

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN EQUIPO PARA PRUEBAS DE EMBUTICIÓN DE LÁMINAS METÁLICAS TIPO ERICHSEN.

Darío Abel Cisneros Figueroa
Francisco Xavier Cabrera Loza

RESUMEN

El presente proyecto se enfoca en la determinación del grado de embutibilidad de distintos materiales y espesores de láminas metálicas que son utilizadas por la industria metalmeccánica en la fabricación de piezas y productos por medio del proceso de embutición.

Para comprobar que tan dúctil puede comportarse una lámina metálica cuando se la embute, es necesario ensayarla bajo exigencias normalizadas y para el presente caso se utilizan ensayos tipo Erichsen.

El equipo Erichsen se lo obtuvo por medio de la proyección de planos, diseño y selección de los materiales con criterios de seguridad, selección de mecanismos de accionamiento adecuados y delimitación de procesos tecnológicos de fabricación, que con el uso apropiado de un manual de operación y mantenimiento se lo puede utilizar para obtener resultados confiables al ser un equipo de precisión.

La utilidad del equipo pretende solidificarse como un instrumento de apoyo y beneficio para profesionales y empresas que se dedican a la manufactura de productos embutidos, siendo un soporte para evitar fallos en la fabricación debido a una incorrecta selección del material lo cual provoca gastos innecesarios.

ABSTRACT

This project focuses on determining the degree of drawability of different materials and thicknesses of metallic sheets that are used by the metalworking industry in the manufacture of parts and products through the drawing process.

To verify that can behave as ductile sheet metal when the draw-in of flange metal occurs, it is need to test under standard requirements and the present case Erichsen type tests are used.

The Erichsen Equipment was gotten through the projection of plans, design and selection of materials with safety criteria, selection of suitable operation mechanisms and delimitation of technological processes of manufacture which the proper use of an operation and maintenance manual can be used to obtain reliable results as it is a precision instrument.

The utility of the equipment intends to solidify as a tool to support and benefit to professionals and companies dedicated to the manufacture of concave shaped products, being a support to prevent failure to manufacture due to incorrect selection of the material causing unnecessary expense.

1 INTRODUCCION

El proyecto comprende el estudio del grado de embutibilidad de láminas metálicas, las cuales son utilizadas por la industria metalmeccánica para la elaboración de productos mediante procesos de embutición.

La embutibilidad es la característica que determina la resistencia de un material a ser embutido, con el fin de generar productos cóncavos como tapas, ollas y otros recipientes similares.

El estudio abarca tanto el diseño, construcción y montaje de un Equipo para Pruebas de Embutición de Láminas Metálicas Tipo Erichsen, así como también una serie de ensayos normalizados con diferentes materiales llevados a cabo en el mencionado equipo.

El presente proyecto pretende consolidarse como un documento de apoyo para los profesionales que incursionan en la fabricación de productos mediante procesos de embutición, en tal virtud se hace necesario desarrollar un procedimiento detallado para la verificación y posteriormente una adecuada selección del material a conformar.

1.1 OBJETIVO GENERAL

Determinar el grado de embutibilidad de láminas metálicas utilizadas en la industria metalmeccánica en procesos de embutición, a través de ensayos tipo Erichsen.

2 CARACTERISTICAS DEL EQUIPO

SEGÚN LA NORMA ASTM E643-09.

El equipo Erichsen debe tener las siguientes características:

- Capaz de realizar una fuerza de sujeción en la lámina metálica de por lo menos 1000 Kgf.
- Debe tener un indicador de desplazamiento para medir la altura de la copa (índice Erichsen) con una apreciación de 0.05 mm.
- El punzón de embutición deber ser rígido, su cabeza esférica debe tener un diámetro

de 22.22 ± 0.05 mm y sólo su porción esférica debe entrar en contacto con la lámina.

- La prueba se basa en el esquema de la figura 1 (las dimensiones y características superficiales de los dados y el punzón se encuentran en la norma ASTM E643-09).

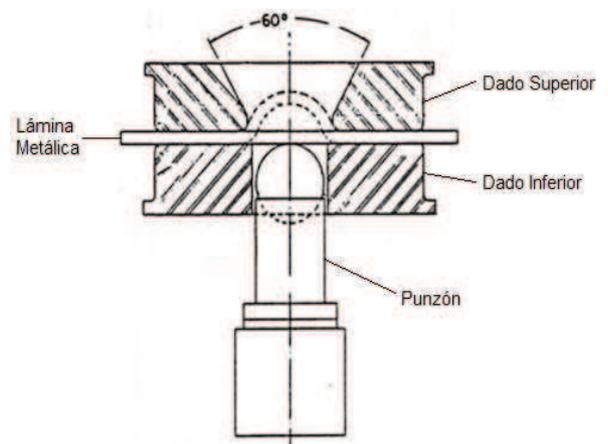


Figura 1 Herramientas de Prueba Erichsen.¹

- No debe existir ningún movimiento de la lámina bajo la acción de la fuerza de sujeción.
- Se ensaya la lámina hasta que se fracture o la carga de embutición caiga.
- La prueba se aplica a láminas entre 0.2 y 2 mm de espesor.
- Un mínimo de 3 pruebas deben ser realizadas para cada material.
- Se debe lubricar solamente la cabeza esférica del punzón.
- La rotura de la lámina debe ocurrir en la región superior de la copa formada. Caso contrario los resultados no son válidos.
- Se debe medir el índice Erichsen (I.E.) desde el momento en que el punzón hace contacto con la lámina.

3 SISTEMAS DE OPERACIÓN

DEL EQUIPO ERICHSEN.

Una vez que se han diseñado todos los elementos del equipo Erichsen basados en consideraciones de carga y esfuerzo, se identifican 3 sistemas de operación

¹ Fuente: ASTM INTERNATIONAL, E643-09, pág. 2

fundamentales para su funcionamiento, los cuales son:

- **Sistema Hidráulico de Embutición:**

Dentro del sistema hidráulico de embutición se incluye: gato hidráulico, manómetro de medición de presión, punzón de embutición y resortes de retorno del émbolo. El sistema debidamente ensamblado se observa en la figura 2.



Figura 2 Sistema Hidráulico de Embutición.

- **Sistema Mecánico de Sujeción:**

El sistema mecánico de sujeción incluye: tornillo de potencia, viga principal, columnas de la prensa, carro de la prensa, porta dado superior, dado superior e inferior, base de la prensa. El sistema debidamente ensamblado se observa en la figura 3.

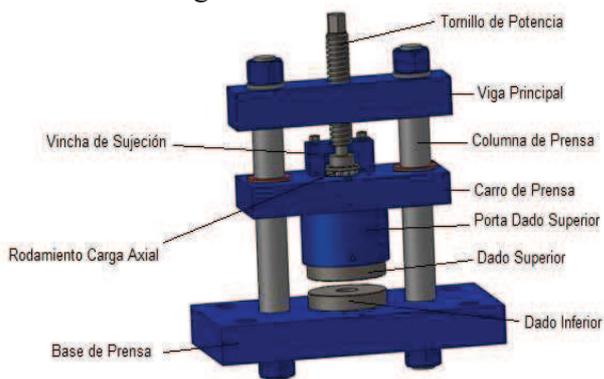


Figura 3 Sistema Mecánico de Sujeción.

- **Estructura Complementaria:**

La estructura complementaria incluye: columnas de la estructura y base de la estructura. El sistema debidamente ensamblado se observa en la figura 4.

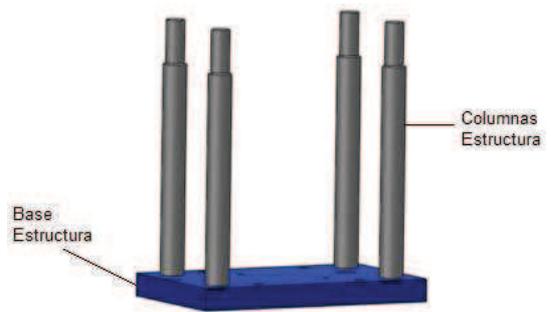


Figura 4 Estructura Complementaria.

La unión de los tres sistemas correctamente ensamblados, forman el equipo para pruebas de embutición tipo Erichsen como se observa en la figura 5.

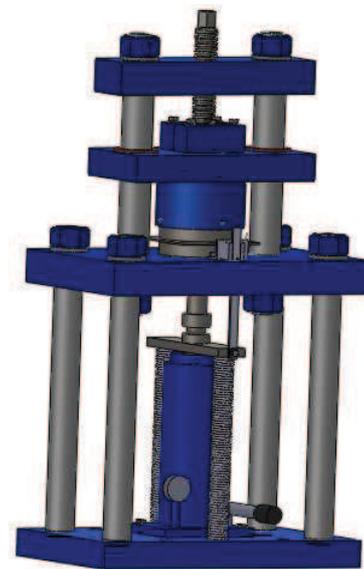


Figura 5 Equipo Erichsen.

Una cámara de video fue adaptada al equipo con el propósito de observar todo el ensayo realizado como se muestra en la figura 6.



Figura 6 Equipo Erichsen.

4 ENSAYOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.

Para realizar un correcto análisis de resultados, se requiere adquirir láminas metálicas de distintos tipos y espesores para ejecutar los respectivos ensayos.

Los resultados obtenidos en todos los ensayos realizados fueron tabulados de la siguiente manera:

- **Análisis Acero ASTM A36:**

Para láminas de acero ASTM A36 los resultados se muestran en la tabla 1.

Espesor (mm)	I.E. Experimental (mm)
0.5	10.7
1	12.033
1.5	13.2
2	14.1

Tabla 1 Índice Erichsen en Acero ASTM A36.

Con los datos obtenidos del índice Erichsen para el acero ASTM A36, se pueden graficar sus resultados para analizar su ductilidad al embutido, como se observa en la figura 7.

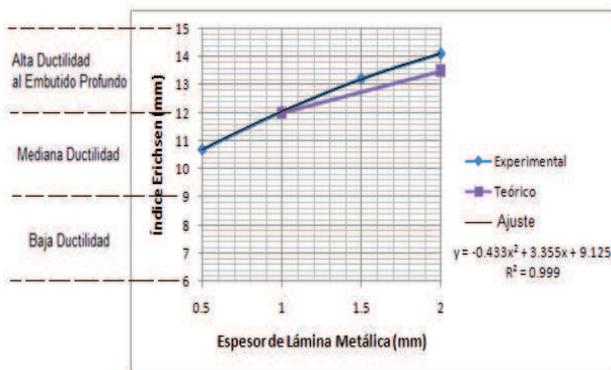


Figura 7 Ductilidad al Embutido en Acero ASTM A36.

Como se puede observar en la figura 7, el índice Erichsen en acero ASTM A36, se comporta de una forma directamente proporcional a su espesor.

- **Análisis Acero Inoxidable AISI 304:**
Para láminas de acero inoxidable AISI 304, los resultados se muestran en la tabla 2.

Espesor (mm)	I.E. Experimental (mm)
0.5	8.367
1	10.40
1.5	10.633
2	13.283

Tabla 2 Índice Erichsen en Acero Inoxidable AISI 304.

Con los datos obtenidos del índice Erichsen para el acero inoxidable AISI 304, se pueden graficar sus resultados para analizar su ductilidad al embutido, como se observa en la figura 8.

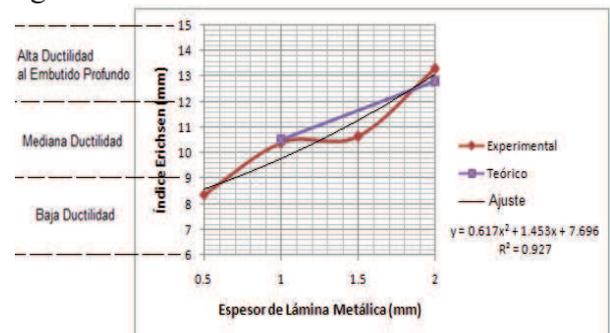


Figura 8 Ductilidad al Embutido en Acero Inoxidable AISI 304.

Como se puede observar en la figura 8, el índice Erichsen en acero inoxidable AISI 304 no es proporcional a su espesor.

- **Análisis Aluminio 3003:**

Para láminas de aluminio 3003, los resultados se muestran en la tabla 3.

Espesor (mm)	I.E. Experimental (mm)
0.5	7.30
1	8.35
1.5	12.00
2	12.333

Tabla 3 Índice Erichsen en Aluminio 3003.

Con los datos obtenidos del índice Erichsen para el aluminio 3003, se pueden graficar sus resultados para analizar su ductilidad al embutido, como se observa en la figura 9.

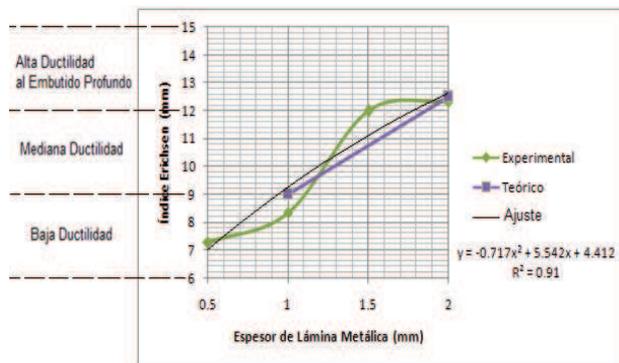


Figura 9 Ductilidad al Embutido en Aluminio 3003.

Como se puede observar en la figura 9, el índice Erichsen en aluminio 3003 no es proporcional a su espesor.

• **Análisis Acero Galvanizado:**

Para láminas de acero galvanizado, los resultados se muestran en la tabla 4.

Espesor (mm)	I.E. Experimental (mm)
0.5	10.033
1	11.083
1.5	12.033

Tabla 4 Índice Erichsen en Acero Galvanizado.

Con los datos obtenidos del índice Erichsen para el acero galvanizado, se pueden graficar sus resultados para analizar su ductilidad al embutido, como se observa en la figura 10.

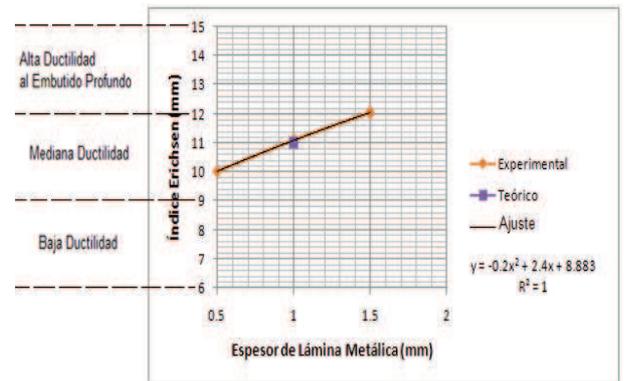


Figura 10 Ductilidad al Embutido en Acero Galvanizado.

Como se puede observar en la figura 10, el índice Erichsen en acero galvanizado se comporta de una forma directamente proporcional a su espesor.

Si los datos obtenidos en los ensayos del índice Erichsen con relación al espesor de la lámina metálica, caen en la región de:

BAJA DUCTILIDAD AL EMBUTIDO: La lámina metálica se la puede utilizar en procesos de embutición simple.

- **Embutición Simple:** Embutición en una sola fase, sin pisador de lámina y piezas con poca profundidad.

MEDIANA DUCTILIDAD AL EMBUTIDO: La lámina metálica se la puede utilizar en procesos de embutición de doble efecto.

- **Embutición de Doble Efecto:** Embutición en una sola fase, con pisador de lámina y piezas con mayor profundidad.

ALTA DUCTILIDAD AL EMBUTIDO PROFUNDO: La lámina metálica se la puede utilizar en procesos de embutición profunda.

- **Embutición Profunda:** Embutición en varias fases, con pisador de lámina y piezas con gran profundidad.

Para tener una idea general de la ductilidad al embutido de los materiales analizados, se grafican los resultados de todas las láminas ensayadas como se observa en la figura 11.

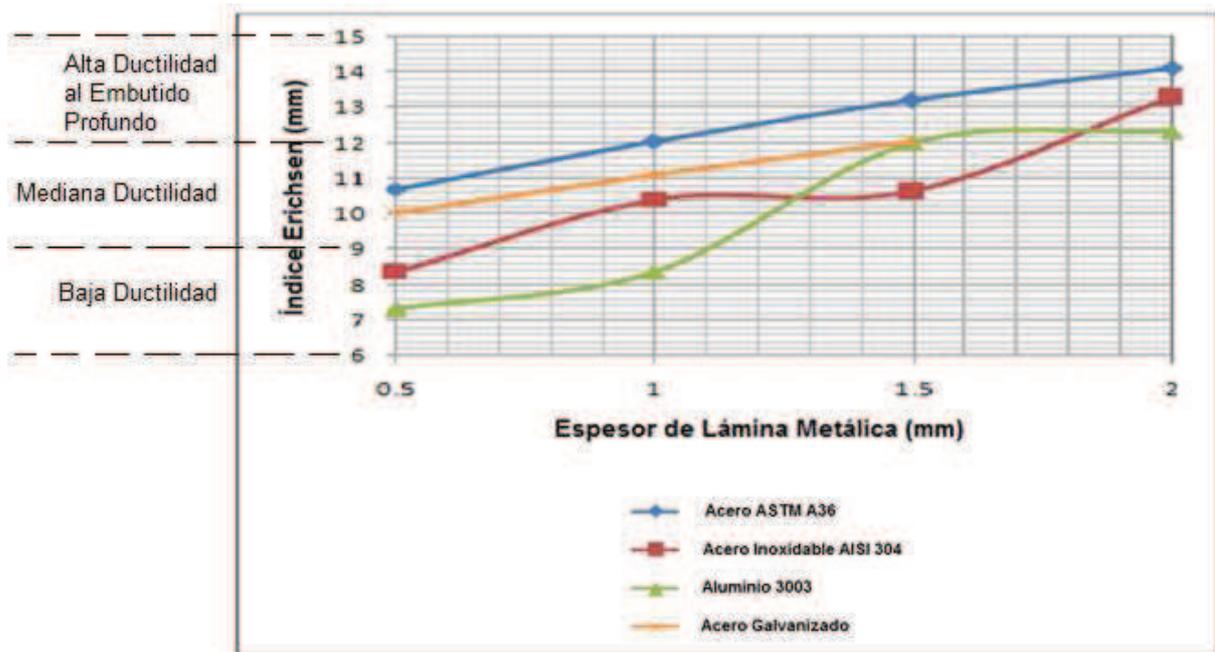


Figura 11 Espesor de Lámina vs. Índice Erichsen en Láminas Metálicas.

Como se observa en la figura 11, el acero ASTM A36 es el material que presenta mejores características de ductilidad para trabajar en procesos de embutición, seguido del acero galvanizado, en el caso del acero inoxidable se debería trabajar a partir de 1 mm de espesor para lograr buenas condiciones de ductilidad al embutido y en el caso del aluminio a partir de 1.5 mm con el fin de conseguir una mayor profundidad en la embutición.

5 CONCLUSIONES

- Se determinó el grado de embutibilidad de láminas metálicas utilizadas en la industria metalmecánica en procesos de embutición a través de ensayos tipo Erichsen.
- Se diseñó y se construyó un equipo para pruebas de embutición de láminas metálicas tipo Erichsen, cumpliendo con todas las exigencias de la norma internacional ASTM E643-09.
- Se realizó un sondeo sobre los materiales que utiliza la industria metalmecánica en procesos de embutición, para lo cual se

planificaron visitas técnicas a empresas ecuatorianas dedicadas a esta actividad.

- Se ejecutaron una serie de ensayos bajo las exigencias de la norma ASTM E643-09 con distintos tipos de láminas metálicas para determinar su grado de embutibilidad y se obtuvo una curva de ajuste en cada material ensayado para clasificarlos por su rango de embutición.

6 RECOMENDACIONES

- Una vez determinado el grado de embutibilidad de los distintos tipos de láminas metálicas ensayadas, se recomienda utilizar sus resultados para relacionarlos con la aplicación del producto fabricado.
- Se recomienda contar con el equipo Erichsen en las empresas dedicadas a elaborar productos embutidos para evitar gastos innecesarios en materia prima.
- Para realizar los ensayos en el equipo Erichsen, se recomienda antes realizar un

sondeo de las láminas utilizadas en la industria en procesos de embutición ya que existen materiales que debido a su composición química y sus tratamientos térmicos no son aptos para embutirlos.

- Se recomienda en el momento de ensayar láminas metálicas en el equipo Erichsen, tener al menos 2 probetas de diferentes espesores de un mismo material, con el fin de poder realizar una gráfica con dos puntos de referencia y poder observar el comportamiento de la ductilidad del material de acuerdo a su espesor.

BIBLIOGRAFÍA

- OEHLER G. Y KAISER. Herramientas de troquelar, estampar y embutir.
- KACZMARECK E. Estampado y embutido. 2da. ed. Buenos Aires. Ed. Nigar. 1965. 119 p.
- SHIGLEY J.E. Diseño en ingeniería mecánica. Traducido del inglés por Jesús Murrieta. 8va. ed. México D.F. Ed. McGraw-Hill. 2008. 1044 p.
- DEUTSCHMAN A., MICHELS W. Y WILSON C. Diseño de máquinas. Traducido del inglés por José Armando Garza. 2da. ed. México D.F. Ed. Continental. 1975. pp. 781-808.
- LÓPEZ NAVARRO T. Troquelado y estampación. 5ta. ed. Barcelona. Ed. Gustavo Gili. 1976. pp. 117-183.
- ROSSI M. Estampado en frío de la chapa. Traducido del italiano por Ramón Fortet. 9na. ed. Barcelona. Ed. Hoepli. 1971. 704 p.
- Arturo Córdova. 2da. ed. México. Ed. Prentice Hall Hispanoamericana. 1995. pp. 755-766.
- DEMETER T. Teoría de la construcción. 3era. ed. Polonia. s.e. 1967. pp. 22-63.
- MARKIEWICZ E. Poradnik tloczarza. Guía para el conformado mecánico. 3era. ed. Polonia. s.e. 1966. 205 p.
- FUNDACIÓN ASCAMM. Teoría de la embutición. Centre Tecnològic. MA CD3. 126 p.
- ASTM E643-09. Standard test method for ball punch deformation of metallic sheet material. s.e.2009.5p
- MOTT R.L. Diseño de elementos de máquinas. Traducido del inglés por DEMETER T. Teoría de la construcción. 3era. ed. Polonia. s.e. 1967. pp. 22-63.
- MARKIEWICZ E. Poradnik tloczarza. Guía para el conformado mecánico. 3era. ed. Polonia. s.e. 1966. 205 p.
- FUNDACIÓN ASCAMM. Teoría de la embutición. Centre Tecnològic. MA CD3. 126 p.
- ASTM E643-09. Standard test method for ball punch deformation of metallic sheet material.

Ing. Hernán Ojeda R.

Director

Ing. Borys CulquiC.

Codirector