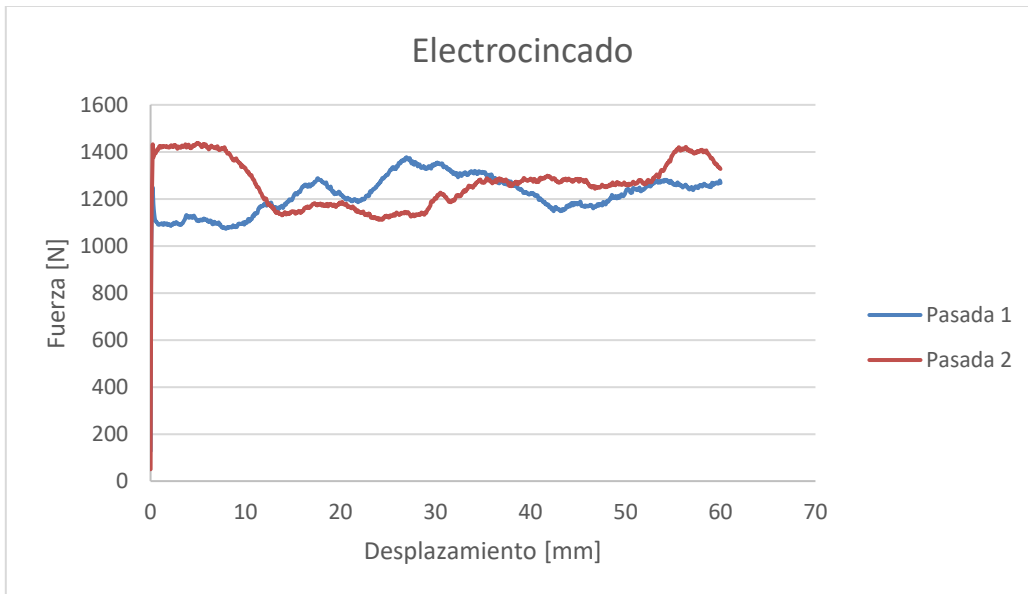


Ilustración 34 Fuerza vs desplazamiento con recubrimiento electrocincado

5.3.1 Coeficientes de roce

Para calcular el coeficiente de roce, se tomó el promedio de la fuerza medida entre los 10mm y los 50mm (en estado estacionario) y se lo dividió por la carga normal medida en la celda (cercano a 5kN) multiplicada por 2 (ver ecuación 5). La corrección es para compensar

una leve inclinación de la celda que, como se puede ver, no afecta las mediciones de manera significativa. Los resultados se pueden ver en la siguiente tabla.

La conversión de [V] a [kg] se realizó mediante la tabla de calibración de la celda de carga. La misma se puede encontrar en el apéndice.

Probeta	Fuerza promedio [N]	Tensión Celda [V]	Carga Normal [kg]	Carga Normal [N]	Corrección [N]	Coeficiente	Coeficiente Promedio
1a	1380,24	3,59	511	5008	5010,3	0,138	0,145
1b	1542,51	3,58	515	5047	5049,5	0,153	
2a	1586,15	3,58	515	5047	5049,5	0,157	0,154
2b	1532,20	3,58	515	5047	5049,5	0,152	
3a	1241,28	3,58	515	5047	5049,5	0,123	0,121
3b	1212,12	3,58	515	5047	5049,5	0,120	

6 Conclusiones

Se dispone de una máquina que permite realizar ensayos de fricción tipo INLAND de acuerdo con la recomendación Renault.

Se realizaron ensayos de prueba y los coeficientes obtenidos están dentro de los valores esperables vistos en los ensayos previos (entre 0.07 y 0.25)

En los ensayos se aprecia que la probeta electrocincada es la que tiene un menor coeficiente de roce promedio, aunque, al mismo tiempo, es la que presenta mayores oscilaciones. Cabe destacar que la probeta electrocincada tiene un espesor más elevado (1mm vs 0.7mm) con lo cual su flexibilidad se ve notablemente reducida.

Al igual que en el ensayo 2, la superficie sin recubrimiento muestra un mayor coeficiente de roce que la superficie electrocincada.

Se pudo comprobar la gran cantidad de variables que intervienen en la fricción: rugosidad, tamaño de grano, tipo de recubrimiento, grado del acero, velocidad del ensayo, tipo de mordazas, radio de la mordaza y tipo de lubricación, entre otros.

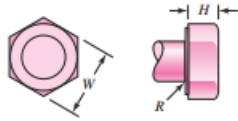
Dicho esto, queda disponible una máquina que permitirá analizar en el futuro, el efecto de estas variables en el coeficiente de roce.

7 Apéndice

Tablas y diagramas utilizados para el dimensionamiento

Tabla A-29

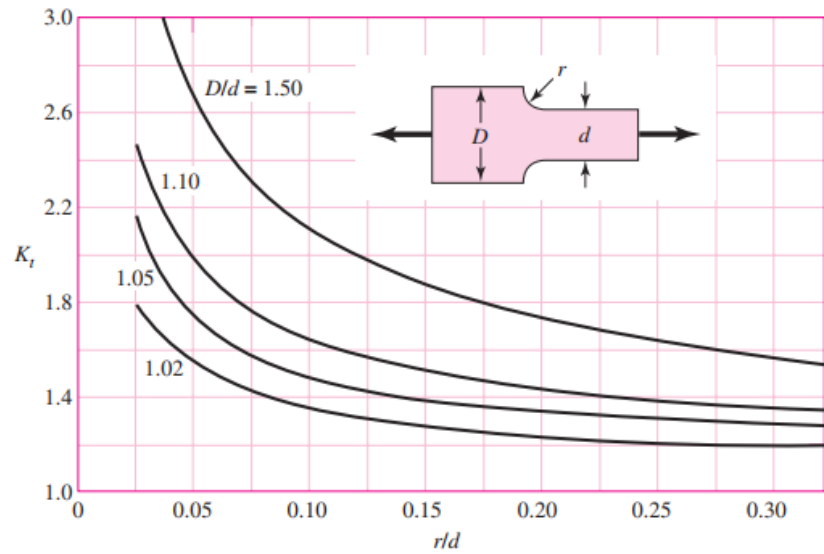
Dimensiones de pernos de cabeza cuadrada y hexagonal



Tamaño nominal, pulg.	Tipo de cabeza										
	Cuadrada		Hexagonal regular			Hexagonal pesada			Hexagonal estructural		
	W	H	W	H	R _{min}	W	H	R _{min}	W	H	R _{min}
$\frac{1}{4}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{11}{64}$	$\frac{7}{16}$	$\frac{11}{64}$	0.01						
$\frac{5}{16}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{13}{64}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{7}{32}$	0.01						
$\frac{3}{8}$	$\frac{9}{16}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{9}{16}$	$\frac{1}{4}$	0.01						
$\frac{7}{16}$	$\frac{5}{8}$	$\frac{19}{64}$	$\frac{5}{8}$	$\frac{19}{64}$	0.01						
$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{21}{64}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{11}{32}$	0.01	$\frac{7}{8}$	$\frac{11}{32}$	0.01	$\frac{7}{8}$	$\frac{5}{16}$	0.009
$\frac{5}{8}$	$\frac{15}{16}$	$\frac{27}{64}$	$\frac{15}{16}$	$\frac{27}{64}$	0.02	$1\frac{1}{16}$	$\frac{27}{64}$	0.02	$1\frac{1}{16}$	$\frac{25}{64}$	0.021
$\frac{3}{4}$	$1\frac{1}{8}$	$\frac{1}{2}$	$1\frac{1}{8}$	$\frac{1}{2}$	0.02	$1\frac{1}{4}$	$\frac{1}{2}$	0.02	$1\frac{1}{4}$	$\frac{15}{32}$	0.021
1	$1\frac{1}{2}$	$\frac{21}{32}$	$1\frac{1}{2}$	$\frac{43}{64}$	0.03	$1\frac{5}{8}$	$\frac{43}{64}$	0.03	$1\frac{5}{8}$	$\frac{39}{64}$	0.062
$1\frac{1}{8}$	$1\frac{11}{16}$	$\frac{3}{4}$	$1\frac{11}{16}$	$\frac{3}{4}$	0.03	$1\frac{13}{16}$	$\frac{3}{4}$	0.03	$1\frac{13}{16}$	$\frac{11}{16}$	0.062
$1\frac{1}{4}$	$1\frac{7}{8}$	$\frac{27}{32}$	$1\frac{7}{8}$	$\frac{27}{32}$	0.03	2	$\frac{27}{32}$	0.03	2	$\frac{25}{32}$	0.062
$1\frac{3}{8}$	$2\frac{1}{16}$	$\frac{29}{32}$	$2\frac{1}{16}$	$\frac{29}{32}$	0.03	$2\frac{3}{16}$	$\frac{29}{32}$	0.03	$2\frac{3}{16}$	$\frac{27}{32}$	0.062
$1\frac{1}{2}$	$2\frac{1}{4}$	1	$2\frac{1}{4}$	1	0.03	$2\frac{3}{8}$	1	0.03	$2\frac{3}{8}$	$\frac{15}{16}$	0.062
Tamaño nominal, mm											
M5	8	3.58	8	3.58	0.2						
M6			10	4.38	0.3						
M8			13	5.68	0.4						
M10			16	6.85	0.4						
M12			18	7.95	0.6	21	7.95	0.6			
M14			21	9.25	0.6	24	9.25	0.6			
M16			24	10.75	0.6	27	10.75	0.6	27	10.75	0.6
M20			30	13.40	0.8	34	13.40	0.8	34	13.40	0.8
M24			36	15.90	0.8	41	15.90	0.8	41	15.90	1.0
M30			46	19.75	1.0	50	19.75	1.0	50	19.75	1.2
M36			55	23.55	1.0	60	23.55	1.0	60	23.55	1.5

Figura A-15-5

Barra rectangular con filetes en tensión o compresión simple. $\sigma_0 = F/A$, donde $A = dt$ y t es el espesor.

**Figura A-15-6**

Barra rectangular con filetes en flexión. $\sigma_0 = Mc/I$, donde $c = d/2$, $I = td^3/12$, t es el espesor.

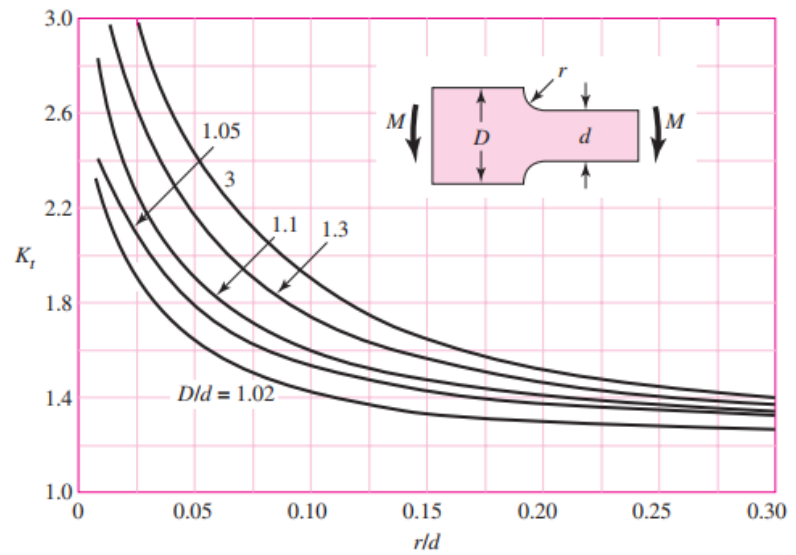


Tabla 8-11

Clases métricas de propiedad mecánica de pernos, tornillos y birlos de acero*

Clase de propiedad	Intervalo de tamaños, inclusive	Resistencia de prueba mínima, [†] MPa	Resistencia mínima a la tensión, [†] MPa	Resistencia mínima a la fluencia, [†] MPa	Material	Marca en la cabeza
4.6	M5-M36	225	400	240	Acero de bajo o medio carbono	
4.8	M1.6-M16	310	420	340	Acero de bajo o medio carbono	
5.8	M5-M24	380	520	420	Acero de bajo o medio carbono	
8.8	M16-M36	600	830	660	Acero de medio carbono, T y R	
9.8	M1.6-M16	650	900	720	Acero de medio carbono, T y R	
10.9	M5-M36	830	1 040	940	Acero martensítico de bajo carbono, T y R	
12.9	M1.6-M36	970	1 220	1 100	Acero aleado, T y R	

*La longitud de la rosca de pernos y tornillos de cabeza es

$$L_T = \begin{cases} 2d + 6 & L \leq 125 \\ 2d + 12 & 125 < L \leq 200 \\ 2d + 25 & L > 200 \end{cases}$$

donde L es la longitud del perno. La longitud de la rosca de pernos estructurales es ligeramente menor que la indicada.[†]Las resistencias mínimas son las resistencias que excede 99% de los sujetadores.

Tabla 8-1

Diámetros y áreas de roscas métricas de paso grueso y fino*

Diámetro mayor nominal d , mm	Serie de paso grueso			Serie de paso fino		
	Paso p , mm	Área de esfuerzo de tensión A_t , mm ²	Área del diámetro menor A_r , mm ²	Paso p , mm	Área de esfuerzo de tensión A_t , mm ²	Área del diámetro menor A_r , mm ²
1.6	0.35	1.27	1.07			
2	0.40	2.07	1.79			
2.5	0.45	3.39	2.98			
3	0.5	5.03	4.47			
3.5	0.6	6.78	6.00			
4	0.7	8.78	7.75			
5	0.8	14.2	12.7			
6	1	20.1	17.9			
8	1.25	36.6	32.8	1	39.2	36.0
10	1.5	58.0	52.3	1.25	61.2	56.3
12	1.75	84.3	76.3	1.25	92.1	86.0
14	2	115	104	1.5	125	116
16	2	157	144	1.5	167	157
20	2.5	245	225	1.5	272	259
24	3	353	324	2	384	365
30	3.5	561	519	2	621	596
36	4	817	759	2	915	884
42	4.5	1 120	1 050	2	1 260	1 230
48	5	1 470	1 380	2	1 670	1 630
56	5.5	2 030	1 910	2	2 300	2 250
64	6	2 680	2 520	2	3 030	2 980
72	6	3 460	3 280	2	3 860	3 800
80	6	4 340	4 140	1.5	4 850	4 800
90	6	5 590	5 360	2	6 100	6 020
100	6	6 990	6 740	2	7 560	7 470
110				2	9 180	9 080

*Las ecuaciones y los datos utilizados para elaborar esta tabla se obtuvieron de la norma ANSI B1.1-1974 y B18.3.1-1978. El diámetro menor se determinó mediante la ecuación $d_r = d - 1.226\,869p$, y el diámetro de paso a partir de $d_p = d - 0.649\,519p$. La media del diámetro de paso y el diámetro menor se usaron para calcular el área de esfuerzo de tensión.

Tabla A-20

Resistencias mínimas determinísticas a la tensión y a la fluencia ASTM de algunos aceros laminados en caliente (HR) y estirados en frío (CD) [Las resistencias listadas son valores ASTM mínimos estimados en el intervalo de tamaños de 18 a 32 mm ($\frac{3}{4}$ a $1\frac{1}{4}$ pulg). Estas resistencias resultan adecuadas para usarse con el factor de diseño definido en la sección 1-10, a condición que los materiales se ajusten a los requisitos ASTM A6 o A568 o que se requieran en las especificaciones de compra. Recuerde que un sistema de numeración no es una especificación] Fuente: 1986 SAE Handbook, p. 2.15.

1	2	3	4	5	6	7	8
			Resistencia				
	SAE y/o	Procesa-	a la tensión,	la fluencia,	Elongación en	Reducción en	Dureza
UNS núm.	AISI núm.	miento	MPa (kpsi)	MPa (kpsi)	2 pulg, %	área, %	Brinell
G10060	1006	HR	300 (43)	170 (24)	30	55	86
		CD	330 (48)	280 (41)	20	45	95
G10100	1010	HR	320 (47)	180 (26)	28	50	95
		CD	370 (53)	300 (44)	20	40	105
G10150	1015	HR	340 (50)	190 (27.5)	28	50	101
		CD	390 (56)	320 (47)	18	40	111
G10180	1018	HR	400 (58)	220 (32)	25	50	116
		CD	440 (64)	370 (54)	15	40	126
G10200	1020	HR	380 (55)	210 (30)	25	50	111
		CD	470 (68)	390 (57)	15	40	131
G10300	1030	HR	470 (68)	260 (37.5)	20	42	137
		CD	520 (76)	440 (64)	12	35	149
G10350	1035	HR	500 (72)	270 (39.5)	18	40	143
		CD	550 (80)	460 (67)	12	35	163
G10400	1040	HR	520 (76)	290 (42)	18	40	149
		CD	590 (85)	490 (71)	12	35	170
G10450	1045	HR	570 (82)	310 (45)	16	40	163
		CD	630 (91)	530 (77)	12	35	179
G10500	1050	HR	620 (90)	340 (49.5)	15	35	179
		CD	690 (100)	580 (84)	10	30	197
G10600	1060	HR	680 (98)	370 (54)	12	30	201
G10800	1080	HR	770 (112)	420 (61.5)	10	25	229
G10950	1095	HR	830 (120)	460 (66)	10	25	248

7.1 Tabla de calibración de la celda de carga

Celda 1000kg			
Compresión		Tracción	
Carga [kg]	Salida [V]	Carga [kg]	Salida [V]
0	5	0	5
-54	4,85	53,9	5,15
-100	4,72	95	5,26
-154	4,58	150	5,42
-202	4,44	200	5,55
-249	4,31	245	5,68
-303	4,16	300	5,83
-355	4,02	350	5,97
-408	3,874	405	6,12
-455	3,745	450	6,25
-508	3,6	507	6,4
-550	3,483	550	6,53
-609	3,322	600	6,67
-654	3,198	663	6,84
-693	3,089	700	6,94
-744	2,949	750	7,08
-798	2,8	787	7,18
-858	2,638	834	7,31

8 Anexo 1 – Cálculos

Cálculos estimativos realizados para el dimensionamiento.

8.1.1 Mordazas

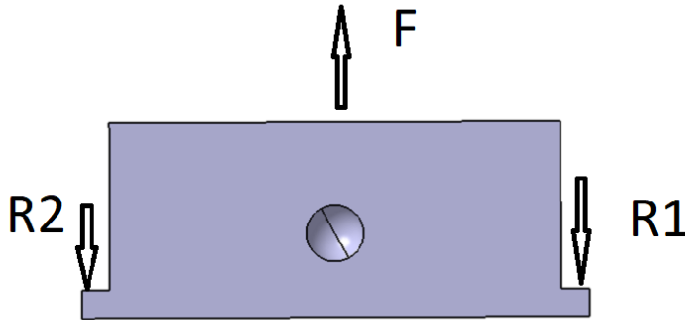


Ilustración 35 Modelo de fuerzas aplicadas sobre la mordaza

Suponiendo que la fuerza de fricción va a estar distribuida entre ambas mordazas de forma equitativa, se puede afirmar que $F=5\text{kN}$, con lo cual, $R_1=R_2=2.5\text{kN}$ por simetría. Partiendo de que el escalón mide $5\text{mm} \times 5\text{mm}$ se busca establecer la profundidad que debe tener la pieza para soportar la carga. Para acero 1010 la tensión de fluencia es $\sigma=180\text{MPa}$. Luego de hacer los diagramas de momento y corte, se calcula el momento en el punto ubicado a 5mm del borde $M_x=6.25\text{Nm}$. Tomando un factor de seguridad $FS=1.5$ y factor de concentración de tensiones $k=1.9$ se obtiene **$b=23.6\text{mm}$**

8.1.2 Guías C

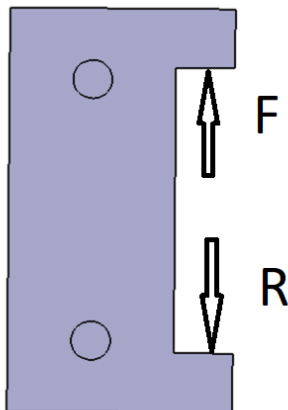


Ilustración 36 Modelo de fuerzas aplicadas sobre la guía "C"

En este caso, el tipo de esfuerzo es similar al de la mordaza ($F = R = 2.5\text{kN}$), sin embargo, por diseño del conjunto, esta pieza debe medir $b=164\text{mm}$ con lo cual se puede asegurar que la pieza va a soportar la carga.

8.1.3 Placa

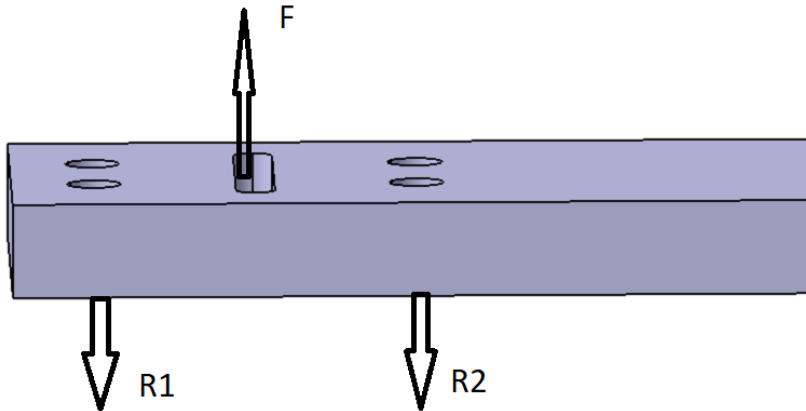


Ilustración 37 Modelo de fuerzas aplicadas sobre la placa

Las fuerzas que actúan sobre la placa son, en realidad, algo más complejas de lo que se muestra en la Ilustración 37, ya que la fuerza F no se aplica directamente sobre la placa sino que lo hace a través de las mordazas y estas a su vez aplican carga sobre las guías “C” que son las que terminan aplicando la carga F de una manera más distribuida. En esta aproximación se plantea el caso mas severo en que la carga esté aplicada directamente sobre la ranura. Las reacciones en los pernos son más cercanas a la realidad ya que estos van a estar soportando toda la carga.

Por simetría, se obtiene que $R1 = R2 = 5\text{kN}$. Luego de hacer los diagramas de corte y momento, se calcula el M_{max} en el punto de aplicación de F , $M_{\text{max}} = 165\text{Nm}$. Considerando la menor sección debido a la ranura y un $FS=1.5$ se llega a que **$h=16\text{mm}$** . Considerando que las placas se venden en proporciones de pulgada, esta pieza será de 19mm de espesor.

El resto de las piezas quedaron sobredimensionadas por cuestiones de diseño similares a las de la guía “C”

9 Bibliografía

1. Gorla, Romina (2013). *Introducción al proceso de alto horno*. Rev 0. E-Learnings Grupo Techint
2. *Introducción a la línea de electrocincado (2014)*. Rev. 4. E-Learnings Grupo Techint
3. J. Insausti, D. Ziegler, L. Iurmaa, A. Lucaioli, P. Benedetti, W. Chiapparoli, J. P. Pedraza (2015) *Comportamiento tribológico de chapas de acero desnudas y recubiertas con lubricantes nuevos y recirculados*. Congreso Internacional de Metalurgia y Materiales (CONAMET)
4. J. Insausti, L. Iurman, A. Lucaioli, D. Ziegler, P. Benedetti, P. Traversa (2004). *Comparación de coeficientes de fricción en ensayos con diferentes geometrías de herramental*. Universidad Nacional del Sur
5. W. Chiapparoli, D. Cavaleri, A. Lucaioli, L. Iurman, J. Insausti (2015). *Ensayos de fricción tipo Inland*. Informe PRO 15-0218. Instituto Argentino de Siderurgia.
6. A. O. Lucaioli, J. W. Insausti, D. Ziegler, L. Iurman, P. Benedetti (2004). *Comparación de coeficientes de fricción en ensayos tipo Inland sobre chapas de acero desnudas y recubiertas*. Universidad Nacional del Sur
7. *Extracto del catálogo de productos*. Arcelor Mittal.
8. Richard G. Budynas, J. Keith Nisbett (2008). *Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley*. México: McGraw-Hill Interamericana, Octava edición.
9. *Prephosphating of Zn-coated Steel Strip and its use in the Automotive Industry*. Chemetall
10. Yesenia López (2018). Procesos de conformación de materiales en caliente y en frío. Instituto Universitario Politécnico Santiago Mariño, Venezuela. Recuperado de <https://es.slideshare.net/YeseniaChLopez/proceso-de-manufactura-91083904>