



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA
Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

**DESARROLLO DE SISTEMA DE CONTROL DE FUERZA
DE EMBUTICIÓN PARA LA PROTECCIÓN MECÁNICA
DE UNA PRENSA DE BIELAS**

Trabajo Final del Grado en Ingeniería Mecánica

Autor: **Adrián Casarrubio Oliver**

Tutor: **César Iribarren Navarro**

CURSO ACADÉMICO: 2020/2021

Índice

| | |
|--|----|
| 1-Objeto del proyecto..... | 8 |
| 2-Descripción del entorno..... | 9 |
| 2.1. Historia de Ford Motor Company..... | 9 |
| 2.2. Antecedentes históricos en España..... | 16 |
| 2.3. Características generales del entorno..... | 23 |
| 2.3.1. Planta de motores..... | 24 |
| 2.3.2. Planta de prensas..... | 25 |
| 2.3.3. Planta de carrocerías..... | 26 |
| 2.3.4. Planta de pinturas..... | 27 |
| 2.3.5. Planta de montaje..... | 28 |
| 3-Análisis de situación actual..... | 29 |
| 3.1. Descripción de la prensa..... | 29 |
| 3.1.1. Descripción general..... | 29 |
| 3.1.2. Conjunto cabezal..... | 29 |
| 3.1.3. Conjunto freno-embrague..... | 30 |
| 3.1.4. Sistema de accionamiento Link-Drive..... | 31 |
| 3.1.5. Sistema anti sobrecargas..... | 34 |
| 3.1.6. Carro porta-útiles..... | 35 |
| 3.1.7. Cojín hidráulico..... | 36 |
| 3.2. Función de la prensa en la línea de producción..... | 37 |
| 3.3. Galgas extensiométricas..... | 39 |
| 3.4. Cálculo descentramiento..... | 40 |
| 3.5. Relación fuerza-posición angular..... | 46 |
| 4-Propuesta de mejora..... | 47 |
| 4.1. Criterios iniciales..... | 47 |
| 4.2. Criterio del límite físico..... | 49 |
| 4.3. Criterio final..... | 52 |
| 5-Comprobaciones..... | 55 |
| 6-Análisis económico..... | 58 |

| | |
|--|----|
| 7-Anexos..... | 59 |
| 7.1. Datos técnicos de la prensa L113-1..... | 59 |
| 7.2. Datos de pisado usados en las comprobaciones..... | 60 |
| 8-Bibliografía..... | 79 |

Índice de Figuras

| | |
|---|----|
| Figura 2.1: Logo de Ford Motor Company..... | 9 |
| Figura 2.2: Henry Ford..... | 9 |
| Figura 2.3: Modelo A de 1903..... | 9 |
| Figura 2.4: Modelo T de 1908..... | 10 |
| Figura 2.5: Logo de Oldsmobile a principios del s. XX..... | 10 |
| Figura 2.6: Modelo Curved Dash de Oldsmobile..... | 10 |
| Figura 2.7: Línea de montaje de Ford..... | 11 |
| Figura 2.8: Lincoln modelo L de 1923..... | 12 |
| Figura 2.9: Ford Modelo A de 1927..... | 12 |
| Figura 2.10: Motor Flathead V8 de 1932..... | 12 |
| Figura 2.11: Jeeps fabricados por Ford..... | 13 |
| Figura 2.12: B-24 Liberator | 13 |
| Figura 2.13: Ford Thunderbird de 1954..... | 13 |
| Figura 2.14: Ford Mustang de 1964 | 13 |
| Figura 2.15: Ford GT de primera generación..... | 14 |
| Figura 2.16: GAZ-A..... | 14 |
| Figura 2.17: Distribución de las factorías actuales de Ford en Europa..... | 15 |
| Figura 2.18: Fábrica de Ford en Cádiz..... | 16 |
| Figura 2.19: Ford T Roadster..... | 16 |
| Figura 2.20: Ford T Landalet..... | 16 |
| Figura 2.21: Fábrica de Ford en Barcelona..... | 17 |
| Figura 2.22: Terrenos acondicionados de la factoría de Almussafes..... | 19 |
| Figura 2.23: Henry Ford II y el Juan Carlos I en la inauguración de la factoría en 1974 | 20 |
| Figura 2.24: Primer Fiesta en salir de la línea de producción de la planta de Almussafes..... | 20 |
| Figura 2.25: Vista aérea de la factoría y del parque de proveedores..... | 21 |
| Figura 2.26: Vista general de la planta..... | 23 |
| Figura 2.27: Ejemplo de cortadora..... | 24 |
| Figura 2.28: LayOut de la planta de prensas..... | 25 |
| Figura 2.29: Línea L-113..... | 26 |
| Figura 3.1: Conjunto cabezal de la prensa..... | 29 |

| | |
|---|----|
| Figura 3.2: Volante de inercia y embrague..... | 30 |
| Figura 3.3: Freno del volante de inercia..... | 31 |
| Figura 3.4: Gráfica Velocidad-Aceleración-Posición del sistema Link-Drive..... | 32 |
| Figura 3.5: Sistema Link-Drive..... | 32 |
| Figura 3.6: Tonelaje máximo admisible por la prensa en función del ángulo de la excéntrica... | 33 |
| Figura 3.7: Manómetro del sistema anti sobrecargas..... | 34 |
| Figura 3.8: Motor del carro porta-útiles..... | 35 |
| Figura 3.9: Comparación entre la cinemática del carro y del cojín hidráulico..... | 36 |
| Figura 3.10: Pieza final de la L-113..... | 37 |
| Figura 3.11: Representación de la matriz superior..... | 37 |
| Figura 3.12: Representación de la matriz inferior..... | 38 |
| Figura 3.13: Plano general de la línea L-113..... | 38 |
| Figura 3.14: Flowchart de la línea L-113..... | 38 |
| Figura 3.15: Simplificación de la mesa de la prensa..... | 40 |
| Figura 3.16: Análisis estático inicial..... | 41 |
| Figura 3.17: Análisis estático para F_{tras} | 41 |
| Figura 3.18: Análisis estático para F_{del} | 42 |
| Figura 3.19: Análisis estático para F_T (frontal)..... | 43 |
| Figura 3.20: Análisis estático para F_{izq} | 44 |
| Figura 3.21: Análisis estático para F_{der} | 44 |
| Figura 3.22: Análisis estático para F_T (lateral)..... | 45 |
| Figura 3.23: Gráfica de la relación entre fuerza máxima y la distancia al PMI..... | 46 |
| (punto muerto inferior) | |
| Figura 4.1: Representación de las áreas definidas por el criterio inicial..... | 47 |
| Figura 4.2: Fuerza máxima a lo largo del eje X para el criterio del límite de norma..... | 48 |
| Figura 4.3: Fuerza máxima a lo largo del eje Y para el criterio del límite de norma..... | 49 |
| Figura 4.4: Fuerza máxima a lo largo del eje X para el criterio del límite físico..... | 51 |
| Figura 4.5: Fuerza máxima a lo largo del eje Y para el criterio del límite físico..... | 51 |
| Figura 4.6: Fuerza máxima a lo largo del eje X para el criterio final..... | 52 |
| Figura 4.7: Fuerza máxima a lo largo del eje Y para el criterio final..... | 52 |
| Figura 4.8: Matriz resultante..... | 53 |

| | |
|---|----|
| Figura 4.9: Vista ampliada del centro de la matriz..... | 53 |
| Figura 4.10: Gráfico de superficie..... | 54 |
| Figura 5.1: Comparación entre el límite máximo admisible..... | 56 |
| de fuerza por posición angular y la fuerza ejercida por la prensa | |
| Figura 5.2: Comparación entre la fuerza máxima admisible..... | 56 |
| por descentramiento y la ejercida por la prensa para el eje X | |
| Figura 5.3: Comparación entre la fuerza máxima admisible..... | 57 |
| por descentramiento y la ejercida por la prensa para el eje Y | |

Índice de Tablas

| | |
|--|----|
| Tabla 6.1: Costes de recursos humanos..... | 58 |
| Tabla 6.2: Costes de los equipos instalados..... | 58 |
| Tabla 6.3: Costes finales..... | 58 |
| Tabla 7.1: Datos técnicos de la prensa L-113-1..... | 59 |
| Tabla 7.2: Datos de la fuerza de pisado para cada posición angular de la excéntrica..... | 60 |
| Tabla 7.3: Datos de la posición X del descentramiento de la fuerza..... y límite de fuerza calculado para tal descentramiento | 64 |
| Tabla 7.4: Datos de la posición Y del descentramiento de la fuerza y..... límite de fuerza calculado para tal descentramiento | 69 |
| Tabla 7.5: Comparación entre la fuerza máxima admisible para cada posición angular..... (F-Angulo) y la fuerza total ejercida por la prensa en cada posición (Ft) | 74 |

1-Objeto del proyecto

El objetivo del proyecto es desarrollar un sistema de control de fuerza de embutición para proteger una prensa mecánica de bielas. Para ello, se desarrollará un algoritmo para poder calcular el descentramiento de fuerzas que tiene lugar en la mesa de la matriz de la prensa.

El proyecto se realizará en la planta de prensas de la factoría de Ford Almussafes, dentro del convenio de colaboración entre la Universitat Politècnica de València y la Escuela Universitaria de Ford España, mediante el cual los alumnos pueden realizar prácticas de empresa y el Trabajo Fin de Grado en la susodicha factoría.

Se trata de una prensa que, para obtener el movimiento y la fuerza verticales necesarios para el proceso de embutición, transforma el movimiento de giro y el par generados por un motor eléctrico en fuerza y movimiento vertical mediante un mecanismo excéntrico. El par total del motor se divide entre cuatro bielas, cada una colocada en una esquina de la mesa de la prensa, las cuales transmiten una parte de la fuerza total, de manera que la suma de las cuatro fuerzas nos da como resultado el tonelaje total que está ejerciendo la prensa.

En un caso ideal, la fuerza se distribuiría de manera equitativa entre las cuatro bielas, es decir, cada biela ejercería una cuarta parte de la fuerza total hacia su pie de biela correspondiente.

En la realidad, debido a factores como la actuación de los cojinetes hidráulicos de amortiguación, la forma de la matriz, o la forma de la pieza a obtener, la resultante de las fuerzas suele estar descentrada respecto al centro de la mesa. Si esto ocurre, se generan momentos torsores que afectan al bastidor de la prensa y que, si superan cierto valor, pueden dar lugar a deformaciones inadmisibles que acorten la vida útil de los troqueles y de la propia prensa.

Para evitar que se generen estos momentos torsores y los fallos asociados, se implementará el algoritmo desarrollado en el HMI de la prensa, para poder seguir en tiempo real el descentramiento de la fuerza y poder corregir por lo tanto las desviaciones que superen los valores máximos admisibles.

Para obtener con precisión la fuerza que está ejerciendo cada biela, los pies de biela llevan acopladas galgas extensiométricas que, a partir de la deformación que sufren, nos proporcionan el valor de la fuerza.

Con todo esto, se pretende obtener un mejor conocimiento de los esfuerzos a los que se somete la prensa mientras trabaja, detectar posibles sobrecargas, y aumentar en consecuencia el tiempo medio antes de fallo de la misma.

2-Descripción del entorno

En este apartado se detallarán la historia y los detalles de la empresa donde se han realizado las prácticas y el proyecto, así como una visión general del entorno de la factoría de Ford Almussafes.

2.1. Historia de Ford Motor Company

La empresa fue fundada en 1903 por Henry Ford con la ayuda de 28.000 dólares provenientes de 12 inversores, entre ellos el propio Ford. La primera fábrica se abrió en Detroit, Michigan, ciudad a la que le propio Ford había emigrado pocos años antes para trabajar como ingeniero en la compañía Edison.



Figura 2.1: Logo de Ford Motor Company

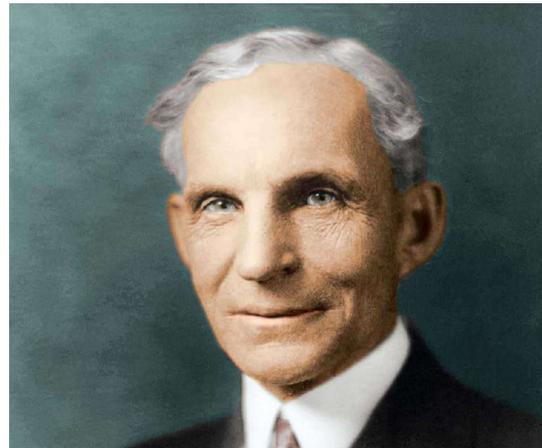


Figura 2.2: Henry Ford

Desde este año y hasta 1913, destaca la producción de los modelos A, B y N, fabricados en 1903, 1904 y 1906 respectivamente. Estos vehículos se fabricaban mediante grupos de dos o tres hombres que trabajaban en cada automóvil de manera individual, utilizando componentes comprados a otras compañías.



Figura 2.3: Modelo A de 1903

Sin embargo, el modelo que supuso un punto de inflexión tanto para la propia compañía como para el mundo del automóvil fue el modelo T. Este empezó a fabricarse en 1908 y fue un éxito inmediato, debido a, entre otros factores, su bajo precio (825 dólares en 1908) y su robustez.



Figura 2.4: Modelo T de 1908

Ya desde finales del siglo XIX, Detroit se estaba convirtiendo en un punto de encuentro para las diferentes empresas de la recién nacida industria del automóvil. Fue en esta misma ciudad donde se asentaron las primeras bases de la producción en cadena moderna, que más adelante se denominaría “fordismo”, y que sería el proceso de producción dominante en el mundo hasta los años setenta de este mismo siglo, hasta la llegada de la crisis del petróleo y de la consiguiente adopción del denominado “toyotismo”.

Ya en 1901, Ransom Eli Olds fue el pionero en la patente y puesta en práctica de los principios de las cadenas de montaje modernas, fabricando su empresa Oldsmobile el que es considerado el primer coche fabricado en masa de la historia, el modelo Curved Dash, que se produjo desde 1901 hasta 1907 y del que se vendieron un total de 19.000 unidades.

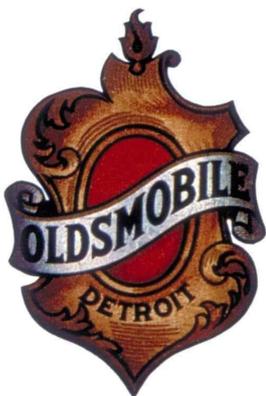


Figura 2.5: Logo de Oldsmobile a principios del s. XX



Figura 2.6: Modelo Curved Dash de Oldsmobile

Esta primera línea de montaje incluía características como estaciones de trabajo fijas a lo largo de la línea de montaje, piezas estandarizadas e intercambiables y el hecho de que los operarios se dedicaran a realizar trabajos muy específicos, sencillos y repetitivos.

Asimismo, la empresa Cadillac, de la mano del ingeniero Henry M. Leland, fue pionera en la implementación de la técnica de utilización de piezas intercambiables y estandarizadas en la industria del automóvil.

Volviendo a Ford, 1913 fue el año en que la empresa implementó y mejoró estos principios anteriormente expuestos, de la mano de un equipo compuesto por cuatro directivos llamados Charles E. Sorensen, Clarence Avery, Ed Martin y Walter Flanders. Las mejoras que implementó este equipo al proceso de producción en cadena y que diferenciarían a la compañía de la competencia serían el empleo de mano de obra no cualificada (granjeros que acudían a la ciudad en busca de empleo), la mayor subdivisión de las tareas hasta su mínima expresión y llevar los componentes hasta los trabajadores en su puesto de trabajo, evitando que estos tengan que desplazarse para obtenerlos y reduciendo consecuentemente los tiempos muertos en la producción.



Figura 2.7: Línea de montaje de Ford

Con la implementación de estas técnicas, se consiguió la reducción tanto del coste de producción de los vehículos como del precio de venta, obteniendo así un mayor número de ventas y aumentando los beneficios. El tiempo medio de producción pasó, por lo tanto, de las 12.5 horas iniciales para el modelo T a un total de 93 minutos con estas nuevas técnicas, y a bajar el precio de venta del coche a 260 dólares para 1925.

En 1922, Ford compra la empresa automovilística Lincoln, que desde ese momento y hasta nuestros días se convertiría en la marca bajo la que se venderían los vehículos más premium y de lujo.



Figura 2.8: Lincoln modelo L de 1923

En 1927, se presentó en el Salón del Automóvil de Nueva York el que sería el sucesor del exitoso modelo T, el renovado modelo A. De este modelo se vendieron más de cinco millones de unidades entre su lanzamiento en 1928 y 1931, a pesar de las dificultades económicas surgidas durante la Gran Depresión. En el contexto de estas mismas dificultades económicas, en 1932 se lanzó al mercado el primer motor V8 de producción en serie y accesible para el público general, un motor revolucionario que se podía equipar al modelo A y que ofrecía una potencia máxima de 65 CV. Se le denominó Flathead V8 por el hecho de que la parte superior del mismo era completamente plana.



Figura 2.9: Ford Modelo A de 1927



Figura 2.10: Motor Flathead V8 de 1932

En el contexto de la Segunda Guerra Mundial, en 1941 Ford comenzó la fabricación de jeeps para el ejército de EE.UU., el denominado Ford GP. Asimismo, en 1942 la empresa paralizó su producción regular de vehículos civiles para dedicarse en exclusiva a la fabricación de material bélico, produciendo un gran número de vehículos, aviones, tanques y motores.

Por poner un ejemplo, se fabricaron más 8.000 bombarderos B-24 Liberator entre 1942 y el final de la guerra en 1945.



Figura 2.11: Jeeps fabricados por Ford



Figura 2.12: B-24 Liberator

A partir de 1945, el nieto del fundador de la compañía, al que se conocería como Henry Ford II, se convertiría en el presidente de la misma después de la retirada de su abuelo de la vida laboral y de la prematura muerte de su padre Edsel en 1943.

El primer modelo que produciría la compañía que rompería completamente con los estándares de diseño de antes de la guerra sería el Ford 1949, que se presentaría en 1948, con su diseño completamente rompedor para la época, aerodinámica testeada en túnel de viento y un motor V8 mejorado.

En los sucesivos años se irían desarrollando los modelos más icónicos de la marca, muchos de los cuales son aun hoy en día conocidos incluso en Europa, como el Thunderbird en 1954 o el Mustang en 1964. Tras varios años de desarrollo, el Ford GT sería el ganador de las 24 horas de Le Mans en 1968, demostrando la competitividad de la empresa para desarrollar y fabricar coches deportivos a la altura del resto de marcas.



Figura 2.13: Ford Thunderbird de 1954



Figura 2.14: Ford Mustang de 1964



Figura 2.15: Ford GT de primera generación

En los años 80 y 90 la compañía llevó a cabo un importante proceso de expansión, adquiriendo participación con otras marcas y siendo propietaria de marcas como Land Rover, Volvo, Jaguar, Aston Martin y Ghia. También llegó a poseer en 1996 el 33% de las acciones la compañía nipona Mazda, que fue adquiriendo poco a poco desde 1979, aunque hoy en día y sobre todo desde 2015 la colaboración entre ambas empresas se ha reducido considerablemente.

En lo que respecta la historia de Ford en Europa, la marca se introdujo en 1921 en Gran Bretaña y en 1931 abrió su primera factoría en Alemania. Incluso se llegó a un acuerdo con la Unión Soviética, que compró en 1929 los derechos de todas las tecnologías de la marca y de las que se desarrollaran en la próxima década. Así se abrió una factoría en Nizhni Nóvgorod donde se fabricaría una versión licenciada del modelo A, denominada GAZ-A.



Figura 2.16: GAZ-A

En la actualidad, Ford cuenta en Europa con una serie de instalaciones repartidas a lo largo de varios países, siendo estos: España, Francia, Alemania, Reino Unido, Rumanía, Eslovaquia, Rusia y Turquía.



Figura 2.17: Distribución de las factorías actuales de Ford en Europa

Entre estos países están distribuidas las siguientes plantas:

- 8 plantas de montaje
- 6 plantas de motores
- 2 plantas de forjado
- 5 plantas de cajas de cambios

2.2. Antecedentes históricos en España

La primera agencia comercial de la marca en España se abrió en 1907 en Barcelona, y contó únicamente con 5 unidades vendidas el primer año, aunque para el segundo ascendieron a 190.

En el contexto del final de la Primera Guerra Mundial, la marca se planteó abrir una factoría para cubrir la distribución en el sur de Europa y el norte de África. Finalmente se escogió la localidad andaluza de Cádiz, debido a su excelente posición geográfica y su puerto.

El establecimiento de la compañía en Cádiz se autorizó en 1919, y en 1920 comenzó la producción. En esta fábrica se ensamblaban conjuntos prefabricados y traídos en barco desde EE.UU. o Gran Bretaña correspondientes al modelo T. El precio de venta de los modelos T en España en esta época era de 6000 pesetas para el modelo roadster (con carrocería abierta) y de 9900 para el landaulet (carrocería cerrada).



Figura 2.18: Fábrica de Ford en Cádiz



Figura 2.19: Ford T Roadster



Figura 2.20: Ford T Landaulet

En 1921, la producción cesó en la factoría de Cádiz debido a la agitación social, las elevadas tarifas aduaneras del momento, los problemas que tuvo la empresa para vender los coches producidos y tanto la falta de mano de obra especializada como de proveedores locales en la provincia de Cádiz, debido esto último a que se trataba de una zona sin tradición industrial.

En 1923, se decidió mover la producción a Barcelona, una de las zonas de España donde primero se asentó la industria moderna históricamente y de las más industrializadas en el país en el momento, lo que comportaba una mayor facilidad para encontrar mano de obra especializada y proveedores y talleres locales. Desde los primeros planes de instauración de la compañía en el país, Barcelona había estado en el punto de mira, pero se desestimó en favor de Cádiz en un principio para evitar la conflictividad laboral, ya que en estos años los movimientos anarquistas y sindicales estaban en su punto álgido en la ciudad condal. En marzo de este mismo año comenzó la producción en unas naves que la compañía alquiló para continuar con el ensamblaje de conjuntos prefabricados. Esta nueva nave estaba ubicada muy cerca de lo que hoy en día es el puerto deportivo de la ciudad.



Figura 2.21: Fábrica de Ford en Barcelona

En 1928 se empezó a ensamblar también el modelo A, y en 1929 la filial se transformó en Ford Motor Ibérica SA Española. En los años posteriores también se ensamblaron los modelos 8 HP y V8.

El principal problema que tenía la marca en España era que bajo la dictadura de Primo de Rivera (1923-1930) y también la denominada “dictablanda” de Berenguer (1930-1931), el país resultaba ser en el que más caro costaba producir un coche de toda Europa, debido a los altos impuestos a las importaciones que estos regímenes imponían como medio para intentar incentivar la industria nacional. La marca incluso llegó a cerrar en 1930 la planta como protesta ante una decisión del gobierno de subir incluso más los impuestos.

En abril de 1931 se proclamó la Segunda República, y el nuevo gobierno llevó a cabo rápidamente una reorganización de la producción industrial y de las políticas arancelarias, entre las que se incluye una reducción bastante considerable de los aranceles a las importaciones, y más concretamente bonificaciones arancelarias para los conjuntos de vehículos importados destinados a ser montados en el país con la incorporación de elementos de fabricación nacional. Debido a estas nuevas circunstancias políticas, económicas y fiscales tan beneficiosos para la actividad de Ford en el país, junto con la diversificación de la gama de modelos en estos años, la filial consiguió prosperar considerablemente durante el periodo republicano, llegando a ser en 1935 la segunda filial con mayores beneficios de Europa de la marca, solo por detrás de la inglesa. Esta situación tan favorable llevó a plantear un proyecto para trasladar la producción de las naves alquiladas a un nuevo emplazamiento, una fábrica propia construida en el Puerto Franco de Barcelona, con el fin de ampliar la producción. En 1936 una delegación de arquitectos de EE.UU. visitó la zona para levantar los planos de la nueva factoría.

Sin embargo, con el golpe de estado de julio de 1936 y el consiguiente estallido de la Guerra Civil, estos planes de ampliación se cancelaron. Este conflicto fue desastroso para la compañía, que perdió más de un millón de dólares durante el mismo. El ensamblaje de vehículos se detuvo y la actividad se redujo únicamente a la fabricación e importación de piezas de recambio.

Ante un conflicto de intereses con el régimen franquista que se fue desarrollando desde el final de la guerra, en 1954 Ford USA optó por vender el total de sus acciones de Ford Ibérica y al mismo tiempo comprar el 100% de las participaciones de Ford Portugal, que hasta aquel entonces estaba integrada en la filial española. Con esto, la presencia fabril de la marca en el país desaparecería totalmente hasta dos décadas después.

Desde 1963, dentro de Ford se empezó a gestar la idea de crear un “coche mundial”, un modelo de automóvil que fuera comercializado con éxito y reconocido a lo largo del mundo, que gozara de una popularidad y prestigio similares al modelo T en su momento.

A principios de la década de los 70, llegó una crisis económica y energética mundial provocada en gran medida por el embargo del petróleo, que entre otras consecuencias provocó un aumento del precio de los combustibles fósiles. Debido a estas circunstancias, en Europa empezó a crecer la demanda de automóviles del segmento B, que cumplieran las características de ser económicos, compactos y eficientes en cuanto a consumo. Otros fabricantes comenzaron a suplir esta demanda con modelos como el Fiat 127 y el Renault 5, y Ford no quería quedarse atrás.

Teniendo en cuenta las circunstancias anteriormente expuestas, el desarrollo del nuevo modelo Fiesta comenzó a gestarse dentro de la filial europea de la marca, y se decidió abrir una nueva factoría ubicada en el sur de Europa, región donde la demanda de este tipo de vehículos era especialmente alta.

España fue finalmente el país elegido para albergar la nueva planta. Esta elección se debe a factores estratégicos como la posición geográfica del país, a la presencia de mano de obra más barata que en el resto de países de Europa occidental y a sus puertos de gran tráfico de mercancías, por un lado, y por otro a las políticas de apertura económica internacional que el régimen franquista llevaba ya varios años llevando a cabo en general, y a las concesiones económicas que acabó pactando con la compañía en particular (los llamados “Decretos Ford”).

Finalmente, el emplazamiento elegido fueron unos terrenos hasta el momento ocupados por huertos de naranjos en la localidad valenciana de Almussafes. La elección de este emplazamiento se debió principalmente a lo plano que era el terreno, la proximidad y buena comunicación por carretera con el puerto y la siderurgia de Sagunto y asimismo como con el propio puerto de Valencia (situado a 25 km por carretera del emplazamiento). Estos dos últimos fueron los factores más decisivos, ya que los altos hornos constituían un proveedor excelente de bobinas de acero para la fabricación de carrocerías, y el puerto de Valencia era el primero de todo el Mediterráneo en cuanto a tránsito de contenedores.



Figura 2.22: Terrenos acondicionados de la factoría de Almussafes

El anuncio público de la decisión se hizo el 14 de junio de 1973, y en los siguientes meses se negoció la compra de 636 huertos, que combinados suman una superficie de 270 hectáreas. El proceso de negociación y compra terminó en diciembre de ese mismo año. El 4 de este mismo mes, se hace pública la decisión de la compañía de fabricar en la planta el modelo Fiesta, y junto con ella la de construir también una planta de motores. Esta última decisión fue tomada en gran medida para poder cumplir con los acuerdos pactados con el gobierno franquista, que obligaban a que al menos un 50% de los componentes del vehículo fueran de fabricación nacional.

Los procesos de acondicionamiento del terreno comenzaron en enero de 1974, y en marzo de este mismo año Henry Ford II (el nieto del fundador de la compañía) viajó a Valencia para colocar de forma honorífica la primera piedra de la factoría.



Figura 2.23: Henry Ford II y el Juan Carlos I en la inauguración de la factoría en 1974

Los trabajos de construcción terminaron en septiembre de 1975, y este mismo mes se fabricó la primera serie de 500 motores, destinados a pruebas de validación.

El primer Fiesta fabricado en Almussafes salió de la línea de montaje el 18 de octubre de 1976, siendo este el primer vehículo fabricado íntegramente en España por Ford. La factoría fue inaugurada oficialmente el 25 de octubre de este mismo año.



Figura 2.24: Primer Fiesta en salir de la línea de producción de la planta de Almussafes

Desde este momento y hasta 1981, en la planta de Almussafes se fabricaría únicamente el modelo Fiesta, y parte de los motores fabricados estarían destinados a abastecer la factoría de Saarlouis, en Alemania, y la de Dagenham en Gran Bretaña. Este mismo año se introdujo el modelo Escort a la producción de Almussafes.

En 1988 se inició la construcción en Puerto del Real (Cádiz) de una fábrica de componentes electrónicos, llamada Cádiz Electrónica SA. Esta planta suministraría a Almussafes hasta su cierre en 2011. La construcción de esta nueva planta se debió en parte a un cambio de las políticas impositivas en España, que suponía una reducción considerable de los aranceles impuestos a los productos importados.

En 1995 se inauguró el Parque Industrial Juan Carlos I, adyacente a la planta de Ford, que se encarga de suministrar componentes a la factoría, con unos 70 proveedores diferentes. El sistema de suministro de los componentes hacia la propia fábrica de Ford fue un proyecto pionero a nivel mundial, contando con unas rampas automatizadas que suministran las piezas directamente a las zonas necesarias de la cadena de montaje.



Figura 2.25: Vista aérea de la factoría y del parque de proveedores

En marzo de este mismo año, se anunció que la factoría de Almussafes dejaría de fabricar el Fiesta para dar paso a un nuevo modelo, el KA. El modelo emblemático de la factoría volvería a fabricarse en Almussafes entre los años 2000 y 2012.

Los modelos fabricados en la planta anteriores a los producidos actualmente son los siguientes:

- Ford Fiesta (1976-1996, 2000-2012)
- Ford Escort (1981-1998)
- Ford Orion (1983-1993)
- Ford KA (1996-2008)
- Ford Focus (1998-2011)
- Mazda 2 (2002-2007)

En la actualidad, los modelos producidos son los siguientes:

- Ford S-Max
- Ford Galaxy
- Ford Mondeo
- Ford Kuga
- Ford Transit

Asimismo, también se fabrican componentes destinados a su ensamblaje en otras plantas de Europa. Por ejemplo, se estampan conjuntos de chasis y carrocería correspondientes al nuevo modelo Puma, destinados a ser enviados en carguero a la planta de Ford en Craiova (Rumanía).

2.3. Características generales del entorno

Las prácticas de empresa en las que se basa el desarrollo de este proyecto se han llevado a cabo en la factoría de Ford España SA en Almussafes, más concretamente en la planta de prensas de la misma. En este apartado se describirá de manera general la factoría de Almussafes y más concretamente la planta de prensas.

La factoría está ubicada en el término municipal de Almussafes (Valencia), en el kilómetro 40.5 de la carretera N320. Cuenta con una superficie total de 270 hectáreas, de las cuales 59'2 están ocupadas por edificios. En su interior hay un total de más de 15 km de carreteras y más de 12 km de vías de ferrocarril. Se trata de la factoría más grande de Ford de todo el mundo en lo que a superficie total respecta.

La planta cuenta con un número aproximado de 7400 trabajadores (a fecha de febrero de 2021), que reparten en 3 turnos de trabajo.

Las seis grandes áreas en que se divide la factoría son las siguientes:

- Área de fabricación de Vehículos (incluye las plantas de prensas, carrocerías, montaje y pinturas).
- Planta de Motores.
- Planta motriz (encargada de producir y suministrar energía para toda la factoría).
- Planta de recambios.
- Planta piloto (encargada de supervisar el lanzamiento de nuevos modelos).
- Departamento de servicios (incluye oficinas centrales, centro de formación, e instalaciones deportivas).

A continuación, se describirán las plantas dedicadas a la fabricación de vehículos:

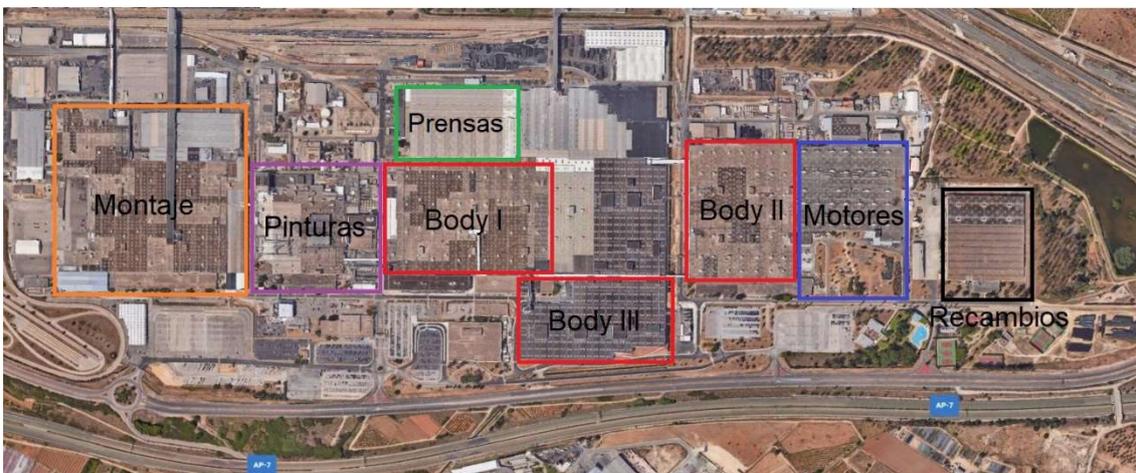


Figura 2.26: Vista general de la planta

2.3.1. Planta de motores

La planta de motores es un ente independiente al resto de la factoría de Almussafes, que trabaja integrada dentro de la división internacional de motores de Ford.

Las partes en que se divide la planta son las siguientes:

- Árboles de levas
- Cigüeñales
- Bielas
- Bloques de motor
- Culatas
- Montaje y pruebas de banco

2.3.2. Planta de prensas

En esta planta se fabrican los chasis y las carrocerías de todos los modelos que se fabrican en esta factoría, mediante procesos de estampación de chapa.

La planta consta de un total de cuatro líneas de corte de chapa, que son la 21, 22, 23 y 24. Entre las líneas 23 y 24 se observa una volteadora. Las líneas de corte se encargan de cortar en las proporciones adecuadas los rollos de bobina de metal de los que se extraen las láminas que conformarán las piezas después de someterse a los procesos de estampado pertinentes. Las líneas 21, 22 y 23 cuentan con dos apiladores cada una, uno trasero y otro lateral, y la 24 cuenta solo con un apilador trasero. La función de estos apiladores es almacenar de manera provisional los paneles de chapa una vez cortados para su posterior transporte al almacén o a la línea de producción.

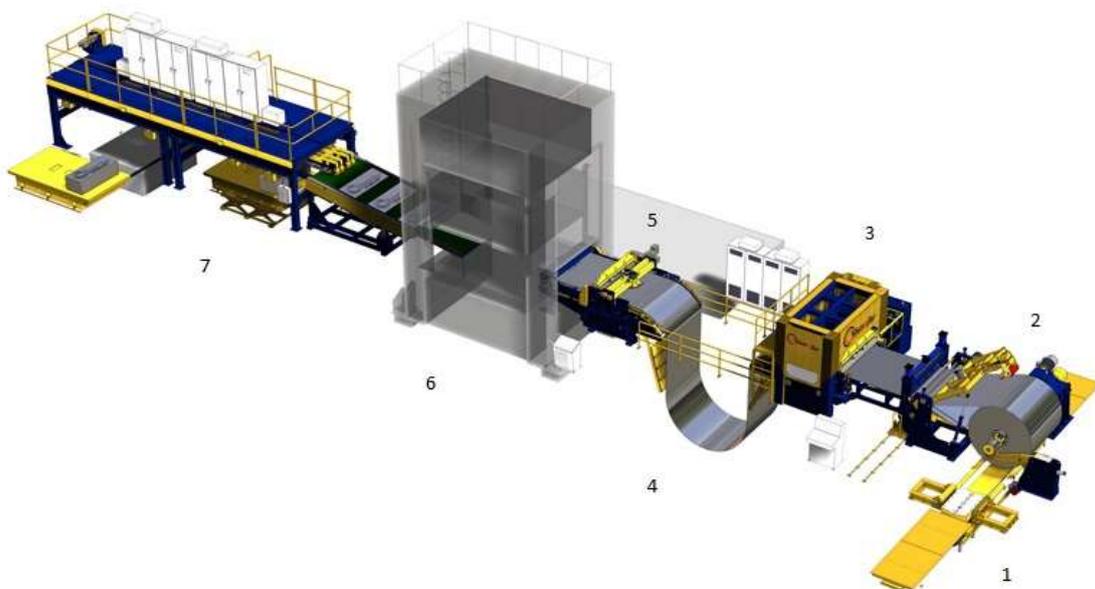


Figura 2.27: Ejemplo de cortadora

En la *Figura 2.27* puede observarse una cortadora y los procesos que esta lleva a cabo. Primero se desenrolla y aplana la chapa desde la bobina, para posteriormente ser cortada en las proporciones adecuadas y apilada. En el punto 4 se observa como la lámina cae hacia un foso después de desenrollarse para posteriormente volver a subir y ser cortada. Este proceso se lleva a cabo porque la velocidad de desenrollado es constante, pero la de corte es intermitente al tener que parar la lámina momentáneamente al realizarse el corte. Mediante este proceso, se consigue optimizar el proceso general de corte al no tener que parar el desenrollado, ya que al haber chapa extra en el foso se evitan deformaciones en la misma cuando se detiene para el golpe de corte.

A continuación, dispone de 13 líneas de estampado, denominadas L-101, L-102, L-103, L-104, L-105, L-106, L-107, L-108, L-109, L-110, L-111, L-112, L-113 y L-114. Cada una de ellas está formada por varias prensas colocadas en línea que se encargan de estampar y dar forma a la pieza, entrando las láminas previamente cortadas por las denominadas prensas de cabecera, que aplican el primer proceso a las piezas, y saliendo estas ya completamente formadas por la última prensa de la línea. Estas líneas cuentan con prensas tanto de doble como de simple efecto, exceptuando las L-110 y L-114, que cuentan cada una con una prensa triaxial.

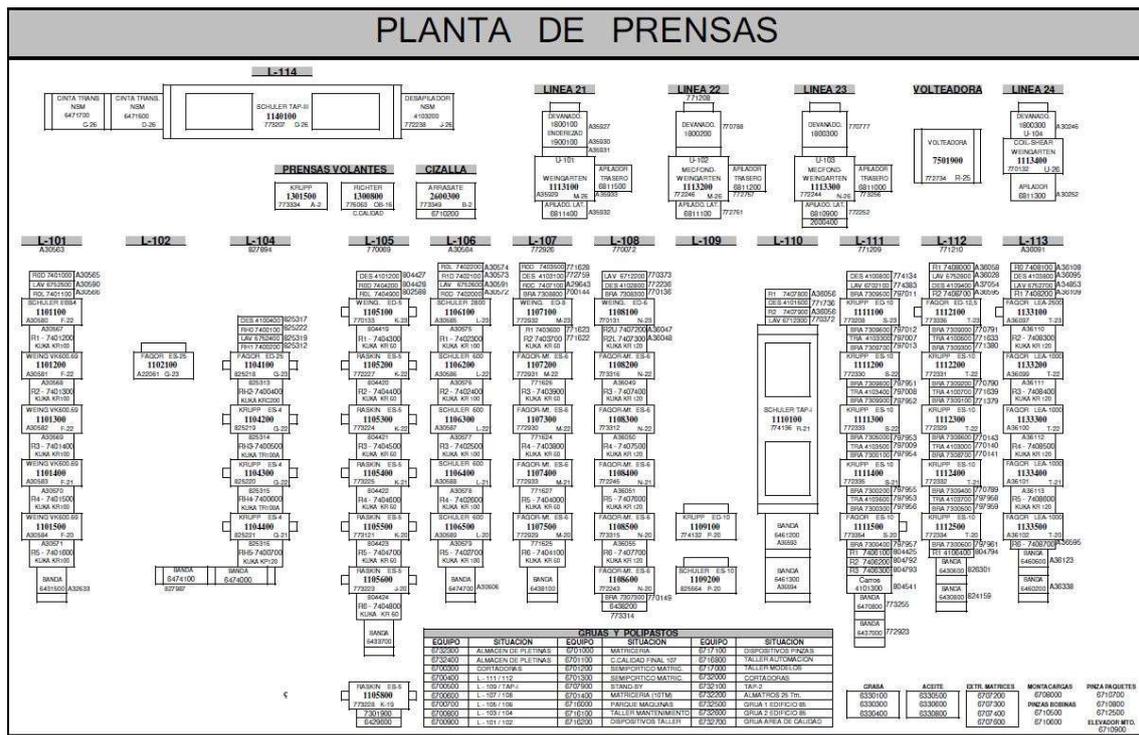


Figura 2.28: LayOut de la planta de prensas

Todas las prensas de estampado cuentan con unas cintas de transporte colocadas en su parte inferior, que transportan los sobrantes de la estampación a una prensa subterránea. Esta se encarga de comprimir y acumular los residuos en cubos, que son devueltos a los hornos de fundición para ser convertidos nuevamente en bobinas de lámina de chapa.

El proyecto que vamos a desarrollar se llevará a cabo en la prensa de cabecera de la línea L-113, denominada L-133-1. Se aplica únicamente a esta prensa porque es la primera vez que se van a realizar estas mediciones, y una vez comprobada su eficacia se plantearía implementarlo en el resto de prensas en las que se sospeche que pueda haber problemas como los que se expondrán en los apartados posteriores.



Figura 2.29: Línea L-113

2.3.3. Planta de Carrocerías

La planta de carrocerías está dividida en tres edificios o plantas diferentes, denominadas Body I, Body II y Body III.

En estas plantas se realiza el proceso de unión de las diferentes piezas de chasis y carrocerías que salen estampadas de la planta de prensas. Para unir las, se utilizan puntos de soldadura.

Para transportar las piezas desde las prensas o el almacén a la línea de ensamblaje, se utilizan tanto racks de transporte donde se apilan varias piezas del mismo tipo y se llevan mediante carretillas elevadoras, como vías aéreas posicionadas en el segundo nivel de las plantas.

Los modelos fabricados en cada planta son los siguientes:

- Body I: Kuga y Transit
- Body II: Kuga
- Body III: Galaxy, S-Max y Mondeo

2.3.4. Planta de Pinturas

En esta planta se aplican tanto los tratamientos previos a las carrocerías antes de pintarlas como la propia capa final de pintura visible.

En esta planta hay dos medidas principales para evitar la entrada de polvo a la misma, que podría adherirse a los conjuntos de carrocería y provocar imperfecciones en el acabado de la pintura:

Por un lado, los accesos a la planta cuentan con un sistema de doble puerta. Cada operario pasa por una cabina de soplado y lleva ropa especial para evitar cualquier tipo de residuos adheridos.

Por otro lado, en el techo hay un sistema que insufla aire filtrado dentro de la instalación, provocando que dentro de la misma la presión sea ligeramente superior a la del exterior.

Los diferentes procesos por los que pasan las carrocerías en la planta incluyen son los siguientes:

Primero, se lavan y desengrasan las carrocerías para eliminar los residuos que puedan contener. Seguidamente, se fosfata la chapa, para posteriormente secarla en un horno y aplicarle una capa de pintura acrílica.

Posteriormente, se aplica un sellador en las zonas de unión entre las distintas piezas de la chapa, antes de repasarla y lijarla para adecuar la superficie antes de aplicar las capas finales de pintura.

Todas las carrocerías hasta este punto pasan por la misma línea de trabajo independientemente de su color final, y en este punto se separan en tres túneles distintos dependiendo del tipo de pintura final:

- Túnel para colores sólidos
- Túnel para colores metalizados
- Túnel para la aplicación de dos colores

Seguidamente, se realiza el control de calidad del acabado de la pintura, mediante un sistema innovador desarrollado junto con la Universidad Politécnica de Valencia. Este sistema utiliza cámaras de alta resolución para tomar fotos de todo el perfil de la carrocería, que son comparadas con una plantilla perfecta y mediante software detecta y marca las imperfecciones, con el fin de que los operarios las corrijan adecuadamente.

Por último, tras corregir las posibles imperfecciones y aplicar el pulido final a la pintura, se aplica un encerado en las zonas susceptibles a acumular agua para evitar la oxidación, y la carrocería ya está lista para pasar a la cadena de montaje.

2.3.5. Planta de Montaje

En esta planta se lleva a cabo el ensamblaje final de todos los componentes que conforman el vehículo, saliendo este ya listo para entregar al cliente cuando sale de la planta.

Las zonas en que se divide la planta son las siguientes:

- Líneas de trim: montaje de partes no mecánicas (asientos, volante, salpicadero, airbags, sistemas de calefacción, cristales, faros, etc.).
- Línea de chasis: montaje de partes mecánicas (motor, radiador, depósitos de líquidos, columna de dirección, caja de cambios, pedales, etc.).
- Zona de pruebas: Se realizan pruebas de rodillos, ajuste de la dirección, etc.

Finalmente, se realiza un último control de calidad antes de entregar el vehículo al cliente.

3-Análisis de Situación Actual

3.1. Descripción de la Prensa

En este apartado, haremos una descripción general de la prensa objeto del proyecto, tanto de sus características como de sus sistemas y conjuntos de mayor relevancia.

3.1.1. Descripción General:

La prensa con la que vamos a trabajar es el modelo LE4-2500-4600-2500 y su fabricante es Fagor Arrastre. La denominación hace referencia a que su potencia nominal, también denominada tonelaje nominal, es de 2500 toneladas y que las dimensiones de la mesa de trabajo son de 4600mm x 2500mm. Se trata de una prensa de simple efecto, esto quiere decir que la fuerza necesaria para mantener la chapa metálica a conformar en su sitio es proporcionada por la propia matriz de conformado y que por lo tanto posee solo un cabezal de accionamiento, a diferencia de las de doble efecto, en las que esta fuerza es proporcionada por un cabezal independiente al de embutición.

En el anexo 7.1 se encuentra una tabla con todas las características generales de la prensa.

Es una prensa mecánica, accionada por un motor eléctrico Siemens de corriente alterna, con una potencia de 500Kw y sentido de giro reversible. Para transformar el movimiento de giro y par generados por el motor en el movimiento y fuerzas verticales necesarias para los procesos de embutición, se utiliza un mecanismo de transmisión reductor y posteriormente un sistema excéntrico de biela-manivela Link-Drive de 6 uniones.

3.1.2. Conjunto Cabezal:

El conjunto cabezal se aloja en la parte superior de la prensa, y es donde están situados el sistema de transmisión, el volante de inercia y el eje rápido.

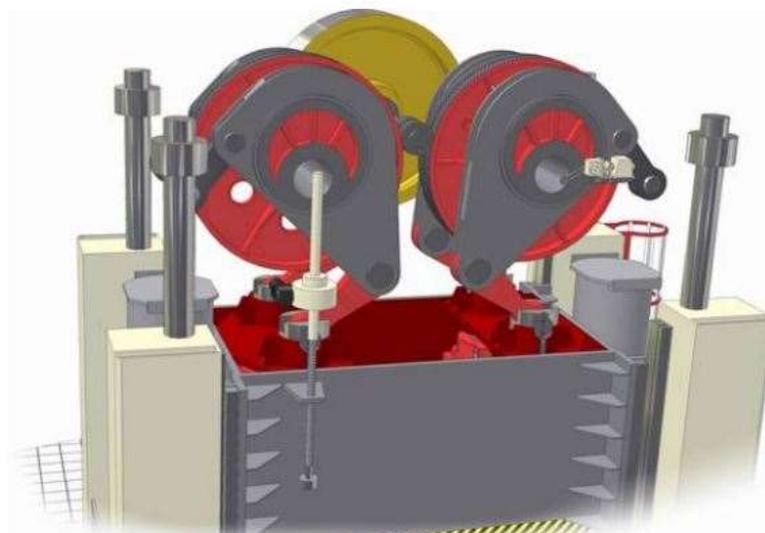


Figura 3.1: Conjunto cabezal de la prensa

El mecanismo reductor consta con un total de tres etapas, que tienen la finalidad de reducir la velocidad del motor y, por lo tanto, multiplicar el par que genera. La primera de estas etapas es la existente entre el propio motor y el volante de inercia, que se realiza mediante una correa plana. El eje en el que está alojado el volante de inercia se denomina eje rápido, y en él están montados el embrague, el freno del volante de inercia y el freno de la prensa.

La razón por la que la prensa posee un volante de inercia es que la energía necesaria para el proceso de embutición solo se necesita en un porcentaje pequeño de la carrera total de la prensa, funcionando esta en vacío la mayor parte del tiempo. Resultaría ineficiente que toda esta energía la suministrara el motor, por ello se utiliza el volante de inercia como un acumulador de energía y, durante la parte de la carrera correspondiente a la embutición, la mayor parte de la energía la suministra el volante, reponiéndose esta luego durante el funcionamiento en vacío de la prensa.

3.1.3. Conjunto Freno-Embrague

El volante de inercia lleva acoplado un embrague hidráulico que se encarga de transmitir el par de giro del volante al eje rápido del cabezal. Se encuentra situado en su parte posterior, y la fricción necesaria para la transmisión del giro se obtiene mediante la fricción entre los platos centrales y los de frotamiento, que son conectados por la presión de una cámara hidráulica.



Figura 3.2: Volante de inercia y embrague

El volante lleva también acoplado un freno de zapata externa que tiene la finalidad de conseguir su parada rápida. Se trata de un freno hidráulico que, al excitarse la electroválvula que lleva acoplada, se abre el paso de aire comprimido hacia el cilindro neumático del freno, actuando este sobre un pistón provisto de un taco de ferodo que actúa sobre la parte exterior del volante para conseguir su parada total.



Figura 3.3: Freno del volante de inercia

Al desconectar el motor de la prensa mediante el pulsador de parada, en cuestión de milisegundos se desembraga el volante del eje rápido y el freno actúa sobre el volante. Para que el motor pueda volver a ponerse en marcha, el pistón del freno debe accionar el interruptor de final de carrera situado al final de su recorrido.

El embrague de la prensa tiene también la finalidad de detener todo el mecanismo de bielas y el cabezal en cualquier posición deseada, ya que, si no existiera al detener el motor y desacoplar el embrague, el cabezal caería hacia el punto muerto inferior por efecto de la gravedad. De este modo, el cabezal se puede detener en cualquier posición deseada para llevar a cabo labores de mantenimiento de manera segura.

3.1.4. Sistema de accionamiento Link-Drive:

Un sistema biela-manivela simple presenta ciertas desventajas a la hora de ser aplicado en un sistema de embutición, como son que la velocidad del carro y consecuentemente del punzón varían a lo largo del proceso de embutición, o que la fuerza disponible varía también a lo largo del recorrido.

En operaciones como las de embutición, es necesario que la velocidad de trabajo sea baja, con la finalidad de que el material fluya adecuadamente y de aprovechar plenamente la capacidad de deformación de la chapa.

Si una prensa con un sistema de bielas convencional tuviera que trabajar durante todo el tiempo a la velocidad adecuada para el proceso de embutición, resultaría improductivo al aumentar notablemente el tiempo muerto de la prensa, ya que esta solo realiza trabajo efectivo en un porcentaje muy pequeño de su carrera.

Los sistemas Link-Drive están diseñados para solventar este problema, permitiendo mover el cabezal rápidamente cuando la prensa trabaja en vacío y disminuyendo su velocidad poco antes de comenzar el proceso de embutición. La gráfica de la *Figura 3.4* muestra cómo evolucionan la aceleración, velocidad y posición de la carrera en función del ángulo de giro para el sistema Link-Drive concreto que posee esta prensa.

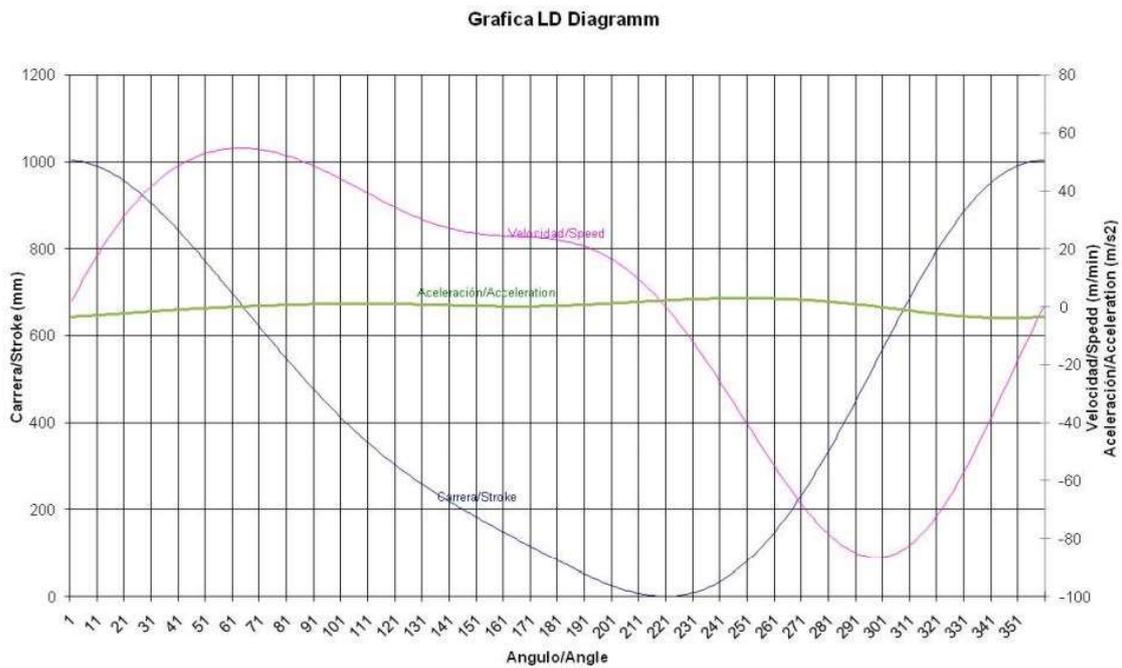


Figura 3.4: Gráfica Velocidad-Aceleración-Posición del sistema Link-Drive

Esto se consigue mediante el sistema de transmisión por juego de palancas o bielas articuladas mostrado en la *Figura 3.5*:



Figura 3.5: Sistema Link-Drive

Con este mecanismo, se consigue incrementar la velocidad del carro cuando se aproxima y aleja de la zona de trabajo y reducirla en esta zona aproximadamente a 1/3 respecto a una prensa con sistema biela-manivela simple.

También se consigue que la prensa sea capaz de ejercer su tonelaje máximo durante todo el proceso de embutición de manera constante y lineal, como se muestra en la *Figura 3.6*:

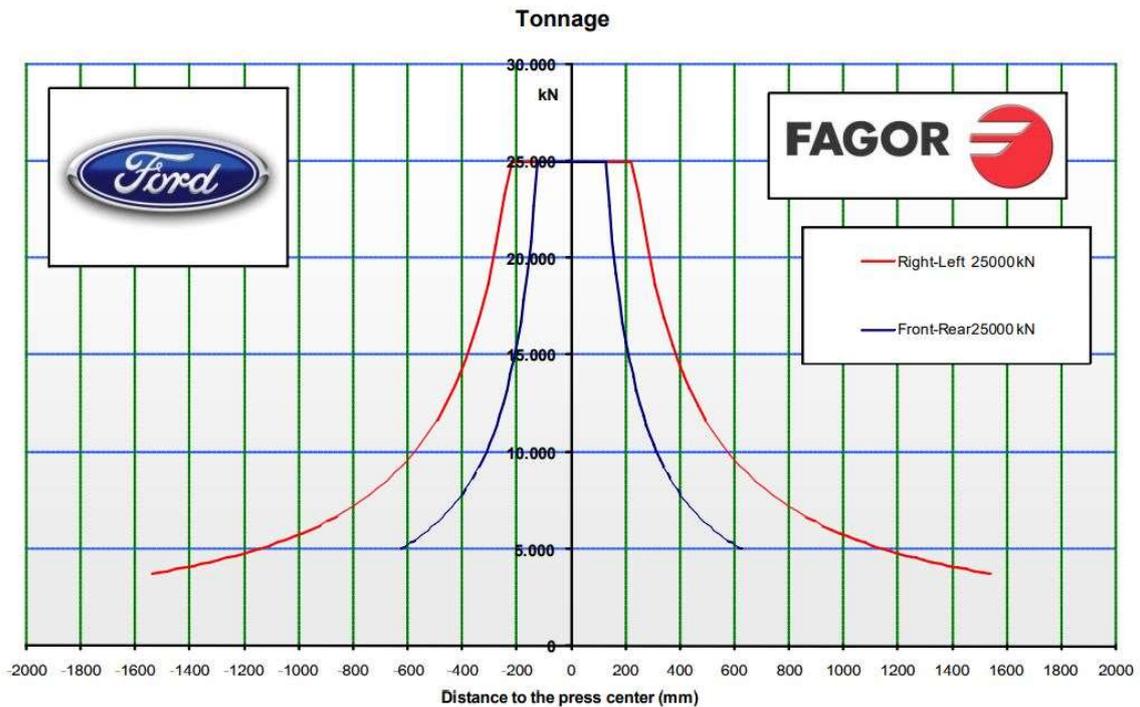


Figura 3.6: Tonelaje máximo admisible por la prensa en función del ángulo de la excéntrica

Asimismo, se obtienen otras ventajas mecánicas derivadas de la baja velocidad de trabajo, como son los menores niveles de ruido y vibraciones y someter a los útiles y a los cojines de amortiguación a menores sollicitaciones, aumentando así su vida útil.

Otra ventaja que presenta este sistema es que permite trabajar con metales de peor calidad, y por lo tanto más baratos, que los que serían necesarios para una prensa con un sistema convencional, al aprovechar al máximo su capacidad de deformación. Esto permite ahorrar costes en materias primas.

3.1.5. Sistema anti sobrecargas

La prensa lleva acoplado un dispositivo hidráulico que tiene la finalidad de protegerla contra sobrecargas. Se trata de un manómetro que mide la presión proveniente de unas cámaras hidráulicas precargadas a un 50% de la presión de disparo, y cuya presión empieza a aumentar cuando se supera el 50% del tonelaje máximo admisible para la biela más cargada.

Este dispositivo funciona especialmente bien cuando la prensa trabaja a baja velocidad, es decir, cuando está trabajando en la zona de embutición, y permite



Figura3.7: Manómetro del sistema anti sobrecargas

ver de manera rápida y directa el nivel de sollicitación al que está sometido la prensa.

Cada biela de la prensa está diseñada para soportar como máximo $\frac{1}{4}$ del tonelaje nominal de la prensa, y si se supera este valor se corre un enorme riesgo de producir grietas en las propias bielas. Estas sobrepresiones pueden producirse por el uso de materiales de espesor superior al requerido para el conformado de la pieza, por el mal ajuste de los útiles de regulación del carro, o la existencia accidental de herramientas o piezas sobre la mesa de trabajo.

3.1.6. Carro Porta-Útiles

La función del carro porta-útiles es colocar los útiles de conformado a la altura adecuada para la acción de embutición de la presa. Para ello, dispone de un motor freno que se encarga de regular la posición vertical del mismo. Para ello, utiliza un mecanismo sin fin y husillos de presión que están colocados en los pies de biela, con lo que se consigue un movimiento ascendente o descendente en función del sentido de giro del motor.

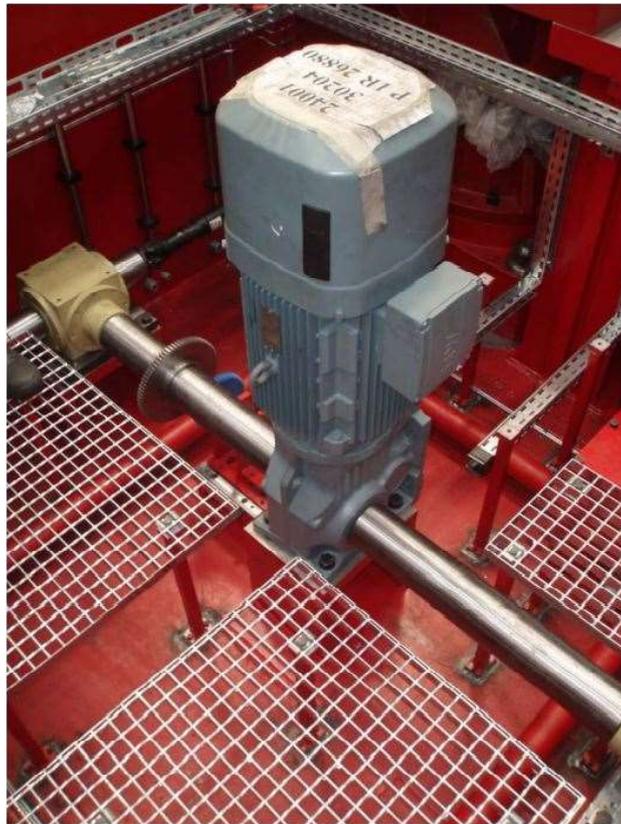


Figura 3.8: Motor del carro porta-útiles

Para controlar electrónicamente su posición, el motor lleva acoplado un encoder que transmite una señal eléctrica proporcional al recorrido de regulación. Además, cuenta con dos finales de carrera que controlan las posiciones de límite superior e inferior, y el freno del motor asegura que el carro permanezca en la posición regulada para el conformado durante el proceso de trabajo de la prensa.

3.1.7. Cojín hidráulico

La prensa cuenta con dos cojines hidráulicos con 4 cilindros cada uno, que cumplen la función de realizar el pisado de la pieza durante la embutición. La presión en los cilindros se consigue mediante la alimentación desde el grupo hidráulico.

Cuando el carro hace contacto con el cojín, la velocidad de este último es elevada. Por ello, se acelera el cojín a una velocidad de 4/5 respecto al carro para evitar que el choque sea elevado, con lo que se consiguen reducir las vibraciones ocasionadas por el choque. Estas vibraciones pueden ser perjudiciales para la pieza y la prensa por igual, por lo que esta función de los cojines es de elevada importancia.

En la *Figura 3.9* podemos observar una gráfica que nos muestra una comparación de la cinemática entre el carro y el cojín hidráulico:

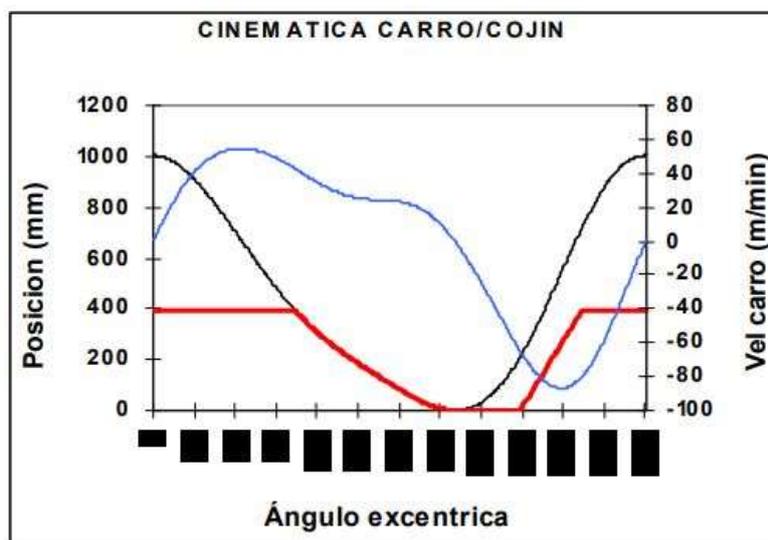


Figura 3.9: Comparación entre la cinemática del carro y del cojín hidráulico

Además de la función de pisar la pieza contra el troquel, los cojines también cumplen la función de mantener la pieza en su sitio durante la fase de retroceso de la prensa. En este punto, los cojines se encargan de que la velocidad de subida de la pieza disminuya progresivamente hasta volver a su posición inicial. Esto evita que la pieza se desplace con una parada brusca y que el operario o las pinzas de extracción tengan problemas a la hora de manipularla. Asimismo, también evita que estos choques bruscos dañen la prensa o el cojín.

3.2. Función de la prensa en la línea de producción

La prensa L113-1 es la prensa de cabecera de la línea de producción L113. Esto quiere decir que se alimenta de la chapa en bruto y le proporciona la primera embutición de las consecutivas que sufrirá la pieza en las siguientes prensas de la línea. La chapa únicamente ha sido cortada con las dimensiones adecuadas antes de entrar en la prensa, proviniendo esta de una cortadora que se encarga de hacer este proceso.

Los procesos que va sufriendo la chapa a lo largo de la línea son confidenciales, por lo que únicamente se puede mostrar la forma final que obtiene la pieza al salir de esta, mostrada en la *Figura 3.10*:



Figura 3.10: Pieza final de la L-113

En la Figura 3.11 y la Figura 3.12 podemos ver unas representaciones de la matriz superior e inferior respectivamente de la prensa L113-1:

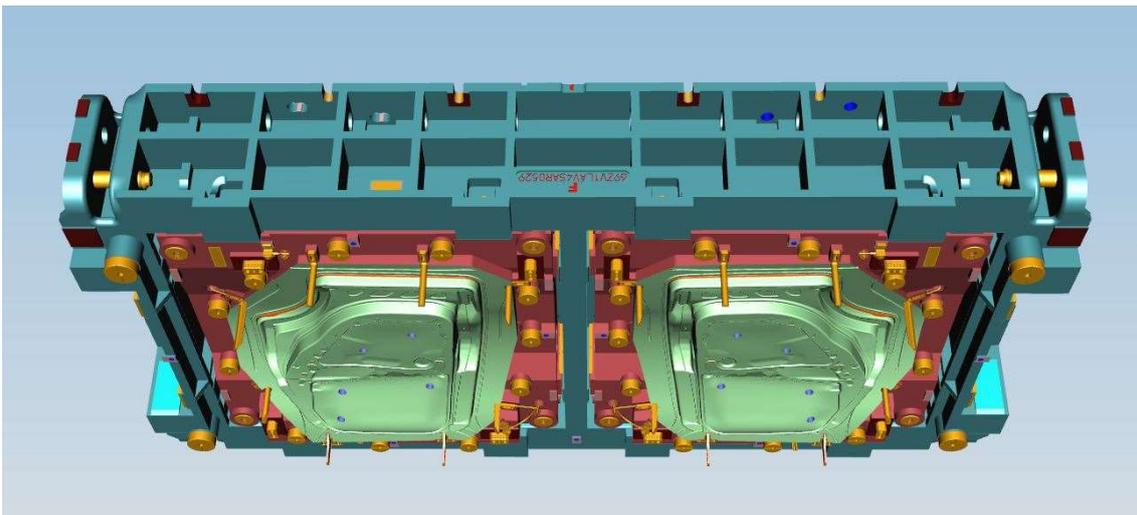


Figura 3.11: Representación de la matriz superior

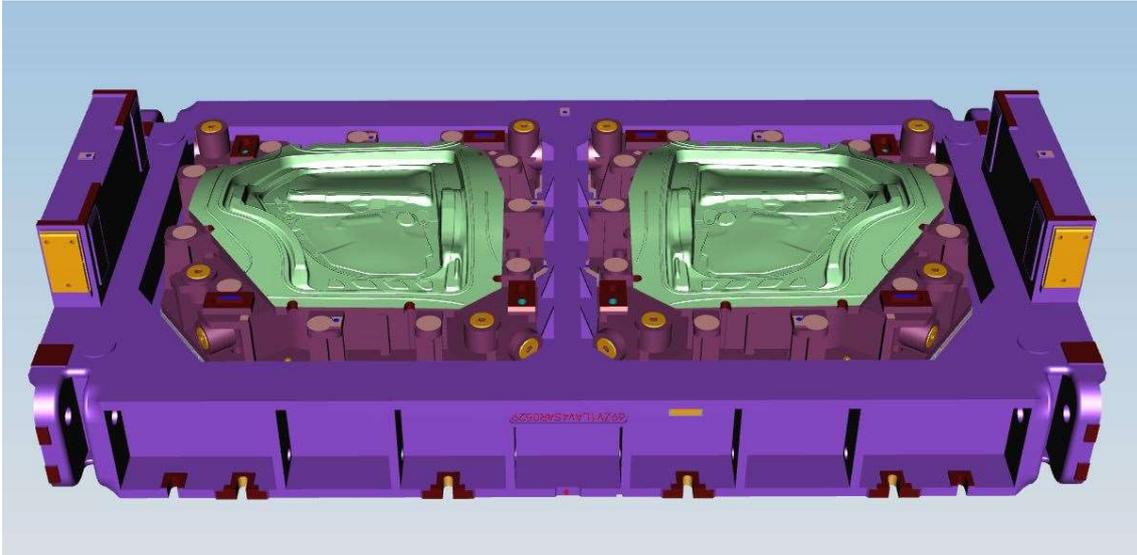


Figura 3.12: Representación de la matriz inferior

En la *Figura 3.13* podemos ver un plano de la línea L-113, y en la *Figura 3.14* un flowchart de la misma, donde se aprecian al principio (en marrón) la zona donde se cargan las pletinas ya cortadas, la prensa L113-1 al inicio de la línea y las cuatro prensas consecutivas a esta:

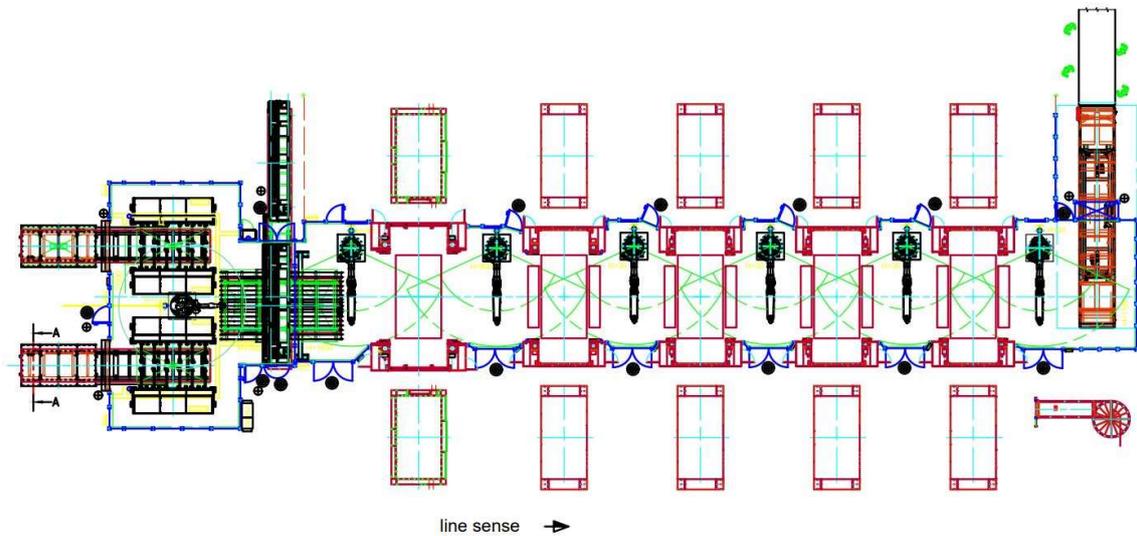


Figura 3.13: Plano general de la línea L-113

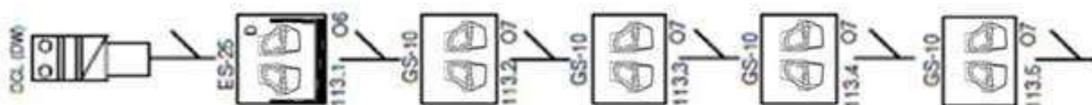


Figura 3.14: Flowchart de la línea L-113

3.3. Galgas extensiométricas

Las galgas extensiométricas son dispositivos utilizados para la medición de la deformación de un material. Si el material se estira, la deformación se considera positiva, y si se comprime se considera negativa.

Su funcionamiento se basa en el principio físico de que la resistencia eléctrica de un conductor depende de su geometría, a parte de la resistividad del mismo.

Por ello, si un conductor se estira, su sección se volverá más estrecha y alargada, aumentando su resistencia eléctrica. Por el contrario, cuando el conductor es comprimido, su sección se vuelve más corta y ancha, lo que disminuye su resistencia eléctrica.

Basándose en este principio, para cada galga extensiométrica se puede obtener un parámetro adimensional conocido como factor de galga (K), también denominado sensibilidad de deformación.

Este factor se define como la proporcionalidad existente entre el cambio relativo de resistencia eléctrica del conductor y la deformación sufrida por el mismo. En la siguiente ecuación se muestra este principio:

$$\frac{\Delta R}{R_0} = K \cdot \varepsilon$$

Siendo R_0 la resistencia eléctrica del conductor sin deformar, ΔR la variación de resistencia producida y ε la deformación sufrida.

De este modo, conociendo K y midiendo la variación de resistencia sufrida por la galga se puede calcular la deformación a la que esta está siendo sometida. Si la galga se acopla a la superficie de un elemento del que se desee conocer su deformación, esta será igual a la sufrida por la galga

El factor K es siempre proporcionado por el fabricante para cada lote de galgas extensiométricas, y va acompañado de una tolerancia determinada.

En el caso que nos ocupa, las galgas que nos proporcionan los datos de tonelaje ejercido por cada biela están acopladas en los pilares de la prensa, por lo que al ejercer ésta la fuerza de pisado la galga se deforma a compresión, obteniendo una lectura de deformación negativa. Usando el valor absoluto de esta medida, se puede obtener la fuerza ejercida por la prensa en cada biela.

3.4. Cálculo Descentramiento

Para calcular el descentramiento de la resultante de las fuerzas de la prensa, se realizará un análisis estático del problema planteado. El objetivo es obtener un algoritmo al que, introduciéndole el valor de las fuerzas en cada pie de biela y las dimensiones de la mesa, nos dé como resultado el desplazamiento de la fuerza resultante respecto al centro de la mesa, expresado en dos coordenadas X e Y .

De esta manera, aunque la finalidad de este proyecto es su implementación en una única prensa, el algoritmo será aplicable a cualquier prensa con características similares, es decir, cualquiera que distribuya su fuerza total entre cuatro pies de biela e implemente galgas extensiométricas en los mismos, simplemente cambiando los valores de las distancias entre pies de biela y su tonelaje nominal.

En la *Figura 3.15* se muestra una simplificación de la mesa de la prensa, con la localización de los puntos de aplicación de las fuerzas, los ejes de coordenadas y una posición hipotética de la fuerza resultante:

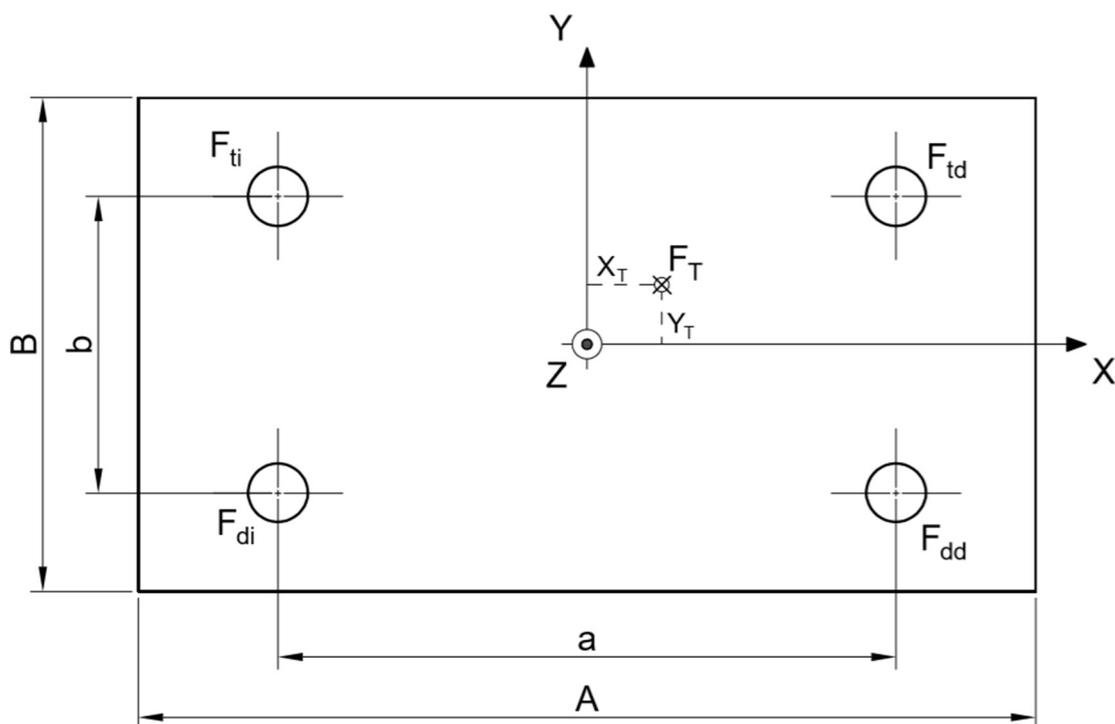


Figura 3.15: Simplificación de la mesa de la prensa

Se denomina “ a ” a la distancia entre conexiones izquierda y derecha y “ b ” a la distancia entre conexiones delantera y trasera.

Para simplificar el problema, obtendremos por un lado la posición X_T de la fuerza resultante F_T calculando la resultante a partir de las fuerzas trasera y delantera,

y después se hará el mismo análisis aplicado a las fuerzas izquierda y derecha para obtener la posición Y_T .

El análisis estático nos permitirá calcular la fuerza de reacción para cada pareja de fuerzas, es decir, la fuerza que ejercería la mesa sobre la matriz para mantener el equilibrio estático. La fuerza resultante será igual en módulo y dirección a la fuerza de reacción, pero con sentido opuesto, y sus coordenadas serán las mismas, como se puede ver en la *Figura 3.16*:

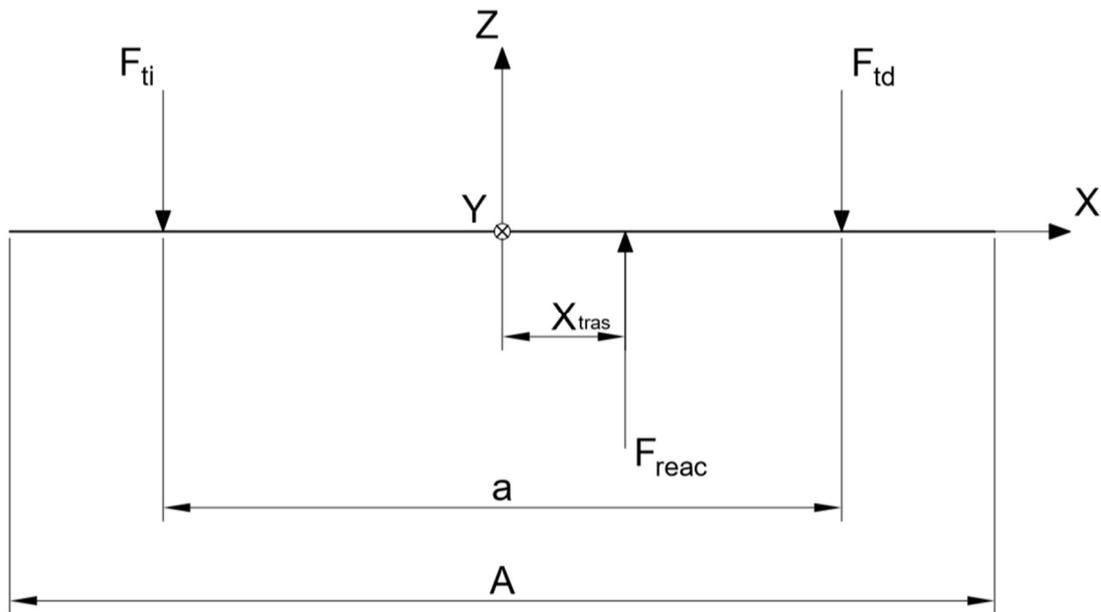


Figura 3.16: Análisis estático inicial

Primero se obtiene la coordenada X_{tras} de la resultante de F_{ti} y F_{td} , mediante el cálculo estático mostrado en la *Figura 3.17*:

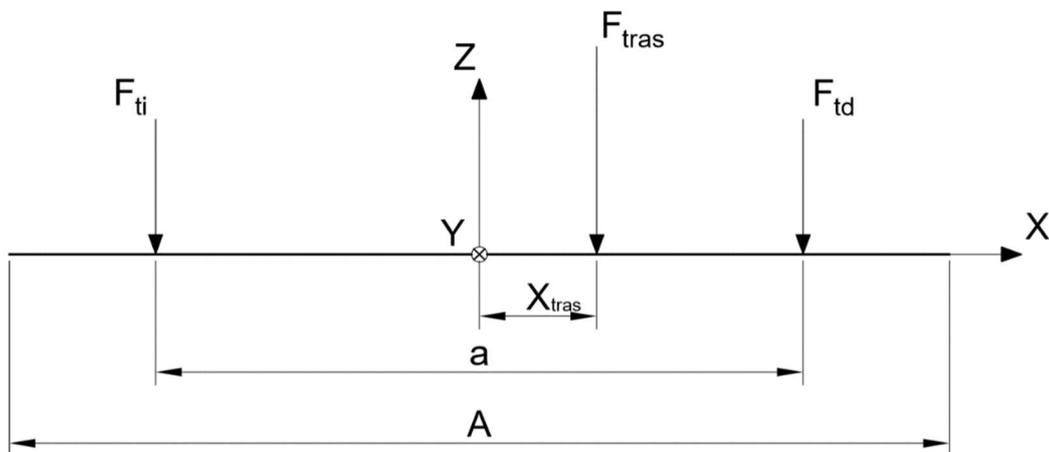


Figura 3.17: Análisis estático para F_{tras}

$$\sum F_z = 0 \rightarrow F_{tras} = F_{ti} + F_{td}$$

$$\sum M_0 = 0 \rightarrow F_{td} \cdot \frac{a}{2} - F_{ti} \cdot \frac{a}{2} + F_{tras} \cdot X_{tras} = 0$$

$$X_{tras} = \frac{a}{2} \cdot \frac{F_{td} - F_{ti}}{F_{tras}}$$

El mismo análisis se aplica a las fuerzas delanteras:

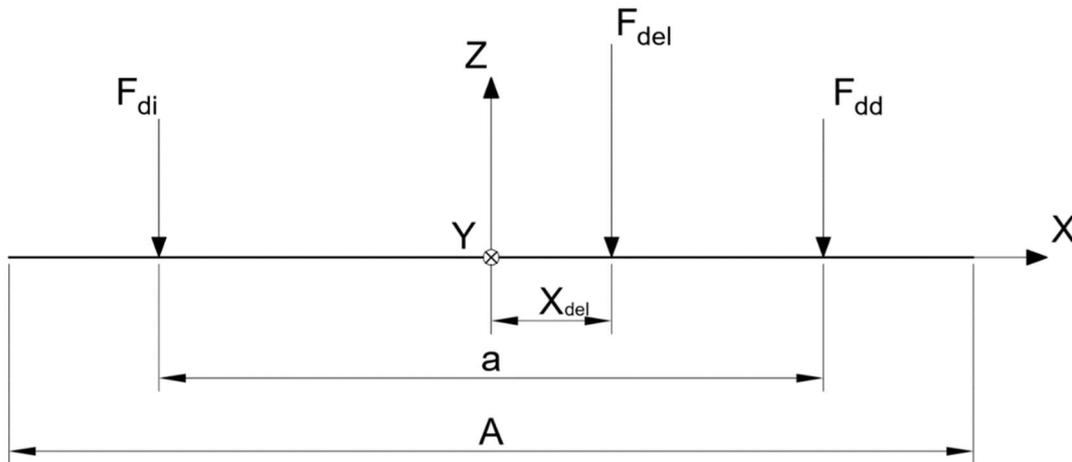


Figura 3.18: Análisis estático para F_{del}

$$\sum F_z = 0 \rightarrow F_{del} = F_{di} + F_{dd}$$

$$\sum M_0 = 0 \rightarrow F_{dd} \cdot \frac{a}{2} - F_{di} \cdot \frac{a}{2} + F_{del} \cdot X_{del} = 0$$

$$X_{del} = \frac{a}{2} \cdot \frac{F_{dd} - F_{di}}{F_{del}}$$

Con estas dos coordenadas X_{tras} y X_{del} , podemos obtener la coordenada X_T de la resultante:

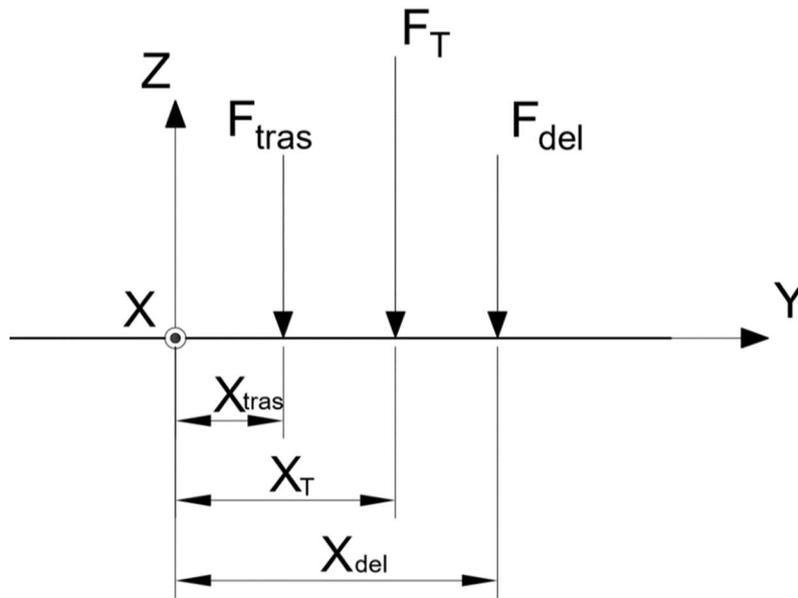


Figura 3.19: Análisis estático para FT (frontal)

$$\sum F_Z = 0 \rightarrow F_T = F_{tras} + F_{del}$$

$$\sum M_0 = 0 \rightarrow X_T = \frac{F_{tras} \cdot X_{tras} + F_{del} \cdot X_{del}}{F_T}$$

Sustituyendo y simplificando:

$$X_T = \frac{F_{tras} \cdot \frac{a}{2} \cdot \frac{F_{td} - F_{ti}}{F_{tras}} + F_{del} \cdot \frac{a}{2} \cdot \frac{F_{dd} - F_{di}}{F_{del}}}{F_T}$$

$$X_T = \frac{\frac{a}{2} \cdot (F_{td} - F_{ti}) + \frac{a}{2} \cdot (F_{dd} - F_{di})}{F_T}$$

$$X_T = \frac{a}{2} \cdot \frac{F_{td} - F_{ti} + F_{dd} - F_{di}}{F_T}$$

Se aplica el mismo análisis a los lados izquierdo y derecho para obtener la coordenada Y_T :

En el lado izquierdo:

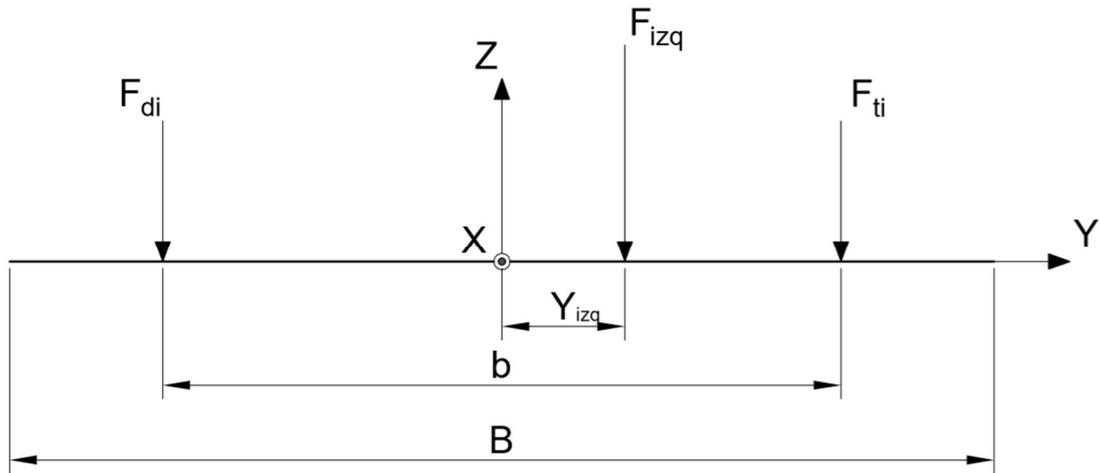


Figura 3.20: Análisis estático para F_{izq}

$$\sum F_Z = 0 \rightarrow F_{izaq} = F_{ti} + F_{di}$$

$$\sum M_0 = 0 \rightarrow F_{ti} \cdot b/2 - F_{di} \cdot b/2 + F_{izaq} \cdot Y_{izq} = 0$$

$$Y_{izq} = \frac{b}{2} \cdot \frac{F_{ti} - F_{di}}{F_{izaq}}$$

Aplicamos el mismo análisis para las fuerzas del lado derecho:

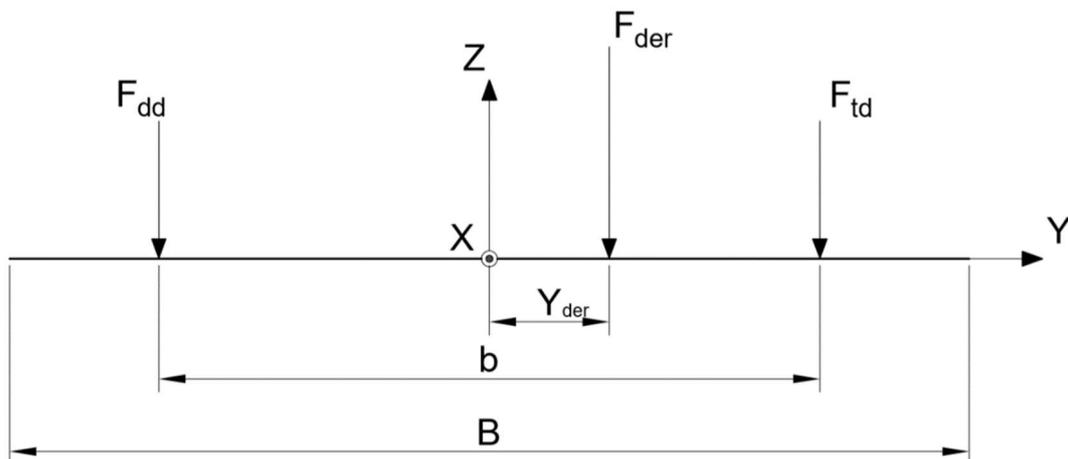


Figura 3.21: Análisis estático para F_{der}

$$\sum F_Z = 0 \rightarrow F_{der} = F_{td} + F_{dd}$$

$$\sum M_0 = 0 \rightarrow F_{td} \cdot b/2 - F_{dd} \cdot b/2 + F_{der} \cdot Y_{der} = 0$$

$$Y_{der} = \frac{b}{2} \cdot \frac{F_{td} - F_{dd}}{F_{der}}$$

Conociendo Y_{izq} e Y_{der} , obtenemos la coordenada Y_T de la resultante:

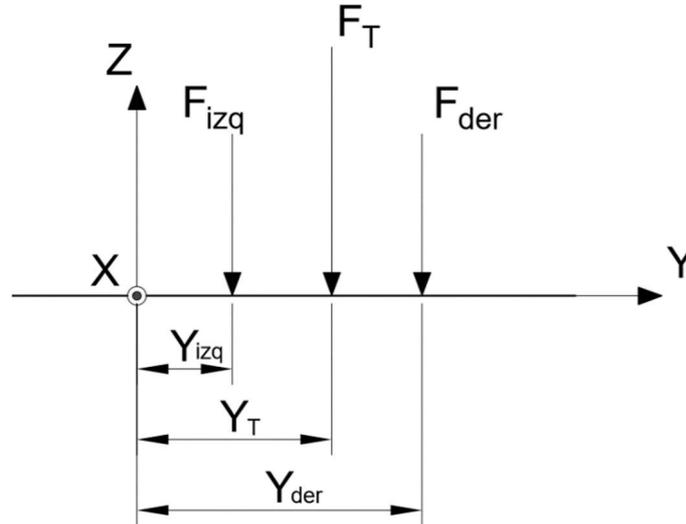


Figura 3.22: Análisis estático para FT (lateral)

$$\sum F_Z = 0 \rightarrow F_T = F_{izaq} + F_{der}$$

$$\sum M_0 = 0 \rightarrow Y_T = \frac{F_{izq} \cdot Y_{izq} + F_{der} \cdot Y_{der}}{F_T}$$

Sustituyendo y simplificando:

$$Y_T = \frac{F_{izq} \cdot \frac{b}{2} \cdot \frac{F_{ti} - F_{di}}{F_{tras}} + F_{der} \cdot \frac{b}{2} \cdot \frac{F_{td} - F_{dd}}{F_{der}}}{F_T}$$

$$Y_T = \frac{\frac{b}{2} \cdot (F_{ti} - F_{di}) + \frac{b}{2} \cdot (F_{td} - F_{dd})}{F_T}$$

$$Y_T = \frac{b}{2} \cdot \frac{F_{ti} - F_{di} + F_{td} - F_{dd}}{F_T}$$

3.5. Relación Fuerza-Posición Angular

Tal y como se ha explicado en el apartado 3.1.5, la prensa solo puede aplicar su tonelaje nominal alrededor del punto muerto inferior del recorrido de estampación, más concretamente a 25mm del PMI, siendo solo capaz de proporcionar un porcentaje de éste en el resto del recorrido.

Con el fin de comprobar si la prensa está trabajando dentro de sus límites de diseño, se consultó al fabricante para conocer estos límites. Se nos respondió que la cinemática de la prensa está dimensionada alrededor del par máximo que ejerce la misma, siendo este el que se efectúa a 25mm del PMI con 2500 T de fuerza. A partir de aquí, el par máximo en el resto del recorrido de la excéntrica está limitado por el que es capaz de soportar el embrague. El resultado, es la gráfica que se muestra en la *Figura 3.23*:

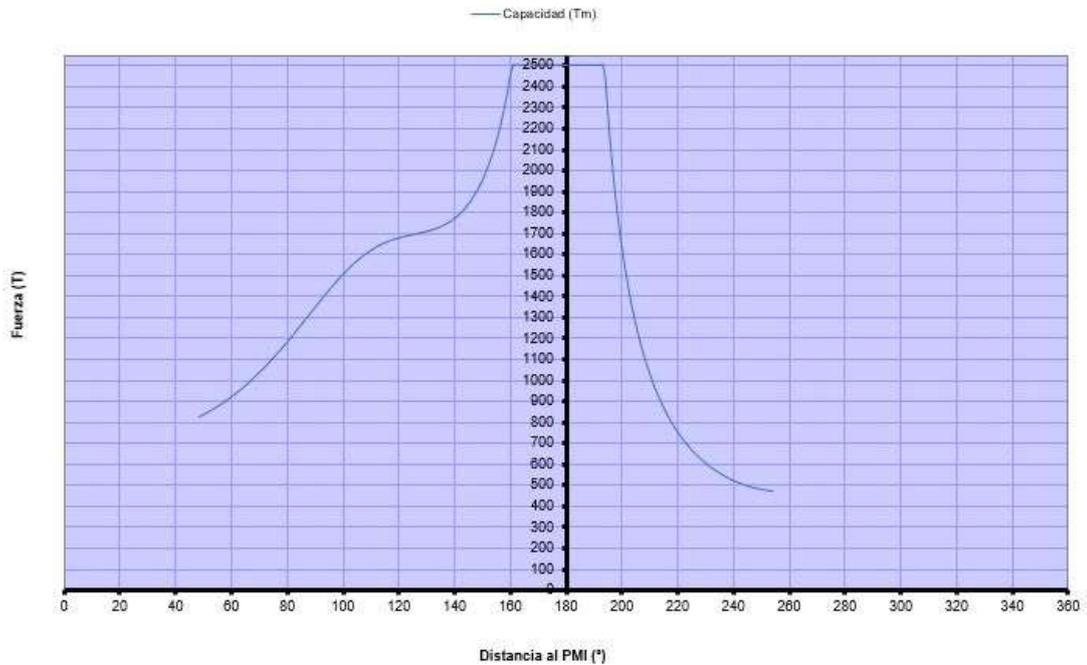


Figura 3.23: Gráfica de la relación entre fuerza máxima y la distancia al PMI (punto muerto inferior)

4-Propuesta de Mejora

Una vez conocemos el método para calcular el descentramiento de la fuerza resultante de la prensa, se debe establecer un criterio para determinar los valores máximos admisibles del mismo, con la finalidad de no sobrepasar los momentos máximos admisibles que nos generen deformaciones.

4.1. Criterios iniciales

Si consultamos el manual de instrucciones de la prensa proporcionado por el fabricante, encontramos dos criterios distintos para considerar el descentramiento máximo.

Por un lado, el criterio más laxo nos dice que podemos aplicar la fuerza máxima de la prensa (el tonelaje nominal) siempre que la distancia de la fuerza resultante respecto al centro de la mesa sea menor que 100mm en cualquier dirección.

Si la resultante cae dentro del paralelogramo definido por las diagonales “a” y “b”, podrá aplicarse solo la mitad del tonelaje nominal, siendo “a” la distancia entre las conexiones izquierda y derecha y “b” la distancia entre las conexiones delantera y trasera.

En la *Figura 4.1* se muestran las áreas definidas por este criterio:

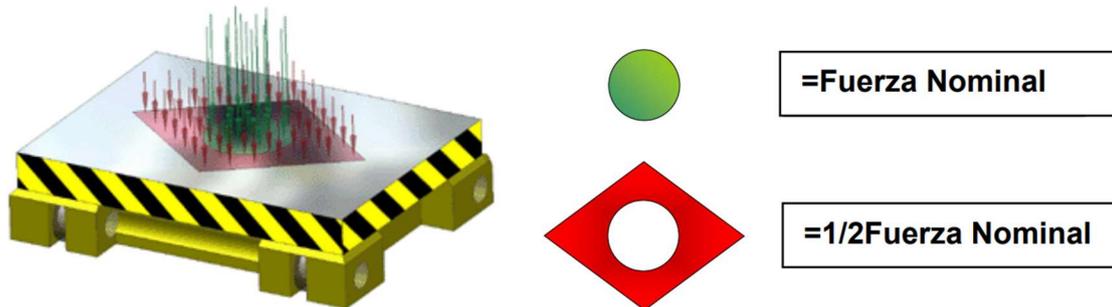


Figura 4.1: Representación de las áreas definidas por el criterio inicial

El siguiente criterio nos dice que el momento máximo que es capaz de aguantar la prensa es igual a una veintava parte del tonelaje nominal por la longitud de la mesa:

$$M_{Max} = \frac{1}{20} \cdot F_N \cdot L$$

Siendo $L = A$ a lo largo del eje X y $L = B$ a lo largo del eje Y .

Como la prensa en la que vamos a trabajar no tiene una disposición cuadrada de los pies de biela, es decir, $A > B$, el momento máximo admisible será distinto para cada eje de coordenadas.

Si expresamos el momento máximo admisible como $M_{Max} = F_{Max} \cdot d$, obtendremos una ecuación con la que podemos calcular la fuerza máxima que podemos aplicar en función de la distancia d a la que se encuentre ésta aplicada respecto al centro de la mesa:

$$M_{Max} = F_{Max} \cdot d = \frac{1}{20} \cdot F_N \cdot L$$

$$F_{Max} = \frac{F_N \cdot L}{20 \cdot d}$$

Con esto, podemos dibujar dos gráficas, que nos muestran la fuerza máxima que se puede aplicar a lo largo de cada eje.

De este modo, si nuestro punto definido por la fuerza en el eje Z y la distancia en eje X o Y cae dentro o sobre la línea de la gráfica, se encuentra dentro de los parámetros admisibles. Si cae fuera de ésta, se considera que sobrepasa el valor máximo.

Este criterio presenta el problema de tener un cero en el denominador, lo que provoca que conforme nos vamos acercando al centro de la mesa, llega un momento en que la fuerza que nos devuelve es mayor que la nominal de la prensa, tendiendo a infinito en el mismo centro, por lo que se debería asumir que a partir del punto en que la fuerza que nos devuelve la ecuación es mayor al tonelaje nominal, la fuerza máxima admisible es la nominal. Sin embargo, al observar las gráficas se puede ver que el valor de la fuerza nominal se sobrepasa antes de llegar a los 100mm de radio, fuera de los cuales según el criterio anterior no podría ejercerse la fuerza nominal en su totalidad. Las gráficas resultantes de esta combinación de criterios se muestran en la *Figura 4.2* para la posición X y en la *Figura 4.3* para la posición Y :

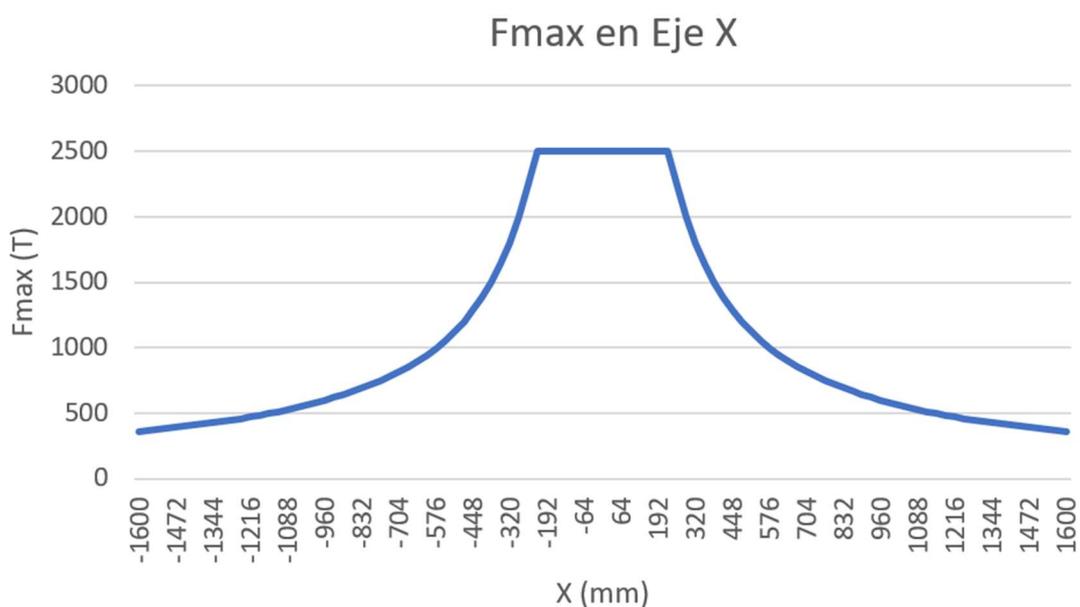


Figura 4.2: Fuerza máxima a lo largo del eje X para el criterio del límite de norma

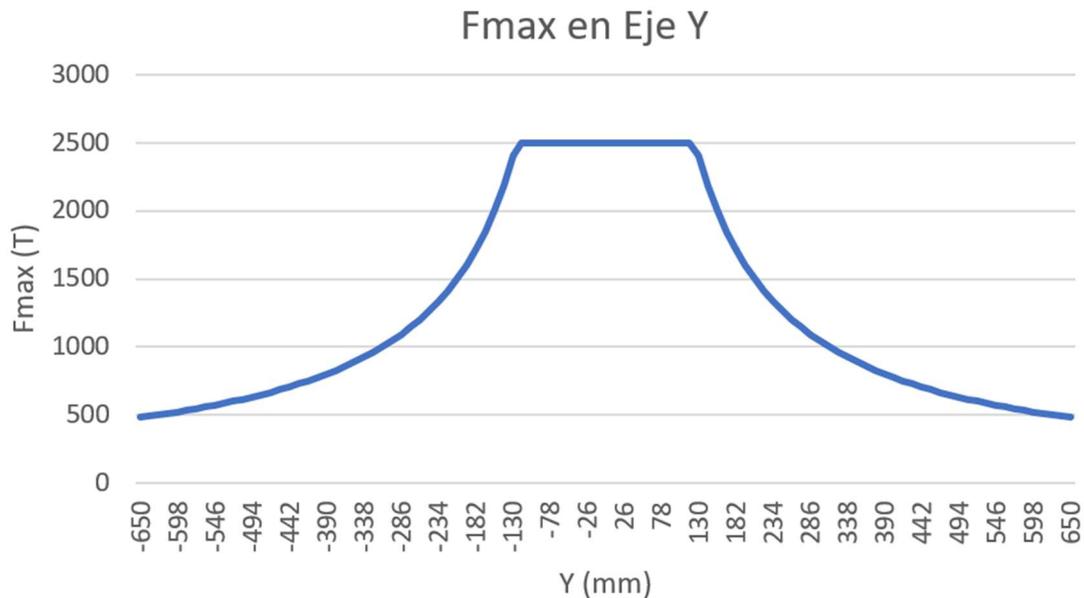


Figura 4.3: Fuerza máxima a lo largo del eje Y para el criterio del límite de norma

Por lo tanto, aunque este criterio es más conservador y preciso en la parte media y en los extremos de la mesa, pierde fiabilidad conforme más nos acercamos al centro de la misma.

4.2. Criterio del límite físico

Ante la necesidad de establecer un criterio que nos permita determinar de manera más precisa la fuerza máxima que se puede aplicar en las proximidades del centro de la mesa, se consultó al fabricante de la prensa sobre este asunto.

El criterio que se nos devolvió consiste en una combinación del segundo criterio que hemos mostrado anteriormente, al que denominan Límite de Norma, y otro nuevo que se denomina Límite Físico.

El criterio del Límite Físico establece que la fuerza en cada conexión no puede ser mayor que la fuerza máxima admisible por conexión, esto es, la fuerza máxima admisible en cada pie de biela no puede ser mayor a una cuarta parte del tonelaje nominal:

$$F_{con} \leq \frac{F_N}{4}$$

Por lo tanto, la fuerza resultante de la suma de dos conexiones, ya sea en el lado izquierdo, derecho, delantero o trasero, tendrá un valor máximo igual a la mitad del tonelaje nominal. Por ejemplo, en el caso del lado izquierdo:

$$F_{izq} \leq \frac{F_N}{2}$$

Si planteamos el equilibrio estático de la suma de las fuerzas de dos lados para una fuerza F cualquiera, por ejemplo, de los lados izquierdo y derecho, obtenemos las siguientes ecuaciones:

$$F = F_{izq} + F_{der}$$

$$F \cdot d - F_{izq} \cdot \frac{l}{2} + F_{der} \cdot \frac{l}{2} = 0$$

Si dejamos F_{der} en función de F_{izq} y F , podemos ir operando la segunda ecuación hasta dejar F en función de “ d ” y F_N :

$$F = F_{izq} + F_{der} \rightarrow F_{der} = F - F_{izq}$$

$$F \cdot d - F_{izq} \cdot \frac{l}{2} + (F - F_{izq}) \cdot \frac{l}{2} = 0$$

$$F \cdot d - F_{izq} \cdot \frac{l}{2} + F \cdot \frac{l}{2} - F_{izq} \cdot \frac{l}{2} = 0$$

$$F \cdot \left(d + \frac{l}{2}\right) - F_{izq} \cdot l = 0$$

$$F \cdot \left(d + \frac{l}{2}\right) = F_{izq} \cdot l$$

$$F = \frac{F_{izq} \cdot l}{d + \frac{l}{2}}$$

$$F = \frac{F_{izq}}{0.5 + d/l}$$

Como queremos obtener la fuerza máxima admisible, sabemos que para ese caso se tiene que cumplir:

$$F_{izq} = \frac{F_N}{2}$$

Sustituyendo:

$$F_{max} = \frac{F_N/2}{0.5 + d/l}$$

Si representamos el criterio del Límite Físico en una gráfica, observamos que en las proximidades del centro de la mesa nos da unos datos más precisos que el Límite de Norma, sin embargo, conforme nos vamos alejando del centro llega un momento en que se vuelve menos restrictivo. La *Figura 4.4* y la *Figura 4.5* representan las curvas obtenidas para el límite físico para los ejes X e Y respectivamente:

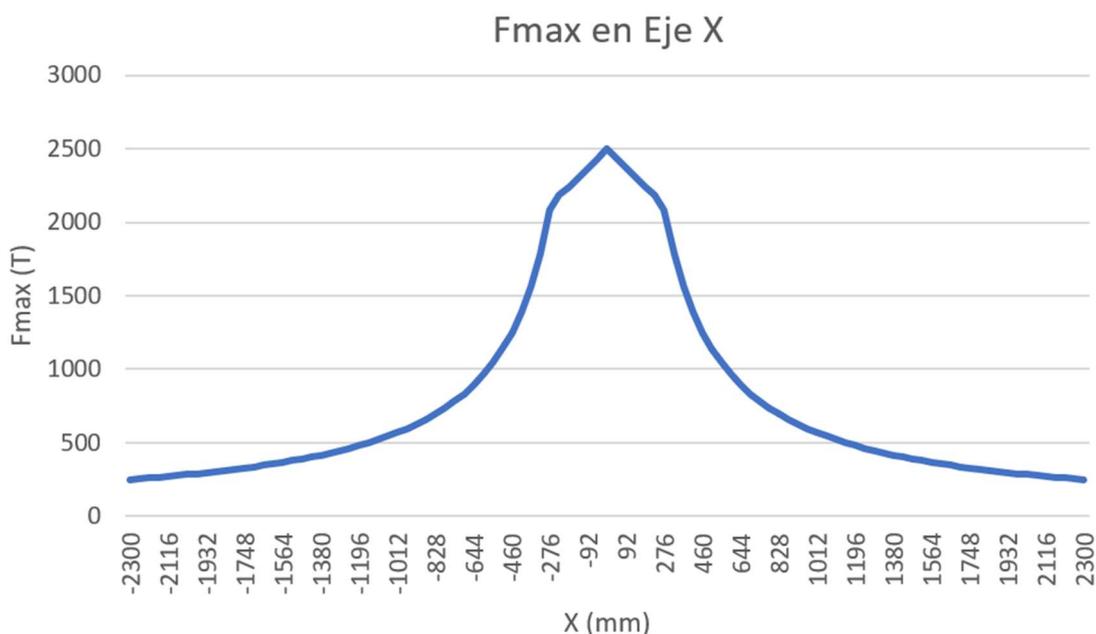


Figura 4.4: Fuerza máxima a lo largo del eje X para el criterio del límite físico

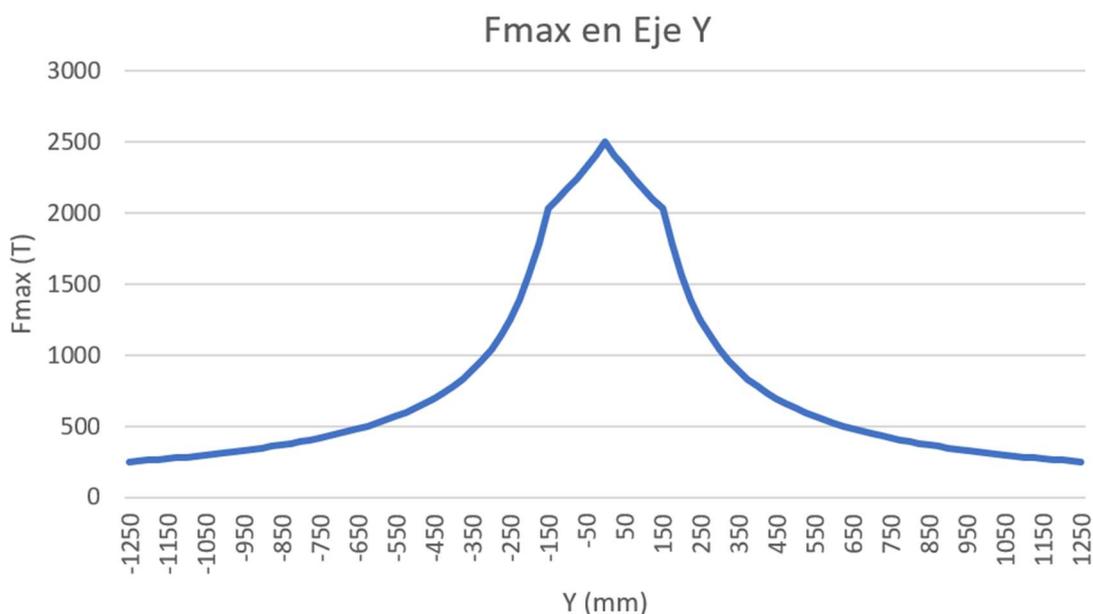


Figura 4.5: Fuerza máxima a lo largo del eje Y para el criterio del límite físico

4.3. Criterio final

La solución adoptada consiste en elegir para cada punto el mínimo entre los dos criterios, con la finalidad de no sobrepasar nunca ninguno de los dos y aumentar así la fiabilidad del criterio final y ofrecer un mayor margen de seguridad para proteger la prensa frente a esfuerzos inadmisibles.

Las gráficas resultantes de la combinación de ambos criterios aplicada a cada eje de coordenadas se muestran en la *Figura 4.6* para el eje X y en la *Figura 4.7* para el eje Y :

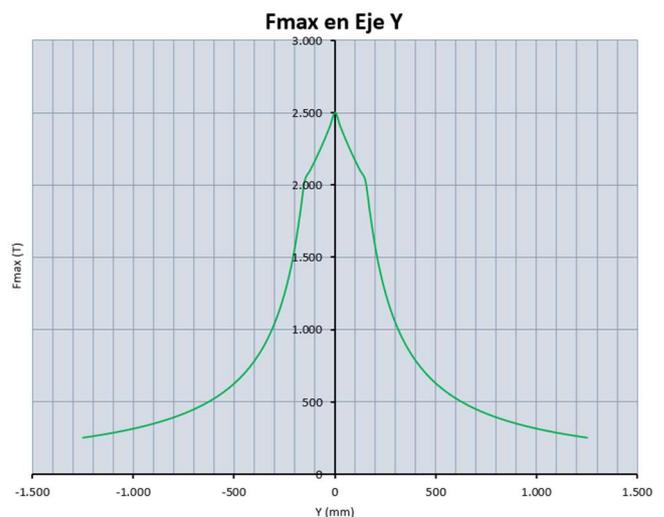
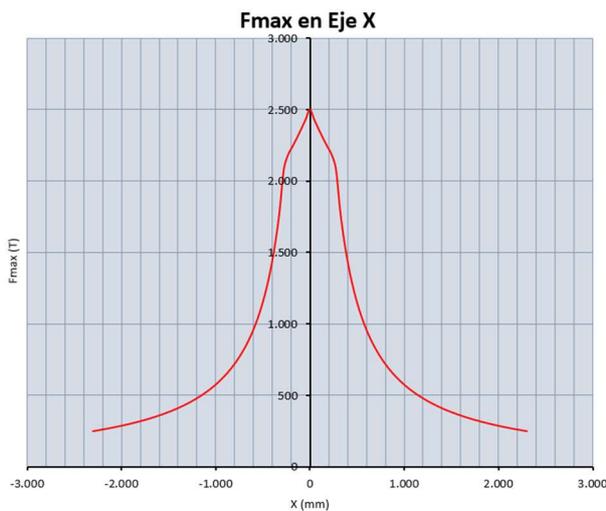


Figura 4.6: Fuerza máxima a lo largo del eje X para el criterio final *Figura 4.7: Fuerza máxima a lo largo del eje Y para el criterio final*

De este modo, con el algoritmo desarrollado para obtener las coordenadas X e Y de la fuerza resultante, podemos representar este punto en las gráficas y así visualizar si estamos trabajando dentro de los márgenes admisibles para la prensa o no.

Para generar las curvas de las gráficas se han usado dos matrices 2×100 , en las que en la primera columna se han introducido coordenadas, ya sea X o Y respectivamente, y en la segunda se calcula la fuerza máxima admisible para ese valor de descentramiento, escogida entre el mínimo de los dos criterios.

Con estas dos matrices, podemos generar otra matriz 100×100 , combinando la matriz del eje Y y la matriz traspuesta del eje X . Con esto, cada punto de la matriz está definido por sus coordenadas $ij = xy$ y su valor se corresponde con la fuerza máxima que se puede ejercer en ese punto. Cada punto tiene un valor de posición X y otro Y , por lo que tendrá una fuerza máxima asociada para cada ordenada. Su valor final será, por lo tanto, el mínimo entres estos dos valores.

La matriz resultante es la mostrada en la *Figura 4.8*, donde los valores más altos se han coloreado con verde y conforme su valor va decreciendo estos se muestran en amarillo y rojo posteriormente:

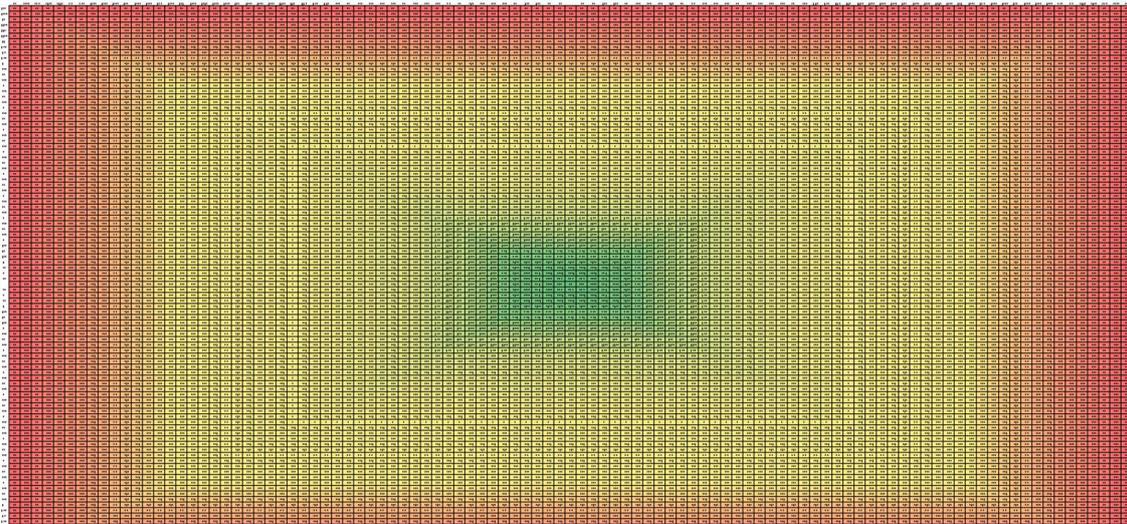


Figura 4.8: Matriz resultante

Haciendo zoom en el centro de la matriz, se puede observar en la *Figura 4.9* como los valores máximos admisibles van decreciendo conforme nos alejamos del centro de la mesa tanto en la dirección X como en Y :

| | | | | | | | | | | | | |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 1786 | 1786 | 1786 | 1786 | 1786 | 1786 | 1786 | 1786 | 1786 | 1786 | 1786 | 1786 | 1786 |
| 2031 | 2031 | 2031 | 2031 | 2031 | 2031 | 2031 | 2031 | 2031 | 2031 | 2031 | 2031 | 2031 |
| 2083 | 2097 | 2097 | 2097 | 2097 | 2097 | 2097 | 2097 | 2097 | 2097 | 2097 | 2097 | 2083 |
| 2083 | 2167 | 2167 | 2167 | 2167 | 2167 | 2167 | 2167 | 2167 | 2167 | 2167 | 2167 | 2083 |
| 2083 | 2186 | 2241 | 2241 | 2241 | 2241 | 2241 | 2241 | 2241 | 2241 | 2241 | 2186 | 2083 |
| 2083 | 2186 | 2242 | 2301 | 2321 | 2321 | 2321 | 2321 | 2321 | 2301 | 2242 | 2186 | 2083 |
| 2083 | 2186 | 2242 | 2301 | 2364 | 2407 | 2407 | 2407 | 2364 | 2301 | 2242 | 2186 | 2083 |
| 2083 | 2186 | 2242 | 2301 | 2364 | 2430 | 2500 | 2430 | 2364 | 2301 | 2242 | 2186 | 2083 |
| 2083 | 2186 | 2242 | 2301 | 2364 | 2407 | 2407 | 2407 | 2364 | 2301 | 2242 | 2186 | 2083 |
| 2083 | 2186 | 2242 | 2301 | 2321 | 2321 | 2321 | 2321 | 2321 | 2301 | 2242 | 2186 | 2083 |
| 2083 | 2186 | 2241 | 2241 | 2241 | 2241 | 2241 | 2241 | 2241 | 2241 | 2241 | 2186 | 2083 |
| 2083 | 2167 | 2167 | 2167 | 2167 | 2167 | 2167 | 2167 | 2167 | 2167 | 2167 | 2167 | 2083 |
| 2083 | 2097 | 2097 | 2097 | 2097 | 2097 | 2097 | 2097 | 2097 | 2097 | 2097 | 2097 | 2083 |
| 2031 | 2031 | 2031 | 2031 | 2031 | 2031 | 2031 | 2031 | 2031 | 2031 | 2031 | 2031 | 2031 |

Figura 4.9: Vista ampliada del centro de la matriz

Con esta matriz, podemos generar un gráfico de superficie mediante la herramienta correspondiente de Excel, obteniendo una representación en tres dimensiones del reparto de la fuerza en toda la mesa. El resultado se muestra en la *Figura 4.10*:

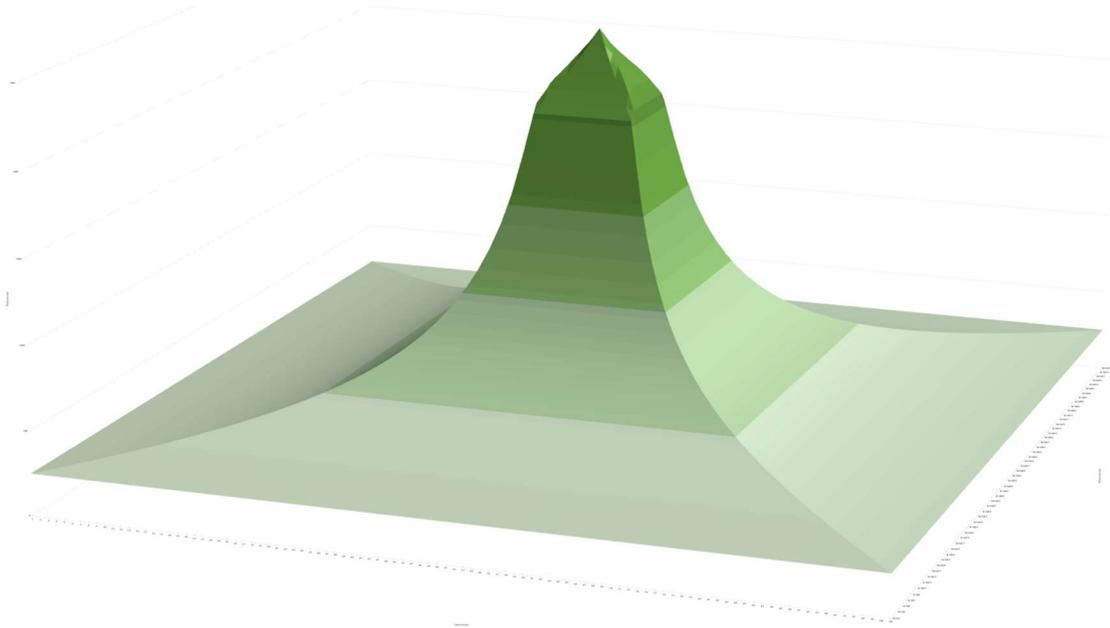


Figura 4.10: Gráfico de superficie

Esta última representación se utiliza solamente para representar de manera visual el reparto de esfuerzos a lo largo de la mesa para una mejor comprensión del mismo, ya que a la hora de analizar los datos para comprobar si la prensa trabaja dentro de los márgenes admisibles, las gráficas en 2D resultan un elemento más práctico.

5-Comprobaciones

Las correspondientes ecuaciones fueron integradas en el HMI de la prensa, que es capaz de usarlas para darnos datos en tiempo real de la fuerza de pisado de la prensa en función de la posición angular y de la posición de la fuerza resultante de pisado resultante de la suma de la ejercida en cada biela, proporcionando tanto la desviación respecto al eje X como respecto al eje Y.

Una vez registrados una serie de golpes, el programa nos devuelve un archivo PDF con una serie de tablas donde se muestran estos datos, donde las fuerzas están expresadas en milímetros y las fuerzas en toneladas. En el anexo 7.2 se pueden encontrar las tablas de las que se sacarán los datos para realizar las comprobaciones.

Ante la imposibilidad del HMI de traspasar los datos a otro tipo de formato para su representación y a la falta de tiempo de idear un sistema mejor para comprobar en tiempo real si el descentramiento de la fuerza cae en los valores correctos debido a la cancelación de las prácticas por el COVID-19, el procedimiento a seguir ha sido el siguiente:

Primero se han pasado las tablas correspondientes a la fuerza total ejercida por la prensa y los valores de descentramiento a Excel, con su correspondiente posición angular.

A continuación, mediante el uso de las fórmulas expuestas en el apartado 4, se ha calculado la fuerza máxima admisible correspondiente a cada posición angular para los valores X e Y. Con esto, se ha aplicado un formato condicional que compara los valores aportados por la prensa con los límites para cada eje, que marca en rojo los valores de fuerza que superan el criterio, tanto para comparar la fuerza máxima en función de la posición angular como la máxima en función del descentramiento.

A continuación, para observar cómo evoluciona la fuerza en función de la posición angular y compararlo con los límites máximos admisibles, se ha generado una gráfica, como puede verse en la *Figura 7.1*:

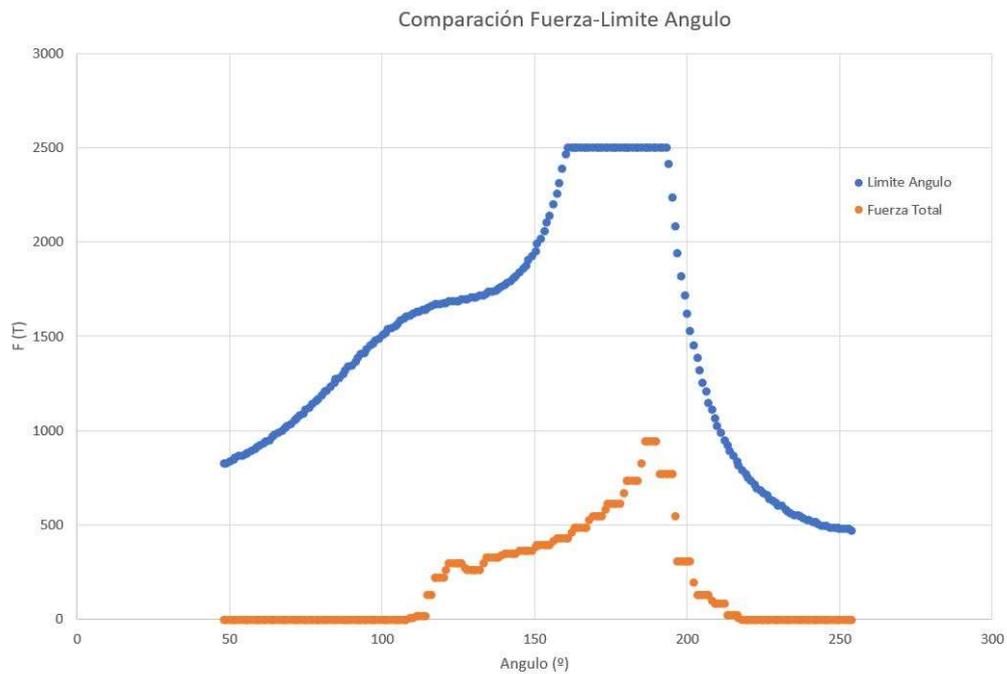


Figura 5.1: Comparación entre el límite máximo admisible de fuerza por posición angular y la fuerza ejercida por la prensa

También se han generado otras dos gráficas, comparando la fuerza máxima admisible por descentramiento con los valores máximos para cada punto. El resultado es la *Figura 7.2* para el eje X y la *Figura 7.3* para el eje Y:

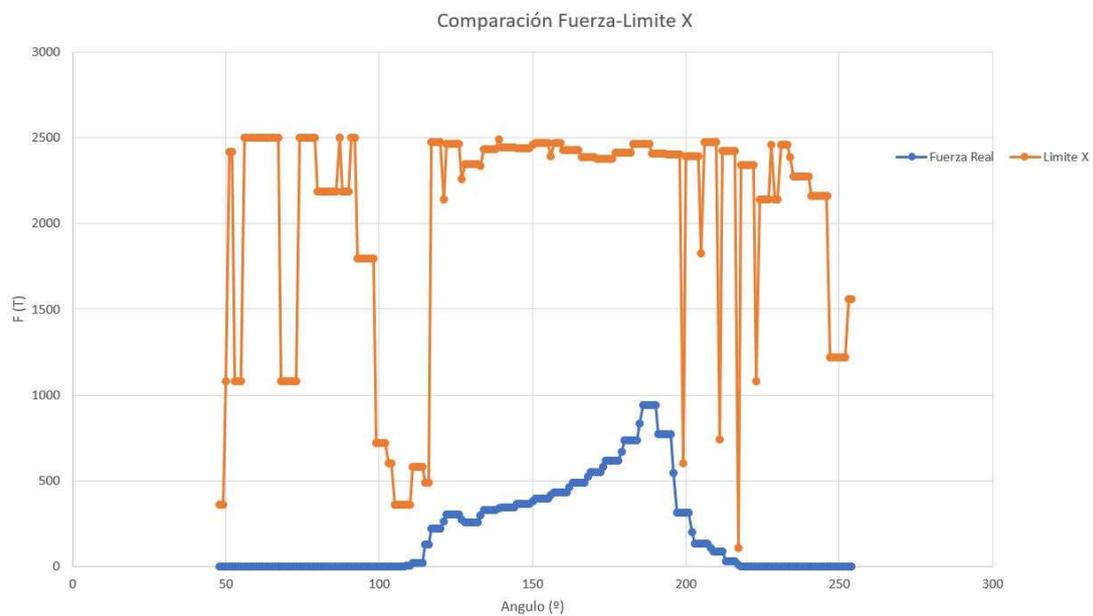


Figura 5.2: Comparación entre la fuerza máxima admisible por descentramiento y la ejercida por la prensa para el eje X

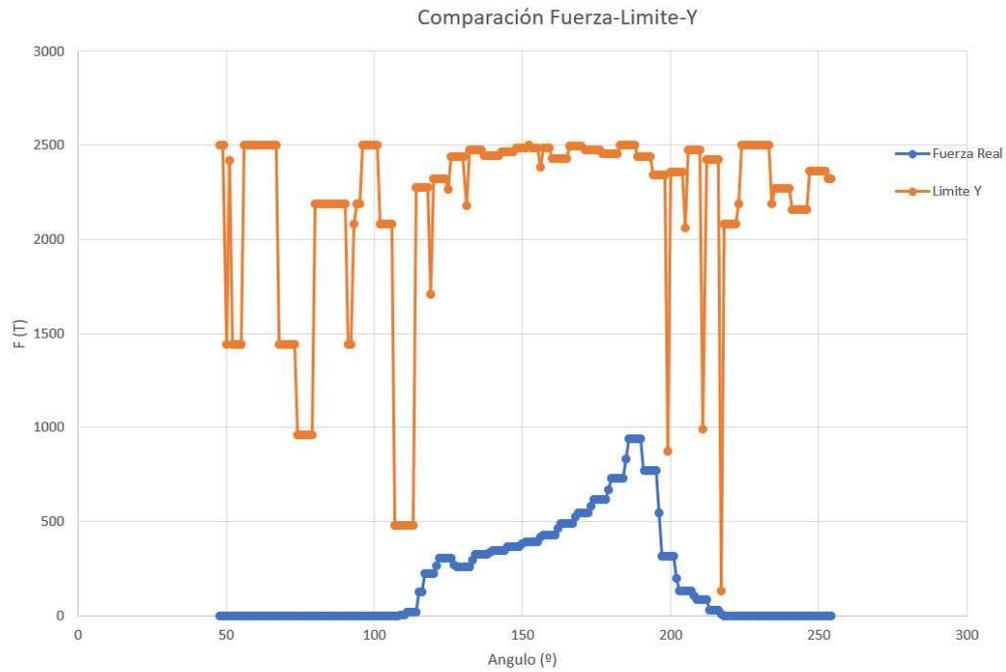


Figura 5.3: Comparación entre la fuerza máxima admisible por descentramiento y la ejercida por la prensa para el eje Y

Como se puede observar en las tres gráficas, la prensa trabaja dentro de los límites admisibles en todo momento, tanto para el criterio de descentramiento como para el de posición angular.

6-Análisis Económico

En este apartado se analizará el coste de desarrollo e implementación del proyecto, teniendo en cuenta el coste de los equipos instalados y de los recursos humanos necesarios para ello.

La *Tabla 6.1* muestra los costes de recursos humanos, y la *Tabla 6.2* los costes de los equipos:

Tabla 6.1: Costes de recursos humanos

| Descripción | Unidades | Cantidad | Precio Unitario | Precio Total |
|--------------|-------------|----------|-----------------|--------------|
| Becario | Mes | 5 | 450 € | 2.250 € |
| Mano de obra | Instalación | 1 | 3.000 € | 3.000 € |
| | | | Total | 5.250 € |

Tabla 6.2: Costes de los equipos instalados

| Descripción | Cantidad | Precio Unitario | Precio Total |
|---------------------|----------|-----------------|--------------|
| Galgas | 4 | 450 € | 1.800 € |
| Cableado | 1 | 1.000 € | 1.000 € |
| Pantalla y Software | 1 | 3.000 € | 3.000 € |
| | | Total | 5.800 € |

Respecto a la *Tabla 6.1*, el proyecto en principio iba a tener una duración de 7 meses para el becario (desde diciembre de 2019 hasta junio de 2020), pero debido al cierre de la planta por la situación del COVID-19 en marzo de 2020 y a la correspondiente suspensión de las prácticas en empresa, el becario estuvo en régimen de prácticas dos meses menos de los previstos, por lo que estos no se contabilizarán a la hora de realizar el presupuesto final.

La *Tabla 6.3* muestra el presupuesto final, resultado de sumar los costes de recursos humanos y equipos:

Tabla 6.3: Costes finales

| Costes RRHH | Costes de Equipos | Precio Final |
|-------------|-------------------|--------------|
| 5.250 € | 5.800 € | 11.050 € |

7-Anexos

7.1. Datos técnicos de la prensa L133-1

Tabla 7.1: Datos técnicos de la prensa L-113-1

| | |
|--|--------------------------|
| Modelo | LE4-2500-4600-2500 |
| Numero de prensas | 1 |
| Bastidor | con tirantes pretensados |
| Puntos de conexión | 4 |
| Tipo de trabajo | Simple efecto |
| Sistema de accionamiento | Link-drive (6 Uniones) |
| Fuerza total a 13 mm. antes del P.M.I | 25,000 KN. |
| Energía nominal a 13 g.p.m. | 1,100 KJ. |
| Carrera | 1,000 mm. |
| Altura cerrada (Altura cerrada con curso en bajo y regulación en alto) | 1,680 mm. |
| Regulación del carro | 500 mm. |
| Dimensiones de la mesa y del carro | 4,600 x 2,500 mm. |
| Altura de la mesa sobre el suelo (aprox.) | 830 mm |
| Número de golpes por minuto en modo automático | 8 + 20 spm |
| Número de golpes por minuto en modo "golpe único" | 12 spm |
| Paso lateral entre columnas (anchura) | 3,200 mm. |
| Paso frontal entre columnas | 4,700 mm. |
| Flexión de la mesa | 0.1251 mm/m |
| Altura máxima sobre el suelo (aprox.) | 10,000 mm. |
| Peso, aprox | 750,000 Kg. |

| | | |
|-----------------|-------------------|------------|
| Motor principal | Modelo CA | Siemens |
| | Potencia | 500 Kw. |
| | Dirección de Giro | Reversible |

| | | |
|-------|---|------------|
| Carro | Material de guiado | Bronze |
| | Potencia del motor de regulación | 18.5 Kw |
| | Precisión de regulación | 0.1 mm |
| | Velocidad de regulación | 50 mm/min. |
| | Peso máximo del troquel superior | 31,000 Kg |
| | Carrera de seguridad contra sobrecargas | 50 mm. |

| | | |
|----------------------|-----------------------------------|--------------------|
| Cojín hidráulico CNC | Capacidad | 6000 KN |
| | Dimensiones aproximadas de pisado | 2x2,035 x 1,170 mm |
| | Carrera cojín | 390 mm |

7.2. Datos de pisado usados en las comprobaciones

Tabla 7.2: Datos de la fuerza de pisado para cada posición angular de la excéntrica

| Angulo | Ft-X | Ft-Y |
|--------|------|------|
| 48 | 0 | 0 |
| 49 | 0 | 0 |
| 50 | 0 | 0 |
| 51 | 0 | 0 |
| 52 | 0 | 0 |
| 53 | 0 | 0 |
| 54 | 0 | 0 |
| 55 | 0 | 0 |
| 56 | 0 | 0 |
| 57 | 0 | 0 |
| 58 | 0 | 0 |
| 59 | 0 | 0 |
| 60 | 0 | 0 |
| 61 | 0 | 0 |
| 62 | 0 | 0 |
| 63 | 0 | 0 |
| 64 | 0 | 0 |
| 65 | 0 | 0 |
| 66 | 0 | 0 |
| 67 | 0 | 0 |
| 68 | 0 | 0 |
| 69 | 0 | 0 |
| 70 | 0 | 0 |
| 71 | 0 | 0 |
| 72 | 0 | 0 |
| 73 | 0 | 0 |
| 74 | 0 | 0 |
| 75 | 0 | 0 |
| 76 | 0 | 0 |
| 77 | 0 | 0 |
| 78 | 0 | 0 |
| 79 | 0 | 0 |
| 80 | 0 | 0 |
| 81 | 0 | 0 |
| 82 | 0 | 0 |
| 83 | 0 | 0 |
| 84 | 0 | 0 |
| 85 | 0 | 0 |
| 86 | 0 | 0 |
| 87 | 0 | 0 |
| 88 | 0 | 0 |

| | | |
|-----|-----|-----|
| 89 | 0 | 0 |
| 90 | 0 | 0 |
| 91 | 0 | 0 |
| 92 | 0 | 0 |
| 93 | 0 | 0 |
| 94 | 0 | 0 |
| 95 | 0 | 0 |
| 96 | 0 | 0 |
| 97 | 0 | 0 |
| 98 | 0 | 0 |
| 99 | 0 | 0 |
| 100 | 0 | 0 |
| 101 | 0 | 0 |
| 102 | 0 | 0 |
| 103 | 0 | 0 |
| 104 | 0 | 0 |
| 105 | 0 | 0 |
| 106 | 0 | 0 |
| 107 | 0 | 0 |
| 108 | 0 | 0 |
| 109 | 4 | 4 |
| 110 | 4 | 4 |
| 111 | 21 | 21 |
| 112 | 21 | 21 |
| 113 | 21 | 21 |
| 114 | 21 | 21 |
| 115 | 129 | 129 |
| 116 | 129 | 129 |
| 117 | 222 | 222 |
| 118 | 222 | 222 |
| 119 | 222 | 222 |
| 120 | 222 | 222 |
| 121 | 264 | 264 |
| 122 | 304 | 304 |
| 123 | 304 | 304 |
| 124 | 304 | 304 |
| 125 | 304 | 304 |
| 126 | 304 | 304 |
| 127 | 271 | 271 |
| 128 | 259 | 259 |
| 129 | 259 | 259 |
| 130 | 259 | 259 |
| 131 | 259 | 259 |
| 132 | 259 | 259 |
| 133 | 297 | 297 |

| | | |
|-----|-----|-----|
| 134 | 327 | 327 |
| 135 | 327 | 327 |
| 136 | 327 | 327 |
| 137 | 327 | 327 |
| 138 | 327 | 327 |
| 139 | 337 | 337 |
| 140 | 346 | 346 |
| 141 | 346 | 346 |
| 142 | 346 | 346 |
| 143 | 346 | 346 |
| 144 | 346 | 346 |
| 145 | 367 | 367 |
| 146 | 367 | 367 |
| 147 | 367 | 367 |
| 148 | 367 | 367 |
| 149 | 367 | 367 |
| 150 | 382 | 382 |
| 151 | 393 | 393 |
| 152 | 393 | 393 |
| 153 | 393 | 393 |
| 154 | 393 | 393 |
| 155 | 393 | 393 |
| 156 | 417 | 417 |
| 157 | 431 | 431 |
| 158 | 431 | 431 |
| 159 | 431 | 431 |
| 160 | 431 | 431 |
| 161 | 431 | 431 |
| 162 | 465 | 465 |
| 163 | 490 | 490 |
| 164 | 490 | 490 |
| 165 | 490 | 490 |
| 166 | 490 | 490 |
| 167 | 490 | 490 |
| 168 | 525 | 525 |
| 169 | 548 | 548 |
| 170 | 548 | 548 |
| 171 | 548 | 548 |
| 172 | 548 | 548 |
| 173 | 582 | 582 |
| 174 | 617 | 617 |
| 175 | 617 | 617 |
| 176 | 617 | 617 |
| 177 | 617 | 617 |
| 178 | 617 | 617 |

| | | |
|-----|-----|-----|
| 179 | 667 | 667 |
| 180 | 733 | 733 |
| 181 | 733 | 733 |
| 182 | 733 | 733 |
| 183 | 733 | 733 |
| 184 | 733 | 733 |
| 185 | 833 | 833 |
| 186 | 939 | 939 |
| 187 | 939 | 939 |
| 188 | 939 | 939 |
| 189 | 939 | 939 |
| 190 | 939 | 939 |
| 191 | 772 | 772 |
| 192 | 772 | 772 |
| 193 | 772 | 772 |
| 194 | 772 | 772 |
| 195 | 772 | 772 |
| 196 | 547 | 547 |
| 197 | 314 | 314 |
| 198 | 314 | 314 |
| 199 | 314 | 314 |
| 200 | 314 | 314 |
| 201 | 314 | 314 |
| 202 | 200 | 200 |
| 203 | 132 | 132 |
| 204 | 132 | 132 |
| 205 | 132 | 132 |
| 206 | 132 | 132 |
| 207 | 132 | 132 |
| 208 | 105 | 105 |
| 209 | 85 | 85 |
| 210 | 85 | 85 |
| 211 | 85 | 85 |
| 212 | 85 | 85 |
| 213 | 31 | 31 |
| 214 | 31 | 31 |
| 215 | 31 | 31 |
| 216 | 31 | 31 |
| 217 | 7 | 7 |
| 218 | 0 | 0 |
| 219 | 0 | 0 |
| 220 | 0 | 0 |
| 221 | 0 | 0 |
| 222 | 0 | 0 |
| 223 | 0 | 0 |

| | | |
|-----|---|---|
| 224 | 0 | 0 |
| 225 | 0 | 0 |
| 226 | 0 | 0 |
| 227 | 0 | 0 |
| 228 | 0 | 0 |
| 229 | 0 | 0 |
| 230 | 0 | 0 |
| 231 | 0 | 0 |
| 232 | 0 | 0 |
| 233 | 0 | 0 |
| 234 | 0 | 0 |
| 235 | 0 | 0 |
| 236 | 0 | 0 |
| 237 | 0 | 0 |
| 238 | 0 | 0 |
| 239 | 0 | 0 |
| 240 | 0 | 0 |
| 241 | 0 | 0 |
| 242 | 0 | 0 |
| 243 | 0 | 0 |
| 244 | 0 | 0 |
| 245 | 0 | 0 |
| 246 | 0 | 0 |
| 247 | 0 | 0 |
| 248 | 0 | 0 |
| 249 | 0 | 0 |
| 250 | 0 | 0 |
| 251 | 0 | 0 |
| 252 | 0 | 0 |
| 253 | 0 | 0 |
| 254 | 0 | 0 |

Tabla 7.3: Datos de la posición X del descentramiento de la fuerza y límite de fuerza calculado para tal descentramiento

| Angulo | X | X/A | Limite Norma | Limite Físico | Limite Total |
|--------|-------|-------|--------------|---------------|--------------|
| 48 | -1600 | 0,348 | 359 | 1250 | 359 |
| 49 | -1600 | 0,348 | 359 | 1250 | 359 |
| 50 | -533 | 0,116 | 1078 | 1875 | 1078 |
| 51 | -53 | 0,012 | 10781 | 2419 | 2419 |
| 52 | -53 | 0,012 | 10781 | 2419 | 2419 |
| 53 | -533 | 0,116 | 1078 | 1875 | 1078 |
| 54 | -533 | 0,116 | 1078 | 1875 | 1078 |
| 55 | -533 | 0,116 | 1078 | 1875 | 1078 |
| 56 | 0 | 0,000 | 99999 | 2500 | 2500 |

| | | | | | |
|-----|------|-------|------------|------|------|
| 57 | 0 | 0,000 | 99999 | 2500 | 2500 |
| 58 | 0 | 0,000 | 99999 | 2500 | 2500 |
| 59 | 0 | 0,000 | 99999 | 2500 | 2500 |
| 60 | 0 | 0,000 | 99999 | 2500 | 2500 |
| 61 | 0 | 0,000 | 99999 | 2500 | 2500 |
| 62 | 0 | 0,000 | 99999 | 2500 | 2500 |
| 63 | 0 | 0,000 | 99999 | 2500 | 2500 |
| 64 | 0 | 0,000 | 99999 | 2500 | 2500 |
| 65 | 0 | 0,000 | 99999 | 2500 | 2500 |
| 66 | 0 | 0,000 | 99999 | 2500 | 2500 |
| 67 | 0 | 0,000 | 99999 | 2500 | 2500 |
| 68 | 533 | 0,116 | 1078 | 1875 | 1078 |
| 69 | 533 | 0,116 | 1078 | 1875 | 1078 |
| 70 | 533 | 0,116 | 1078 | 1875 | 1078 |
| 71 | 533 | 0,116 | 1078 | 1875 | 1078 |
| 72 | 533 | 0,116 | 1078 | 1875 | 1078 |
| 73 | 533 | 0,116 | 1078 | 1875 | 1078 |
| 74 | 0 | 0,000 | 99999 | 2500 | 2500 |
| 75 | 0 | 0,000 | 99999 | 2500 | 2500 |
| 76 | 0 | 0,000 | 99999 | 2500 | 2500 |
| 77 | 0 | 0,000 | 99999 | 2500 | 2500 |
| 78 | 0 | 0,000 | 99999 | 2500 | 2500 |
| 79 | 0 | 0,000 | 99999 | 2500 | 2500 |
| 80 | -229 | 0,050 | 2516 | 2188 | 2188 |
| 81 | -229 | 0,050 | 2516 | 2188 | 2188 |
| 82 | -229 | 0,050 | 2516 | 2188 | 2188 |
| 83 | -229 | 0,050 | 2516 | 2188 | 2188 |
| 84 | -229 | 0,050 | 2516 | 2188 | 2188 |
| 85 | -229 | 0,050 | 2516 | 2188 | 2188 |
| 86 | -229 | 0,050 | 2516 | 2188 | 2188 |
| 87 | 0 | 0,000 | 2515625314 | 2500 | 2500 |
| 88 | -229 | 0,050 | 2516 | 2188 | 2188 |
| 89 | -229 | 0,050 | 2516 | 2188 | 2188 |
| 90 | -229 | 0,050 | 2516 | 2188 | 2188 |
| 91 | 0 | 0,000 | 99999 | 2500 | 2500 |
| 92 | 0 | 0,000 | 99999 | 2500 | 2500 |
| 93 | -320 | 0,070 | 1797 | 2083 | 1797 |
| 94 | -320 | 0,070 | 1797 | 2083 | 1797 |
| 95 | -320 | 0,070 | 1797 | 2083 | 1797 |
| 96 | -320 | 0,070 | 1797 | 2083 | 1797 |
| 97 | -320 | 0,070 | 1797 | 2083 | 1797 |
| 98 | -320 | 0,070 | 1797 | 2083 | 1797 |
| 99 | -800 | 0,174 | 719 | 1667 | 719 |
| 100 | -800 | 0,174 | 719 | 1667 | 719 |
| 101 | -800 | 0,174 | 719 | 1667 | 719 |

| | | | | | |
|-----|-------|-------|--------|------|------|
| 102 | -800 | 0,174 | 719 | 1667 | 719 |
| 103 | -960 | 0,209 | 599 | 1563 | 599 |
| 104 | -960 | 0,209 | 599 | 1563 | 599 |
| 105 | -1600 | 0,348 | 359 | 1250 | 359 |
| 106 | -1600 | 0,348 | 359 | 1250 | 359 |
| 107 | -1600 | 0,348 | 359 | 1250 | 359 |
| 108 | -1600 | 0,348 | 359 | 1250 | 359 |
| 109 | -1600 | 0,348 | 359 | 1250 | 359 |
| 110 | -1600 | 0,348 | 359 | 1250 | 359 |
| 111 | 990 | 0,215 | 581 | 1544 | 581 |
| 112 | 990 | 0,215 | 581 | 1544 | 581 |
| 113 | 990 | 0,215 | 581 | 1544 | 581 |
| 114 | 990 | 0,215 | 581 | 1544 | 581 |
| 115 | -1178 | 0,256 | 488 | 1440 | 488 |
| 116 | -1178 | 0,256 | 488 | 1440 | 488 |
| 117 | -14 | 0,003 | 39891 | 2478 | 2478 |
| 118 | -14 | 0,003 | 39891 | 2478 | 2478 |
| 119 | -14 | 0,003 | 39891 | 2478 | 2478 |
| 120 | -14 | 0,003 | 39891 | 2478 | 2478 |
| 121 | -267 | 0,058 | 2156 | 2143 | 2143 |
| 122 | -21 | 0,005 | 27313 | 2468 | 2468 |
| 123 | -21 | 0,005 | 27313 | 2468 | 2468 |
| 124 | -21 | 0,005 | 27313 | 2468 | 2468 |
| 125 | -21 | 0,005 | 27313 | 2468 | 2468 |
| 126 | -21 | 0,005 | 27313 | 2468 | 2468 |
| 127 | 171 | 0,037 | 3358 | 2258 | 2258 |
| 128 | 105 | 0,023 | 5475 | 2346 | 2346 |
| 129 | 105 | 0,023 | 5475 | 2346 | 2346 |
| 130 | 105 | 0,023 | 5475 | 2346 | 2346 |
| 131 | 105 | 0,023 | 5475 | 2346 | 2346 |
| 132 | 105 | 0,023 | 5475 | 2346 | 2346 |
| 133 | -113 | 0,025 | 5083 | 2335 | 2335 |
| 134 | 44 | 0,010 | 13057 | 2433 | 2433 |
| 135 | 44 | 0,010 | 13057 | 2433 | 2433 |
| 136 | 44 | 0,010 | 13057 | 2433 | 2433 |
| 137 | 44 | 0,010 | 13057 | 2433 | 2433 |
| 138 | 44 | 0,010 | 13057 | 2433 | 2433 |
| 139 | -5 | 0,001 | 121109 | 2493 | 2493 |
| 140 | 37 | 0,008 | 15543 | 2444 | 2444 |
| 141 | 37 | 0,008 | 15543 | 2444 | 2444 |
| 142 | 37 | 0,008 | 15543 | 2444 | 2444 |
| 143 | 37 | 0,008 | 15543 | 2444 | 2444 |
| 144 | 37 | 0,008 | 15543 | 2444 | 2444 |
| 145 | 39 | 0,009 | 14655 | 2440 | 2440 |
| 146 | 39 | 0,009 | 14655 | 2440 | 2440 |

| | | | | | |
|-----|-----|-------|-------|------|------|
| 147 | 39 | 0,009 | 14655 | 2440 | 2440 |
| 148 | 39 | 0,009 | 14655 | 2440 | 2440 |
| 149 | 39 | 0,009 | 14655 | 2440 | 2440 |
| 150 | -25 | 0,005 | 22880 | 2461 | 2461 |
| 151 | 20 | 0,004 | 28247 | 2469 | 2469 |
| 152 | 20 | 0,004 | 28247 | 2469 | 2469 |
| 153 | 20 | 0,004 | 28247 | 2469 | 2469 |
| 154 | 20 | 0,004 | 28247 | 2469 | 2469 |
| 155 | 20 | 0,004 | 28247 | 2469 | 2469 |
| 156 | -73 | 0,016 | 7887 | 2391 | 2391 |
| 157 | -19 | 0,004 | 30978 | 2471 | 2471 |
| 158 | -19 | 0,004 | 30978 | 2471 | 2471 |
| 159 | -19 | 0,004 | 30978 | 2471 | 2471 |
| 160 | -45 | 0,010 | 12799 | 2432 | 2432 |
| 161 | -45 | 0,010 | 12799 | 2432 | 2432 |
| 162 | -45 | 0,010 | 12799 | 2432 | 2432 |
| 163 | -45 | 0,010 | 12799 | 2432 | 2432 |
| 164 | -45 | 0,010 | 12799 | 2432 | 2432 |
| 165 | -45 | 0,010 | 12799 | 2432 | 2432 |
| 166 | -76 | 0,017 | 7547 | 2386 | 2386 |
| 167 | -76 | 0,017 | 7547 | 2386 | 2386 |
| 168 | -76 | 0,017 | 7547 | 2386 | 2386 |
| 169 | -76 | 0,017 | 7547 | 2386 | 2386 |
| 170 | -76 | 0,017 | 7547 | 2386 | 2386 |
| 171 | -82 | 0,018 | 6996 | 2378 | 2378 |
| 172 | -82 | 0,018 | 6996 | 2378 | 2378 |
| 173 | -82 | 0,018 | 6996 | 2378 | 2378 |
| 174 | -82 | 0,018 | 6996 | 2378 | 2378 |
| 175 | -82 | 0,018 | 6996 | 2378 | 2378 |
| 176 | -82 | 0,018 | 6996 | 2378 | 2378 |
| 177 | -57 | 0,012 | 10122 | 2414 | 2414 |
| 178 | -57 | 0,012 | 10122 | 2414 | 2414 |
| 179 | -57 | 0,012 | 10122 | 2414 | 2414 |
| 180 | -57 | 0,012 | 10122 | 2414 | 2414 |
| 181 | -57 | 0,012 | 10122 | 2414 | 2414 |
| 182 | -57 | 0,012 | 10122 | 2414 | 2414 |
| 183 | -23 | 0,005 | 25216 | 2465 | 2465 |
| 184 | -23 | 0,005 | 25216 | 2465 | 2465 |
| 185 | -23 | 0,005 | 25216 | 2465 | 2465 |
| 186 | -23 | 0,005 | 25216 | 2465 | 2465 |
| 187 | -23 | 0,005 | 25216 | 2465 | 2465 |
| 188 | -23 | 0,005 | 25216 | 2465 | 2465 |
| 189 | -59 | 0,013 | 9767 | 2411 | 2411 |
| 190 | -59 | 0,013 | 9767 | 2411 | 2411 |
| 191 | -59 | 0,013 | 9767 | 2411 | 2411 |

| | | | | | |
|-----|------|-------|-------|------|------|
| 192 | -59 | 0,013 | 9767 | 2411 | 2411 |
| 193 | -59 | 0,013 | 9767 | 2411 | 2411 |
| 194 | -64 | 0,014 | 8984 | 2404 | 2404 |
| 195 | -64 | 0,014 | 8984 | 2404 | 2404 |
| 196 | -64 | 0,014 | 8984 | 2404 | 2404 |
| 197 | -64 | 0,014 | 8984 | 2404 | 2404 |
| 198 | -64 | 0,014 | 8984 | 2404 | 2404 |
| 199 | 952 | 0,207 | 604 | 1567 | 604 |
| 200 | 72 | 0,016 | 8026 | 2393 | 2393 |
| 201 | 72 | 0,016 | 8026 | 2393 | 2393 |
| 202 | 72 | 0,016 | 8026 | 2393 | 2393 |
| 203 | 72 | 0,016 | 8026 | 2393 | 2393 |
| 204 | 72 | 0,016 | 8026 | 2393 | 2393 |
| 205 | 315 | 0,068 | 1828 | 2089 | 1828 |
| 206 | -17 | 0,004 | 33422 | 2473 | 2473 |
| 207 | -17 | 0,004 | 33422 | 2473 | 2473 |
| 208 | -17 | 0,004 | 33422 | 2473 | 2473 |
| 209 | -17 | 0,004 | 33422 | 2473 | 2473 |
| 210 | -17 | 0,004 | 33422 | 2473 | 2473 |
| 211 | 774 | 0,168 | 743 | 1685 | 743 |
| 212 | -52 | 0,011 | 11141 | 2422 | 2422 |
| 213 | -52 | 0,011 | 11141 | 2422 | 2422 |
| 214 | -52 | 0,011 | 11141 | 2422 | 2422 |
| 215 | -52 | 0,011 | 11141 | 2422 | 2422 |
| 216 | -52 | 0,011 | 11141 | 2422 | 2422 |
| 217 | 5257 | 1,143 | 109 | 583 | 109 |
| 218 | -107 | 0,023 | 5391 | 2344 | 2344 |
| 219 | -107 | 0,023 | 5391 | 2344 | 2344 |
| 220 | -107 | 0,023 | 5391 | 2344 | 2344 |
| 221 | -107 | 0,023 | 5391 | 2344 | 2344 |
| 222 | -107 | 0,023 | 5391 | 2344 | 2344 |
| 223 | -533 | 0,116 | 1078 | 1875 | 1078 |
| 224 | -267 | 0,058 | 2156 | 2143 | 2143 |
| 225 | -267 | 0,058 | 2156 | 2143 | 2143 |
| 226 | -267 | 0,058 | 2156 | 2143 | 2143 |
| 227 | -267 | 0,058 | 2156 | 2143 | 2143 |
| 228 | -27 | 0,006 | 21562 | 2459 | 2459 |
| 229 | -267 | 0,058 | 2156 | 2143 | 2143 |
| 230 | -267 | 0,058 | 2156 | 2143 | 2143 |
| 231 | -27 | 0,006 | 21562 | 2459 | 2459 |
| 232 | -27 | 0,006 | 21562 | 2459 | 2459 |
| 233 | -27 | 0,006 | 21562 | 2459 | 2459 |
| 234 | -76 | 0,017 | 7547 | 2386 | 2386 |
| 235 | -160 | 0,035 | 3594 | 2273 | 2273 |
| 236 | -160 | 0,035 | 3594 | 2273 | 2273 |

| | | | | | |
|-----|------|-------|------|------|------|
| 237 | -160 | 0,035 | 3594 | 2273 | 2273 |
| 238 | -160 | 0,035 | 3594 | 2273 | 2273 |
| 239 | -160 | 0,035 | 3594 | 2273 | 2273 |
| 240 | -160 | 0,035 | 3594 | 2273 | 2273 |
| 241 | -253 | 0,055 | 2276 | 2159 | 2159 |
| 242 | -253 | 0,055 | 2276 | 2159 | 2159 |
| 243 | -253 | 0,055 | 2276 | 2159 | 2159 |
| 244 | -253 | 0,055 | 2276 | 2159 | 2159 |
| 245 | -253 | 0,055 | 2276 | 2159 | 2159 |
| 246 | -253 | 0,055 | 2276 | 2159 | 2159 |
| 247 | -471 | 0,102 | 1222 | 1932 | 1222 |
| 248 | -471 | 0,102 | 1222 | 1932 | 1222 |
| 249 | -471 | 0,102 | 1222 | 1932 | 1222 |
| 250 | -471 | 0,102 | 1222 | 1932 | 1222 |
| 251 | -471 | 0,102 | 1222 | 1932 | 1222 |
| 252 | -471 | 0,102 | 1222 | 1932 | 1222 |
| 253 | -369 | 0,080 | 1557 | 2031 | 1557 |
| 254 | -369 | 0,080 | 1557 | 2031 | 1557 |

Tabla 7.4: Datos de la posición Y del descentramiento de la fuerza y límite de fuerza calculado para tal descentramiento

| Angulo | Y | Y/B | Limite Norma | Limite Fisico | Limite Total |
|--------|------|-------|--------------|---------------|--------------|
| 48 | 0 | 0,000 | 99999 | 2500 | 2500 |
| 49 | 0 | 0,000 | 99999 | 2500 | 2500 |
| 50 | -217 | 0,087 | 1442 | 1875 | 1442 |
| 51 | -22 | 0,009 | 14423 | 2419 | 2419 |
| 52 | -217 | 0,087 | 1442 | 1875 | 1442 |
| 53 | -217 | 0,087 | 1442 | 1875 | 1442 |
| 54 | -217 | 0,087 | 1442 | 1875 | 1442 |
| 55 | -217 | 0,087 | 1442 | 1875 | 1442 |
| 56 | 0 | 0,000 | 99999 | 2500 | 2500 |
| 57 | 0 | 0,000 | 99999 | 2500 | 2500 |
| 58 | 0 | 0,000 | 99999 | 2500 | 2500 |
| 59 | 0 | 0,000 | 99999 | 2500 | 2500 |
| 60 | 0 | 0,000 | 99999 | 2500 | 2500 |
| 61 | 0 | 0,000 | 99999 | 2500 | 2500 |
| 62 | 0 | 0,000 | 99999 | 2500 | 2500 |
| 63 | 0 | 0,000 | 99999 | 2500 | 2500 |
| 64 | 0 | 0,000 | 99999 | 2500 | 2500 |
| 65 | 0 | 0,000 | 99999 | 2500 | 2500 |
| 66 | 0 | 0,000 | 99999 | 2500 | 2500 |
| 67 | 0 | 0,000 | 99999 | 2500 | 2500 |
| 68 | 217 | 0,087 | 1442 | 1875 | 1442 |
| 69 | 217 | 0,087 | 1442 | 1875 | 1442 |

| | | | | | |
|-----|-----|-------|-------|------|------|
| 70 | 217 | 0,087 | 1442 | 1875 | 1442 |
| 71 | 217 | 0,087 | 1442 | 1875 | 1442 |
| 72 | 217 | 0,087 | 1442 | 1875 | 1442 |
| 73 | 217 | 0,087 | 1442 | 1875 | 1442 |
| 74 | 325 | 0,130 | 962 | 1667 | 962 |
| 75 | 325 | 0,130 | 962 | 1667 | 962 |
| 76 | 325 | 0,130 | 962 | 1667 | 962 |
| 77 | 325 | 0,130 | 962 | 1667 | 962 |
| 78 | 325 | 0,130 | 962 | 1667 | 962 |
| 79 | 325 | 0,130 | 962 | 1667 | 962 |
| 80 | 93 | 0,037 | 3365 | 2188 | 2188 |
| 81 | 93 | 0,037 | 3365 | 2188 | 2188 |
| 82 | 93 | 0,037 | 3365 | 2188 | 2188 |
| 83 | 93 | 0,037 | 3365 | 2188 | 2188 |
| 84 | 93 | 0,037 | 3365 | 2188 | 2188 |
| 85 | 93 | 0,037 | 3365 | 2188 | 2188 |
| 86 | 93 | 0,037 | 3365 | 2188 | 2188 |
| 87 | 93 | 0,037 | 3365 | 2188 | 2188 |
| 88 | 93 | 0,037 | 3365 | 2188 | 2188 |
| 89 | 93 | 0,037 | 3365 | 2188 | 2188 |
| 90 | 93 | 0,037 | 3365 | 2188 | 2188 |
| 91 | 217 | 0,087 | 1442 | 1875 | 1442 |
| 92 | 217 | 0,087 | 1442 | 1875 | 1442 |
| 93 | 130 | 0,052 | 2404 | 2083 | 2083 |
| 94 | 93 | 0,037 | 3365 | 2188 | 2188 |
| 95 | 93 | 0,037 | 3365 | 2188 | 2188 |
| 96 | 0 | 0,000 | 99999 | 2500 | 2500 |
| 97 | 0 | 0,000 | 99999 | 2500 | 2500 |
| 98 | 0 | 0,000 | 99999 | 2500 | 2500 |
| 99 | 0 | 0,000 | 99999 | 2500 | 2500 |
| 100 | 0 | 0,000 | 99999 | 2500 | 2500 |
| 101 | 0 | 0,000 | 99999 | 2500 | 2500 |
| 102 | 130 | 0,052 | 2404 | 2083 | 2083 |
| 103 | 130 | 0,052 | 2404 | 2083 | 2083 |
| 104 | 130 | 0,052 | 2404 | 2083 | 2083 |
| 105 | 130 | 0,052 | 2404 | 2083 | 2083 |
| 106 | 130 | 0,052 | 2404 | 2083 | 2083 |
| 107 | 650 | 0,260 | 481 | 1250 | 481 |
| 108 | 650 | 0,260 | 481 | 1250 | 481 |
| 109 | 650 | 0,260 | 481 | 1250 | 481 |
| 110 | 650 | 0,260 | 481 | 1250 | 481 |
| 111 | 650 | 0,260 | 481 | 1250 | 481 |
| 112 | 650 | 0,260 | 481 | 1250 | 481 |
| 113 | 650 | 0,260 | 481 | 1250 | 481 |
| 114 | -64 | 0,026 | 4893 | 2276 | 2276 |

| | | | | | |
|-----|------|-------|--------|------|------|
| 115 | -64 | 0,026 | 4893 | 2276 | 2276 |
| 116 | -64 | 0,026 | 4893 | 2276 | 2276 |
| 117 | -64 | 0,026 | 4893 | 2276 | 2276 |
| 118 | -64 | 0,026 | 4893 | 2276 | 2276 |
| 119 | -183 | 0,073 | 1710 | 1951 | 1710 |
| 120 | -50 | 0,020 | 6202 | 2320 | 2320 |
| 121 | -50 | 0,020 | 6202 | 2320 | 2320 |
| 122 | -50 | 0,020 | 6202 | 2320 | 2320 |
| 123 | -50 | 0,020 | 6202 | 2320 | 2320 |
| 124 | -50 | 0,020 | 6202 | 2320 | 2320 |
| 125 | -67 | 0,027 | 4660 | 2266 | 2266 |
| 126 | -17 | 0,007 | 18590 | 2437 | 2437 |
| 127 | -17 | 0,007 | 18590 | 2437 | 2437 |
| 128 | -17 | 0,007 | 18590 | 2437 | 2437 |
| 129 | -17 | 0,007 | 18590 | 2437 | 2437 |
| 130 | -17 | 0,007 | 18590 | 2437 | 2437 |
| 131 | -96 | 0,038 | 3267 | 2179 | 2179 |
| 132 | 6 | 0,003 | 49199 | 2476 | 2476 |
| 133 | 6 | 0,003 | 49199 | 2476 | 2476 |
| 134 | 6 | 0,003 | 49199 | 2476 | 2476 |
| 135 | 6 | 0,003 | 49199 | 2476 | 2476 |
| 136 | 6 | 0,003 | 49199 | 2476 | 2476 |
| 137 | 15 | 0,006 | 20433 | 2443 | 2443 |
| 138 | 15 | 0,006 | 20433 | 2443 | 2443 |
| 139 | 15 | 0,006 | 20433 | 2443 | 2443 |
| 140 | 15 | 0,006 | 20433 | 2443 | 2443 |
| 141 | 15 | 0,006 | 20433 | 2443 | 2443 |
| 142 | 15 | 0,006 | 20433 | 2443 | 2443 |
| 143 | 9 | 0,004 | 34519 | 2466 | 2466 |
| 144 | 9 | 0,004 | 34519 | 2466 | 2466 |
| 145 | 9 | 0,004 | 34519 | 2466 | 2466 |
| 146 | 9 | 0,004 | 34519 | 2466 | 2466 |
| 147 | 9 | 0,004 | 34519 | 2466 | 2466 |
| 148 | 3 | 0,001 | 91827 | 2487 | 2487 |
| 149 | 3 | 0,001 | 91827 | 2487 | 2487 |
| 150 | 3 | 0,001 | 91827 | 2487 | 2487 |
| 151 | 3 | 0,001 | 91827 | 2487 | 2487 |
| 152 | 0 | 0,000 | 918270 | 2499 | 2499 |
| 153 | 3 | 0,001 | 91827 | 2487 | 2487 |
| 154 | -3 | 0,001 | 99519 | 2488 | 2488 |
| 155 | -3 | 0,001 | 99519 | 2488 | 2488 |
| 156 | -31 | 0,013 | 9952 | 2385 | 2385 |
| 157 | -3 | 0,001 | 99519 | 2488 | 2488 |
| 158 | -3 | 0,001 | 99519 | 2488 | 2488 |
| 159 | -3 | 0,001 | 99519 | 2488 | 2488 |

| | | | | | |
|-----|-----|-------|--------|------|------|
| 160 | 18 | 0,007 | 17123 | 2432 | 2432 |
| 161 | 18 | 0,007 | 17123 | 2432 | 2432 |
| 162 | 18 | 0,007 | 17123 | 2432 | 2432 |
| 163 | 18 | 0,007 | 17123 | 2432 | 2432 |
| 164 | 18 | 0,007 | 17123 | 2432 | 2432 |
| 165 | 18 | 0,007 | 17123 | 2432 | 2432 |
| 166 | 1 | 0,000 | 252404 | 2495 | 2495 |
| 167 | 1 | 0,000 | 252404 | 2495 | 2495 |
| 168 | 1 | 0,000 | 252404 | 2495 | 2495 |
| 169 | 1 | 0,000 | 252404 | 2495 | 2495 |
| 170 | 1 | 0,000 | 252404 | 2495 | 2495 |
| 171 | 7 | 0,003 | 46795 | 2475 | 2475 |
| 172 | 7 | 0,003 | 46795 | 2475 | 2475 |
| 173 | 7 | 0,003 | 46795 | 2475 | 2475 |
| 174 | 7 | 0,003 | 46795 | 2475 | 2475 |
| 175 | 7 | 0,003 | 46795 | 2475 | 2475 |
| 176 | 7 | 0,003 | 46795 | 2475 | 2475 |
| 177 | 12 | 0,005 | 27083 | 2456 | 2456 |
| 178 | 12 | 0,005 | 27083 | 2456 | 2456 |
| 179 | 12 | 0,005 | 27083 | 2456 | 2456 |
| 180 | 12 | 0,005 | 27083 | 2456 | 2456 |
| 181 | 12 | 0,005 | 27083 | 2456 | 2456 |
| 182 | 12 | 0,005 | 27083 | 2456 | 2456 |
| 183 | 0 | 0,000 | 99999 | 2500 | 2500 |
| 184 | 0 | 0,000 | 99999 | 2500 | 2500 |
| 185 | 0 | 0,000 | 99999 | 2500 | 2500 |
| 186 | 0 | 0,000 | 99999 | 2500 | 2500 |
| 187 | 0 | 0,000 | 99999 | 2500 | 2500 |
| 188 | 0 | 0,000 | 99999 | 2500 | 2500 |
| 189 | -15 | 0,006 | 20192 | 2442 | 2442 |
| 190 | -15 | 0,006 | 20192 | 2442 | 2442 |
| 191 | -15 | 0,006 | 20192 | 2442 | 2442 |
| 192 | -15 | 0,006 | 20192 | 2442 | 2442 |
| 193 | -15 | 0,006 | 20192 | 2442 | 2442 |
| 194 | -43 | 0,017 | 7212 | 2344 | 2344 |
| 195 | -43 | 0,017 | 7212 | 2344 | 2344 |
| 196 | -43 | 0,017 | 7212 | 2344 | 2344 |
| 197 | -43 | 0,017 | 7212 | 2344 | 2344 |
| 198 | -43 | 0,017 | 7212 | 2344 | 2344 |
| 199 | 358 | 0,143 | 873 | 1612 | 873 |
| 200 | -39 | 0,016 | 8053 | 2359 | 2359 |
| 201 | -39 | 0,016 | 8053 | 2359 | 2359 |
| 202 | -39 | 0,016 | 8053 | 2359 | 2359 |
| 203 | -39 | 0,016 | 8053 | 2359 | 2359 |
| 204 | -39 | 0,016 | 8053 | 2359 | 2359 |

| | | | | | |
|-----|-------|-------|-------|------|------|
| 205 | -139 | 0,056 | 2250 | 2060 | 2060 |
| 206 | -7 | 0,003 | 44712 | 2473 | 2473 |
| 207 | -7 | 0,003 | 44712 | 2473 | 2473 |
| 208 | -7 | 0,003 | 44712 | 2473 | 2473 |
| 209 | -7 | 0,003 | 44712 | 2473 | 2473 |
| 210 | -7 | 0,003 | 44712 | 2473 | 2473 |
| 211 | 315 | 0,126 | 994 | 1685 | 994 |
| 212 | -21 | 0,008 | 14904 | 2422 | 2422 |
| 213 | -21 | 0,008 | 14904 | 2422 | 2422 |
| 214 | -21 | 0,008 | 14904 | 2422 | 2422 |
| 215 | -21 | 0,008 | 14904 | 2422 | 2422 |
| 216 | -21 | 0,008 | 14904 | 2422 | 2422 |
| 217 | -2321 | 0,929 | 135 | 547 | 135 |
| 218 | 130 | 0,052 | 2404 | 2083 | 2083 |
| 219 | 130 | 0,052 | 2404 | 2083 | 2083 |
| 220 | 130 | 0,052 | 2404 | 2083 | 2083 |
| 221 | 130 | 0,052 | 2404 | 2083 | 2083 |
| 222 | 130 | 0,052 | 2404 | 2083 | 2083 |
| 223 | -93 | 0,037 | 3365 | 2188 | 2188 |
| 224 | 0 | 0,000 | 99999 | 2500 | 2500 |
| 225 | 0 | 0,000 | 99999 | 2500 | 2500 |
| 226 | 0 | 0,000 | 99999 | 2500 | 2500 |
| 227 | 0 | 0,000 | 99999 | 2500 | 2500 |
| 228 | 0 | 0,000 | 99999 | 2500 | 2500 |
| 229 | 0 | 0,000 | 99999 | 2500 | 2500 |
| 230 | 0 | 0,000 | 99999 | 2500 | 2500 |
| 231 | 0 | 0,000 | 99999 | 2500 | 2500 |
| 232 | 0 | 0,000 | 99999 | 2500 | 2500 |
| 233 | 0 | 0,000 | 99999 | 2500 | 2500 |
| 234 | 93 | 0,037 | 3365 | 2188 | 2188 |
| 235 | 65 | 0,026 | 4808 | 2273 | 2273 |
| 236 | 65 | 0,026 | 4808 | 2273 | 2273 |
| 237 | 65 | 0,026 | 4808 | 2273 | 2273 |
| 238 | 65 | 0,026 | 4808 | 2273 | 2273 |
| 239 | 65 | 0,026 | 4808 | 2273 | 2273 |
| 240 | 65 | 0,026 | 4808 | 2273 | 2273 |
| 241 | 103 | 0,041 | 3045 | 2159 | 2159 |
| 242 | 103 | 0,041 | 3045 | 2159 | 2159 |
| 243 | 103 | 0,041 | 3045 | 2159 | 2159 |
| 244 | 103 | 0,041 | 3045 | 2159 | 2159 |
| 245 | 103 | 0,041 | 3045 | 2159 | 2159 |
| 246 | 103 | 0,041 | 3045 | 2159 | 2159 |
| 247 | 38 | 0,015 | 8173 | 2361 | 2361 |
| 248 | 38 | 0,015 | 8173 | 2361 | 2361 |
| 249 | 38 | 0,015 | 8173 | 2361 | 2361 |

| | | | | | |
|-----|-----|-------|------|------|------|
| 250 | 38 | 0,015 | 8173 | 2361 | 2361 |
| 251 | 38 | 0,015 | 8173 | 2361 | 2361 |
| 252 | 38 | 0,015 | 8173 | 2361 | 2361 |
| 253 | -50 | 0,020 | 6250 | 2321 | 2321 |
| 254 | -50 | 0,020 | 6250 | 2321 | 2321 |

Tabla 7.5: Comparación entre la fuerza máxima admisible para cada posición angular (F-Angulo) y la fuerza total ejercida por la prensa en cada posición (Ft)

| Angulo | F-Angulo | Ft |
|--------|----------|----|
| 48 | 827 | 0 |
| 49 | 834 | 0 |
| 50 | 841 | 0 |
| 51 | 848 | 0 |
| 52 | 855 | 0 |
| 53 | 863 | 0 |
| 54 | 871 | 0 |
| 55 | 879 | 0 |
| 56 | 888 | 0 |
| 57 | 897 | 0 |
| 58 | 906 | 0 |
| 59 | 916 | 0 |
| 60 | 925 | 0 |
| 61 | 936 | 0 |
| 62 | 946 | 0 |
| 63 | 957 | 0 |
| 64 | 968 | 0 |
| 65 | 979 | 0 |
| 66 | 991 | 0 |
| 67 | 1003 | 0 |
| 68 | 1016 | 0 |
| 69 | 1029 | 0 |
| 70 | 1042 | 0 |
| 71 | 1055 | 0 |
| 72 | 1069 | 0 |
| 73 | 1083 | 0 |
| 74 | 1097 | 0 |
| 75 | 1111 | 0 |
| 76 | 1126 | 0 |
| 77 | 1141 | 0 |
| 78 | 1157 | 0 |
| 79 | 1172 | 0 |
| 80 | 1188 | 0 |
| 81 | 1204 | 0 |
| 82 | 1220 | 0 |

| | | |
|-----|------|-----|
| 83 | 1236 | 0 |
| 84 | 1253 | 0 |
| 85 | 1269 | 0 |
| 86 | 1286 | 0 |
| 87 | 1303 | 0 |
| 88 | 1319 | 0 |
| 89 | 1336 | 0 |
| 90 | 1352 | 0 |
| 91 | 1369 | 0 |
| 92 | 1385 | 0 |
| 93 | 1402 | 0 |
| 94 | 1418 | 0 |
| 95 | 1434 | 0 |
| 96 | 1449 | 0 |
| 97 | 1464 | 0 |
| 98 | 1479 | 0 |
| 99 | 1494 | 0 |
| 100 | 1508 | 0 |
| 101 | 1522 | 0 |
| 102 | 1535 | 0 |
| 103 | 1548 | 0 |
| 104 | 1560 | 0 |
| 105 | 1571 | 0 |
| 106 | 1582 | 0 |
| 107 | 1593 | 0 |
| 108 | 1603 | 0 |
| 109 | 1612 | 4 |
| 110 | 1621 | 4 |
| 111 | 1629 | 21 |
| 112 | 1636 | 21 |
| 113 | 1643 | 21 |
| 114 | 1643 | 21 |
| 115 | 1656 | 129 |
| 116 | 1661 | 129 |
| 117 | 1666 | 222 |
| 118 | 1671 | 222 |
| 119 | 1675 | 222 |
| 120 | 1679 | 222 |
| 121 | 1682 | 264 |
| 122 | 1685 | 304 |
| 123 | 1689 | 304 |
| 124 | 1691 | 304 |
| 125 | 1694 | 304 |
| 126 | 1697 | 304 |
| 127 | 1700 | 271 |

| | | |
|-----|------|-----|
| 128 | 1703 | 259 |
| 129 | 1706 | 259 |
| 130 | 1709 | 259 |
| 131 | 1713 | 259 |
| 132 | 1717 | 259 |
| 133 | 1722 | 297 |
| 134 | 1727 | 327 |
| 135 | 1732 | 327 |
| 136 | 1739 | 327 |
| 137 | 1746 | 327 |
| 138 | 1754 | 327 |
| 139 | 1763 | 337 |
| 140 | 1773 | 346 |
| 141 | 1784 | 346 |
| 142 | 1796 | 346 |
| 143 | 1810 | 346 |
| 144 | 1826 | 346 |
| 145 | 1843 | 367 |
| 146 | 1861 | 367 |
| 147 | 1882 | 367 |
| 148 | 1905 | 367 |
| 149 | 1930 | 367 |
| 150 | 1958 | 382 |
| 151 | 1989 | 393 |
| 152 | 2023 | 393 |
| 153 | 2061 | 393 |
| 154 | 2102 | 393 |
| 155 | 2148 | 393 |
| 156 | 2198 | 417 |
| 157 | 2254 | 431 |
| 158 | 2317 | 431 |
| 159 | 2386 | 431 |
| 160 | 2463 | 431 |
| 161 | 2500 | 431 |
| 162 | 2500 | 465 |
| 163 | 2500 | 490 |
| 164 | 2500 | 490 |
| 165 | 2500 | 490 |
| 166 | 2500 | 490 |
| 167 | 2500 | 490 |
| 168 | 2500 | 525 |
| 169 | 2500 | 548 |
| 170 | 2500 | 548 |
| 171 | 2500 | 548 |
| 172 | 2500 | 548 |

| | | |
|-----|------|-----|
| 173 | 2500 | 582 |
| 174 | 2500 | 617 |
| 175 | 2500 | 617 |
| 176 | 2500 | 617 |
| 177 | 2500 | 617 |
| 178 | 2500 | 617 |
| 179 | 2500 | 667 |
| 180 | 2500 | 733 |
| 181 | 2500 | 733 |
| 182 | 2500 | 733 |
| 183 | 2500 | 733 |
| 184 | 2500 | 733 |
| 185 | 2500 | 833 |
| 186 | 2500 | 939 |
| 187 | 2500 | 939 |
| 188 | 2500 | 939 |
| 189 | 2500 | 939 |
| 190 | 2500 | 939 |
| 191 | 2500 | 772 |
| 192 | 2500 | 772 |
| 193 | 2500 | 772 |
| 194 | 2421 | 772 |
| 195 | 2241 | 772 |
| 196 | 2084 | 547 |
| 197 | 1946 | 314 |
| 198 | 1824 | 314 |
| 199 | 1716 | 314 |
| 200 | 1620 | 314 |
| 201 | 1533 | 314 |
| 202 | 1454 | 200 |
| 203 | 1383 | 132 |
| 204 | 1318 | 132 |
| 205 | 1259 | 132 |
| 206 | 1205 | 132 |
| 207 | 1155 | 132 |
| 208 | 1109 | 105 |
| 209 | 1066 | 85 |
| 210 | 1027 | 85 |
| 211 | 990 | 85 |
| 212 | 956 | 85 |
| 213 | 925 | 31 |
| 214 | 895 | 31 |
| 215 | 868 | 31 |
| 216 | 842 | 31 |
| 217 | 817 | 7 |

| | | |
|-----|-----|---|
| 218 | 795 | 0 |
| 219 | 773 | 0 |
| 220 | 753 | 0 |
| 221 | 735 | 0 |
| 222 | 717 | 0 |
| 223 | 700 | 0 |
| 224 | 684 | 0 |
| 225 | 669 | 0 |
| 226 | 655 | 0 |
| 227 | 642 | 0 |
| 228 | 630 | 0 |
| 229 | 618 | 0 |
| 230 | 607 | 0 |
| 231 | 607 | 0 |
| 232 | 586 | 0 |
| 233 | 577 | 0 |
| 234 | 568 | 0 |
| 235 | 559 | 0 |
| 236 | 552 | 0 |
| 237 | 544 | 0 |
| 238 | 537 | 0 |
| 239 | 531 | 0 |
| 240 | 524 | 0 |
| 241 | 519 | 0 |
| 242 | 513 | 0 |
| 243 | 508 | 0 |
| 244 | 504 | 0 |
| 245 | 499 | 0 |
| 246 | 495 | 0 |
| 247 | 492 | 0 |
| 248 | 488 | 0 |
| 249 | 486 | 0 |
| 250 | 483 | 0 |
| 251 | 480 | 0 |
| 252 | 478 | 0 |
| 253 | 477 | 0 |
| 254 | 475 | 0 |

8-Bibliografía

- Schuler – Metal Forming Handbook
- Fagor – Manual de Instrucciones Línea de Prensas L113 – Ford Valencia
- Ford - Estudio Mecánico de Prensas
- <https://www.hbm.com/es/7074/fundamentos-sobre-galgas-extensiometricas/>
(Accedido por última vez el 02/11/2020)
- <https://noticias.coches.com/historia/la-historia-de-ford/9392>
(Accedido por última vez el 18/03/2021)
- <https://www.motorpasion.com/industria/100-anos-de-ford-en-cadena-o-cuando-ford-reinvento-la-industria>
(Accedido por última vez el 18/03/2021)
- <https://cochesmiticos.com/oldsmobile-historia/>
(Accedido por última vez el 18/03/2021)
- <https://corporate.ford.com/operations/locations/global-plants.html>
(Accedido por última vez el 18/01/2021)
- <https://corporate.ford.com/about/history.html>
(Accedido por última vez el 19/01/2021)
- <https://es.rbth.com/tecnologias/83784-automoviles-sovieticos-basados-homologos-occidentales-fotos>
(Accedido por última vez el 21/01/2021)
- <https://www.eleconomista.es/ecomotor/motor/noticias/7148656/11/15/Mazda-Motor-y-Ford-ponen-fin-a-su-alianza-de-capital-tras-36-anos.html>
(Accedido por última vez el 21/01/2021)
- <https://www.coches.net/nuevo-40-anos-de-ford-en-espana#:~:text=En%201920%20se%20inici%C3%B3%20la,ventas%20ascendieron%20a%20190%20unidades.>
(Accedido por última vez el 16/02/2021)