

E.T.S. de Ingeniería Industrial,
Informática y de Telecomunicación

ESTUDIO SOBRE LA IMPLANTACIÓN DE UNA MÁQUINA
DE CORTE POR LÁSER DE FIBRA, Y SIMULACIÓN DEL EFECTO
QUE SUPONE EN EL SISTEMA PRODUCTIVO DE LA
EMPRESA “TERU” (PERALTA)



Grado en Ingeniería
en Tecnologías Industriales

Trabajo Fin de Grado

Guillermo Ruiz Olalde

Ángel Javier Muñoz Nieva

Pamplona, Junio de 2015

ÍNDICE

RESUMEN	5
1. DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA	7
- 1.1. Antecedentes.....	9
- 1.2. Ubicación	10
- 1.3. Actividad	11
- 1.4. Mercado	12
2. MÁQUINA LÁSER DE FIBRA	13
- 2.1. Corte por láser.....	15
- 2.2. Tipos de máquinas	16
2.2.1. Máquina de corte por láser de CO2	16
2.2.2. Máquina de corte por láser de estado sólido	17
- 2.3. Necesidad de una nueva máquina	19
3. IMPLANTACIÓN DE LA MÁQUINA	21
- 3.1. Descripción de la planta	23
- 3.2. Tipos de procesos	24
- 3.3. Lay-out	25
- 3.4. Montaje de la máquina	26
4. DESCRIPCIÓN DE LA MÁQUINA DE LÁSER DE FIBRA	29
- 4.1. Creación y transporte del rayo	31
- 4.2. Partes de la máquina	34
- 4.3. Funcionamiento	37
- 4.4. Datos técnicos	38
5. PLAN DE MANTENIMIENTO.....	41
6. COMPARACIÓN CON LA MÁQUINA DE CO2 DISPONIBLE	47
- 6.1. Comparación Teórica.....	49
- 6.2. Comparación Práctica (cronometraje)	53
7. PROCESO DE PRODUCCIÓN DE UN CONJUNTO	68
- 7.1. Descripción	70
- 7.2. Proceso de producción	72

8. SIMULACIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN DE UN CONJUNTO CON ENTERPRISE DYNAMICS	86
- 8.1. Tiempos	88
- 8.2. Átomos empleados	90
- 8.3. Model Layout	93
- 8.4. Simulación	95
8.4.1. Con láser de CO2	95
8.4.2. Con láser de estado sólido	98
9. PROPUESTAS DE MEJORA	102
10. CONCLUSIONES	106
11. BIBLIOGRAFÍA	110
ÍNDICE DE FIGURAS	113
ÍNDICE DE TABLAS	114
ÍNDICE DE GRÁFICAS	115
ANEXOS	116

RESUMEN

Uno de los avances recientes más significativos en el corte de chapa es el láser de fibra. En la empresa de construcciones metálicas TERU, se ha decidido sustituir la antigua máquina de CO2 por una nueva de este tipo.

En el presente trabajo, se hará un estudio exhaustivo sobre este modelo de corte, y se describirá tanto su funcionamiento, como los datos técnicos de la nueva máquina y las partes que la componen. Además, se comparará con la máquina de CO2 disponible también en la empresa, tanto teóricamente como de manera práctica (mediante un estudio de tiempos de determinadas piezas).

Por otro lado, se simulará mediante el programa Enterprise Dynamics, el efecto que supone en el sistema productivo un determinado conjunto que se realice en la empresa de forma habitual. Se mostrarán las conclusiones llegadas a cabo a lo largo del trabajo y por último, se expondrán una serie de posibles mejoras.

PALABRAS CLAVE

- LÁSER
- FIBRA
- CORTAR
- ENTERPRISE DYNAMICS

ABSTRACT

Over the last few years, one of the most significant advances in veneer cutting is the fiber laser. In TERU, metal construction company, it has been decided to replace an old CO2 machine for a new one of this type.

In this project, a comprehensive study about this cutting model will take place describing both, its operation and the technical data of the new machine as well as the parts that compose it. In addition, it will be also compared with CO2 machine available in the company, both theoretically and practically (through a time study of certain parts).

Moreover, it will be simulated through the Enterprise Dynamics, the effect that assumes a set determined that occur in the company on a regular basis in the production system. The conclusions acquired along the work will be displayed and, finally, a number of possible improvements will be presented.

KEYWORDS

- LASER
- FIBER
- CUT
- ENTERPRISE DYNAMICS

1. DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA

INDUSTRIAS METÁLICAS TERU S.A. es una empresa ubicada en la localidad de Funes (Navarra), aunque su domicilio fiscal se encuentra en Peralta. Su actividad consiste en la fabricación de gran variedad de productos, todos ellos obtenidos a partir del acero como materia prima. Ejemplos de estos productos son: cabinas para tractor, para grúas, conjuntos, armarios metálicos... El acero empleado puede ser tanto inoxidable como no aleado, dependiendo del conjunto demandado.

Los procesos más destacables en esta empresa, son el corte por láser, punzonado, plegado, soldadura y pintura.

Los sectores a los que van destinados los productos son fundamentalmente el sector de frío industrial, eólico, fotovoltaico, eléctrico, mobiliario metálico, construcción, obra pública, y máquinas de autoservicio (vending).

1.1. Antecedentes

La creación de la empresa TERU, data del año 1952 donde fue creada por una persona y por tanto era una sociedad unipersonal. Siguió siéndolo hasta el 1989, donde pasó a ser una sociedad anónima. Su nombre en la actualidad es TERU S.A.

Este cambio fue debido fundamentalmente al desarrollo industrial de la zona geográfica donde está situada la empresa y a las ventajas que proporciona ser una sociedad anónima respecto a una persona física, como que la propiedad esté representada en acciones que son transferibles. En la zona en la que está situada la fábrica, están empresas muy importantes en el sector de la industria, como son Azkoyen, Jofemar o Dynamobel. El trabajar para ellos les hizo crecer y hacer importantes inversiones como crear una nueva fábrica, llamada LASER-K (en el año 2000), con una máquina de corte por láser entre otras cosas. Esta decisión fue muy arriesgada, ya que fue la primera máquina de corte por láser de la zona y la segunda de todo Navarra.

La empresa estaba dividida en dos naves: una situada en el polígono “el Escopar”, donde se mecanizaba la chapa. Por otro lado estaba la más antigua, situada en la “Avenida de Funes” donde se pintaban las chapas ya mecanizadas.

Los encargados de la empresa, decidieron juntar las dos partes en una nave más grande, y así facilitar el trabajo. Esta obra fue finalizada en 2008, y todos los trabajadores de TERU S.A. fueron trasladados a la nueva fábrica.

1.2. Ubicación

TERU S.A. pertenece al polígono “San Colombar” situado entre Peralta y Funes, pero perteneciendo a este último término municipal.

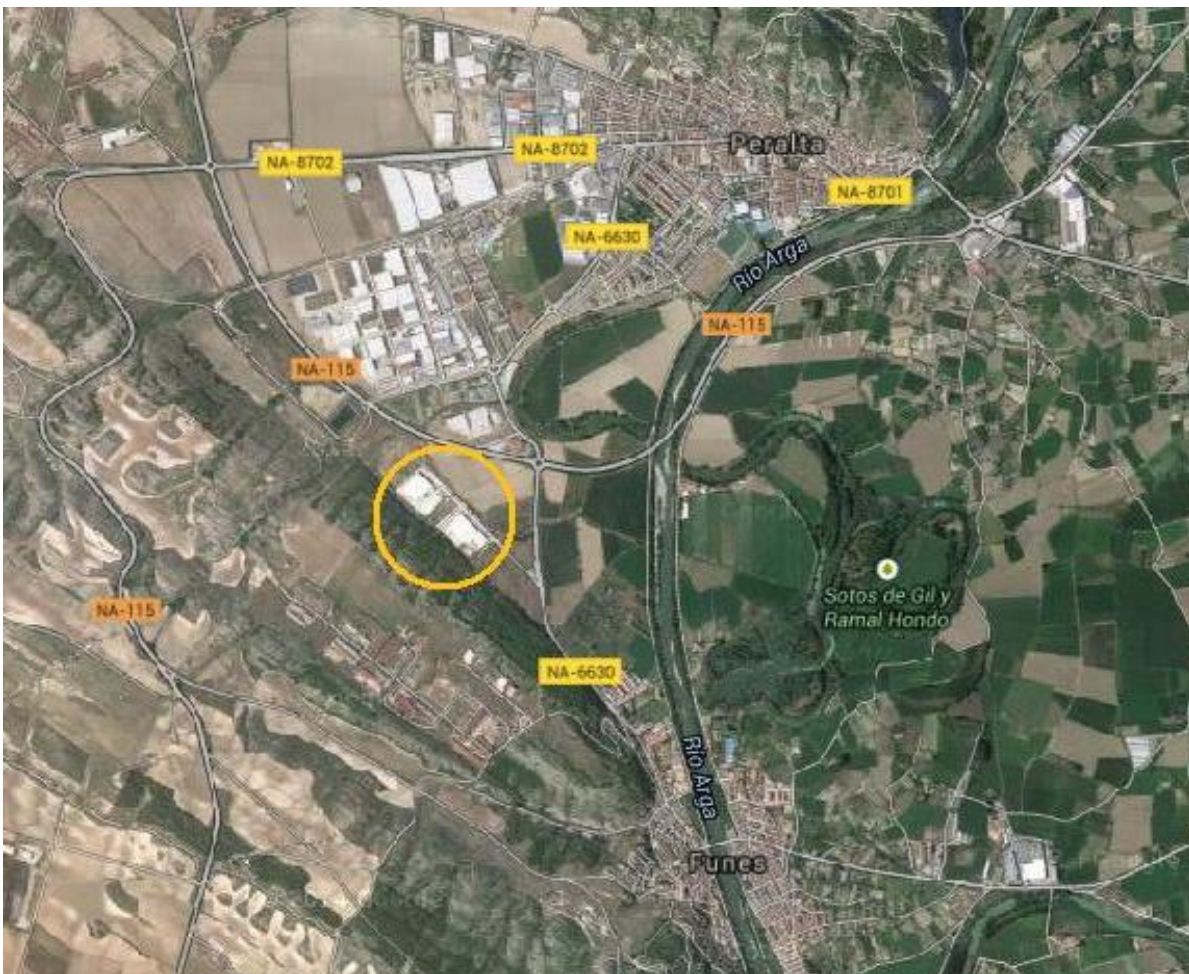


Figura 1: Plano de situación

1.3. Actividad

La principal actividad de INDUSTRIAS METÁLICAS TERU va dirigida hacia la fabricación de componentes metálicos principalmente para el sector industrial fabricados con chapa fina.

La mayoría de los productos no están hechos de una sola pieza, sino que están formados por varios componentes. Por lo tanto, para crear el producto final, en primer lugar deben ser creados los componentes necesarios y después se ensamblan.

La creación de los componentes tiene diversas fases. Para comenzar hay que saber la forma que va a tener cada pieza desplegada sobre un único plano. Una vez se tiene el perfil, este es proyectado en una chapa y recortado mediante una máquina de corte por láser. Si la pieza lo necesita pasará por la punzonadora. Tras esto, el perfil es plegado para obtener el elemento deseado inicialmente. Una vez obtenidos los componentes necesarios para un conjunto determinado, llega la hora de la unión. Al ser todos los componentes de metal, el procedimiento de unión utilizado es la soldadura. Dependiendo del tipo de metal usado y del espesor de la chapa se utilizará un método u otro de soldadura. Posteriormente, se introduce en una cadena de pintura para obtener el diseño deseado por el cliente.

A continuación se detallan las actividades que realiza la empresa:

- Corte por láser (espesores de corte de 1 a 20 mm).
- Punzonado de piezas por control numérico.
- Curvado de tubos de gran sección por control numérico.
- Plegado de piezas por control numérico.
- Ensamblado de conjuntos mediante soldadura con uno o varios de los siguientes procesos:

- LÁSER (sin material de aportación)
- TIG
- MIG/MAG
- Soldadura por puntos
- Soldadura manual
- Soldadura por puntos

- Desengrase, lavado y pintado de piezas y conjuntos mediante sistema automatizado de pintura en polvo.
- Adición de goma mediante una máquina especializada para determinados conjuntos.

1.4. Mercado

TERU S.A. es proveedor de varias empresas, las principales son:

- AZKOYEN
- INGETEAM
- KOXKA
- COMANSA
- LIEBHERR
- QUALITY EXPRESSO S.A.
- DYNAMOBEL
- JOFEMAR

Actualmente, TERU S.A. solamente se dedica al mercado nacional, y salvo excepciones sin salir de Navarra. Si les llegan ofertas del exterior no dudarán en proporcionar aquello que se les pide, no se ponen barreras.



Figura 2: Imagen exterior de la empresa

2. MÁQUINA LÁSER DE FIBRA

2.1. Corte por láser

El corte por láser es un proceso de tipo térmico muy usado en la industria, ya que permite enfocar sobre un punto pequeño un haz de láser potente, con lo que conseguimos una densidad de energía muy grande. En el corte por láser, el material se vaporiza debido a que la temperatura que se alcanza en el corte es muy elevada. El láser se consigue utilizando un material activo que al ser excitado mediante una fuente de energía externa, que puede ser de diferentes tipos, como se detalla a continuación, emite radiaciones luminosas de tipo láser. El láser consta de tres elementos básicos:

- Cavidad láser: mantiene la luz circulando a través del medio activo el mayor número de veces posible. Está compuesta por dos espejos, uno de alta reflectividad que refleja prácticamente toda la luz que recibe, y el espejo de salida.
- Medio activo: es un medio material donde se produce la amplificación óptica. Es donde ocurren los procesos de excitación mediante el bombeo. Puede ser de materiales totalmente diferentes.
- Bombeo: es la energía que permite que el medio activo pueda amplificar la luz láser.

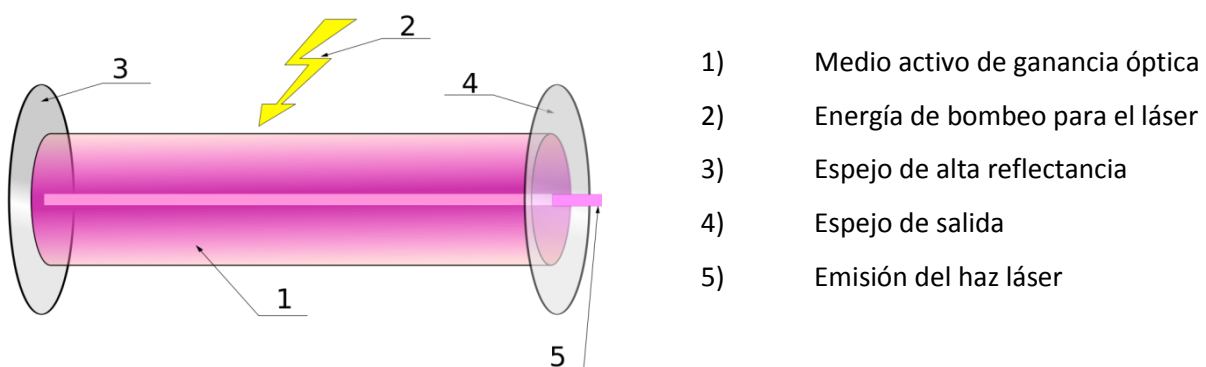


Figura 3: Creación del rayo láser

2.2. Tipos de máquinas

Existen diversas formas de generar un rayo láser. Se pueden clasificar en dos grupos: las que usan gas (como dióxido de carbono) para generar el haz de luz; y las que producen el mismo efecto con un medio activo de estado sólido, a través de la excitación de cristales, (láser de estado sólido).

2.2.1. Máquina de corte por láser de CO₂

Este tipo de láser, genera el haz de luz excitando el núcleo del CO₂ mediante el voltaje alterno o continuo, el resultado es un haz de luz que es controlado con espejos que lo reflejan y lo conducen hasta una óptica que lo concentra y enfoca en un mismo punto para generar el rayo de corte. Sin embargo, el CO₂ es inestable después de la excitación del gas y se debe combinar con helio (He) para estabilizarlo, y nitrógeno (N₂) para reducir el aumento de temperatura que genera el proceso.

Cada láser de dióxido de carbono debe estar equipado por seis bombonas, las cuales están compuestas por helio, CO₂ y nitrógeno (dos de cada una, ya que no puede faltar nunca ninguno de los tres componentes).



Figura 4: Bombonas compuestas por helio, CO₂ y nitrógeno

La longitud de onda del láser por CO₂ es de aproximadamente 10 micras (μm), dato muy importante debido a que constituye la diferencia fundamental con respecto al láser de fibra. La longitud de onda del láser de CO₂ es muy buena para trabajar láminas metálicas de todos los espesores, sobre todo cuando el láser se combina con oxígeno como gas de corte.

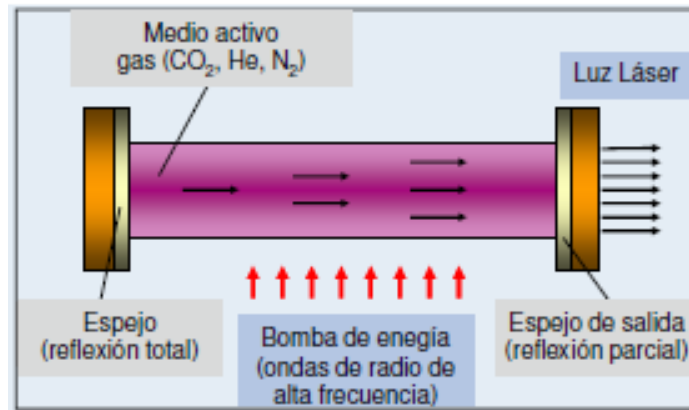


Figura 5: Creación del haz para el láser de CO₂

En esta tecnología, vemos que el medio activo para la amplificación de la luz láser es gaseoso (CO₂, He, N₂), y el bombeo es eléctrico.

2.2.2. Máquina de corte por láser de estado sólido

Por su parte, las máquinas de corte láser de estado sólido generan el haz de luz excitando cristales (itrio, neodimio, etc.). Una gran diferencia es que en el proceso no intervienen gases. Otra diferencia es que la longitud de onda del rayo es de 1 μm, nueve veces inferior a la generada por CO₂. Al tener una longitud de onda tan pequeña, los materiales transparentes (en este caso la fibra de vidrio) son los indicados para transmitir el rayo sin que el material lo absorba y lo deforme. Gracias a esta mejora las máquinas que usan el sistema de conducción se denominan, láseres de fibra. No por el método de generación del rayo, sino por la forma de transportarlo.

Dentro de este tipo de tecnología láser, nos centramos en el láser de disco.

El láser de disco basa su funcionamiento en bombear la luz desde los diodos directamente sobre un disco estático, resonando en este la luz y proyectándola directamente sobre la fibra de salida hacia el cabezal de proceso. Con este sistema se consiguen potencias de rayo elevadas con una calidad excelente.

Las potencias disponibles con el principal fabricante de este tipo de resonador llegan hasta 16 kilovatios con una calidad de rayo excelente. Esta ventaja permite la aplicación en una gran cantidad de trabajos, tanto de soldadura como corte.

Este láser, es la mezcla perfecta entre un láser de estado sólido y un láser de diodos. El láser de diodos en su calidad de fuente de bombeo, suministra la energía de excitación y es el responsable de su alto rendimiento. Por su parte, el disco, en su calidad de láser de estado sólido vela por la excepcional calidad del haz.

La ventaja más importante que aportan los sistemas de corte por láser de estado sólido, es su elevado rendimiento cercano al 30%, mientras que un CO₂ llega tan sólo al entorno del 10%.

Además de todo esto, estos resonadores no precisan de ningún gas para generar el rayo, ni de camino óptico para conducirlo hasta el cabezal de proceso.

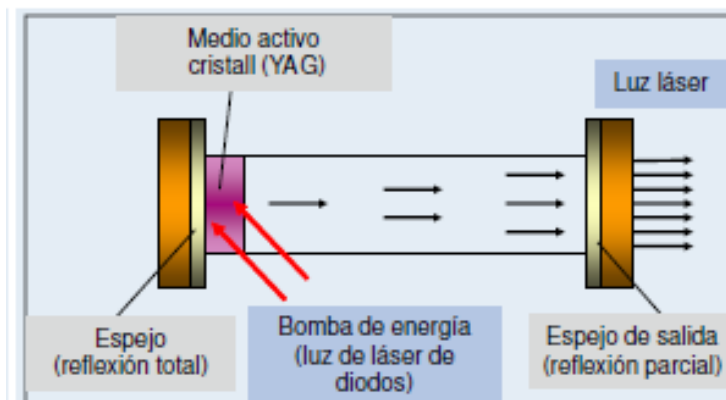


Figura 6: Creación del haz para el láser de estado sólido

En esta tecnología, vemos que el medio activo que se aloja en la cavidad láser, es YAG (estado sólido, y que el bombeo es generado por láser de diodos.

2.3. Necesidad de una nueva máquina

INDUSTRIAS METÁLICAS TERU S.A. poseía dos máquinas de corte por láser de CO₂, ambas de la empresa alemana TRUMPF. Una de ellas es la TLF 1800 TURBO y la otra es TLF 3800. La primera de 1800 W, y la segunda de 4000 W.

La vida útil de las cortadoras de chapa por láser es de aproximadamente 15 años, y la primera de ellas fue adquirida en 2000 cuando TERU S.A., fundó la fábrica LASER-K. Con los 15 años recién cumplidos, la TLF 1800 TURBO comenzó a dar problemas y a no dar buenos resultados. Al ver que la máquina estaba averiada, llamaron a la empresa TRUMPF, la cual les dijo cual era el precio del arreglo y luego ellos decidieran.

La empresa debía decidir si arreglar esta máquina o comprar una nueva. Y si compraban una nueva ¿Cuál?. Decidieron comprar una nueva, ya que a la máquina estropeada ya le habían sacado el rendimiento suficiente y si la arreglaban, dentro de poco les podía dar otro fallo y de esta manera salir más cara.

Las máquinas de CO₂, les habían dado muy buenos resultados a lo largo de los años, pero vieron que las máquinas de láser de fibra de estado sólido están en auge, y que pese a que las de CO₂ sigan siendo las que dominen el mercado, las de fibra son el futuro inmediato debido a sus numerosas ventajas. Asimismo TERU S.A., sigue teniendo una máquina de CO₂ y de esta manera pueden dividirse el trabajo dependiendo el espesor de la chapa que se necesite para un determinado conjunto.

Entre las numerosas ventajas del láser de fibra:

- Mayor velocidad de corte, y por tanto mayor productividad (la empresa últimamente tenía muchas horas de trabajo).
- Corte de nuevos materiales como el cobre.
- Mayor eficiencia energética, se consume menos.

Además, esta nueva máquina TRULASER 1030 FIBER (dotada de 2000 W), hace que TERU S.A., tenga una mayor competitividad en el mercado.

3. IMPLANTACIÓN DE LA MÁQUINA

3.1. Descripción de la planta

Esta fábrica está formada por la unión de cuatro naves. En cada nave se realizan diferentes actividades, que se agrupan en centros de trabajo (área de soldadura, área de pintura y montaje, área de plegado, y área de corte por láser y punzonado). La zona de oficinas se encuentra entre las naves 2 y 3 (las centrales), y además está provisto de diferentes almacenes en cada zona.

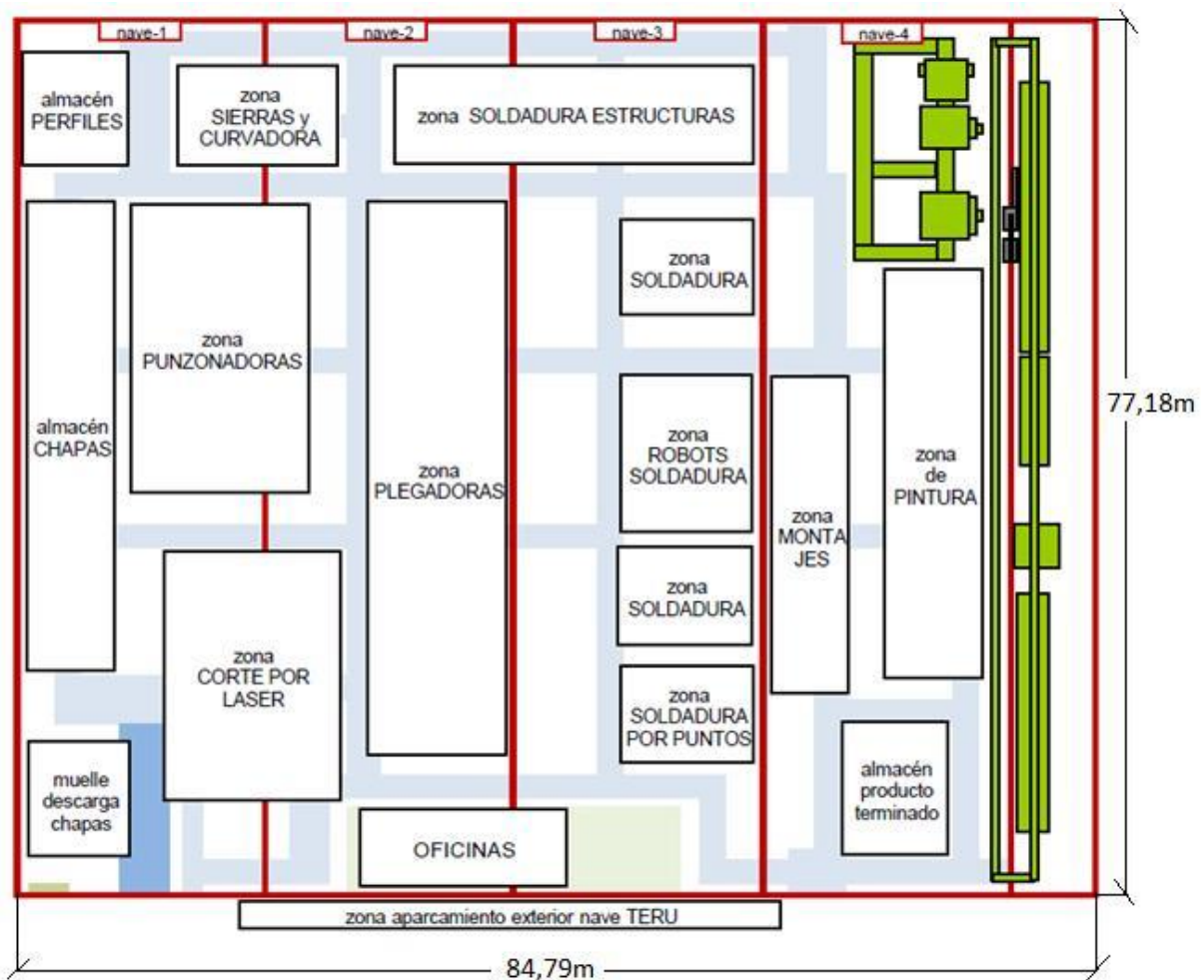


Figura 7: Distribución de los puestos de trabajo en planta

La superficie en planta de la fábrica, es de **6545m²**.

3.2. Tipos de procesos

En la industria, dependiendo de la continuidad del flujo de materiales, existen tres tipos principales de procesos:

- Procesos de proyecto: son los menos industriales. Fabrican un único producto exclusivo, adaptado plenamente a las necesidades del cliente. Suelen ser proyectos complejos y de larga duración.

- Procesos por lotes: a su vez se dividen en:
 - *Job shops*: amplia variedad de productos, se agrupan en centros de trabajo, altos costes variables y menores costes fijos (se amortizan al máximo las máquinas).

 - *Líneas de producción*: se fabrican grandes lotes de productos técnicamente homogéneos, elevados costes fijos, más posibilidades de automatización, mayor productividad, pero menos flexibilidad (el cliente participa menos).

- Procesos continuos: siempre se ejecutan las mismas operaciones, en las mismas máquinas para obtener el mismo producto. Elevada automatización y costosas puestas en funcionamiento (funcionamiento las 24 horas del día).

INDUSTRIAS METÁLICAS TERU S.A. pertenece claramente al sector de procesos por lotes. Dentro de este grupo, es un Job shop, ya que hay una amplia variedad de productos, los equipos son muy versátiles, los lotes pasan de un centro de trabajo a otro según una Hoja de Ruta.

Por otro lado se asemeja a una línea de producción, ya que los lotes suelen ser homogéneos, y principalmente la inversión es mayor (elevados costes fijos).

3.3. Lay out

Se ocupa de la ubicación de las distintas máquinas, puestos de trabajo, almacenas, oficinas, pasillos, flujos de materiales y personas... dentro de una empresa para conseguir el mejor funcionamiento de las instalaciones posible.

Existen tres tipos de distribución en planta, cada uno con sus ventajas y sus inconvenientes:

- Por procesos: las máquinas del que realizan el mismo trabajo se encuentran en la misma zona. Es la distribución para los procesos Job shops. Entre sus ventajas: elevada flexibilidad, las averías de una máquina no interrumpen todo el proceso... Por otro lado, el tiempo total de fabricación y el requerimiento de una mayor superficie, son algunos de sus inconvenientes.

- Por producto: se disponen el equipo o los procesos de trabajo de acuerdo con los pasos progresivos necesarios para la fabricación de un producto. Es la distribución de las líneas de producción. No necesitan un alto grado de cualificación de los trabajadores, y el tiempo total de fabricación es menor. Por otra parte, se necesita una elevada inversión en maquinaria y la flexibilidad es menor.

- Celular: es una mezcla de las dos distribuciones en planta expuestas anteriormente. En este tipo de distribución, se reducen los costes asociados al flujo de materiales, se simplifican los tiempos de cambio y se reducen los tiempos de fabricación. En cuanto a sus inconvenientes, necesita tanto una mayor inversión en maquinaria como una gran superficie, además de una mayor preparación de los trabajadores (deben ser polivalentes).

TERU S.A. tiene una distribución en planta por proceso como ya hemos dicho antes. Las máquinas, dependiendo de la tarea que desempeñan están distribuidas por naves. Como se puede observar en la descripción de la planta, las máquinas de corte por láser se encuentran principalmente en la nave 1, y en parte en la nave 2. Como observamos, se encuentran delimitadas por el muelle de descarga, las plegadoras y punzonadoras. Es decir, hay un espacio limitado para instalar la nueva máquina de corte por láser.

3.4. Montaje

Algunas imágenes del montaje realizado por operarios especializados de la empresa TRUMPF. Podemos ver el proceso de cómo los operarios colocan los raíles en los que se introducirán más tarde las bandejas.

En la primera imagen, tras coger las medidas exactas donde se colocarán las bandejas, taladran el suelo, y colocan la base con los tornillos.



Figura 8: Operarios taladrando el suelo

En esta imagen, se aprecia como colocan las vigas-soporte, y se ajustan al suelo.



Figura 9: Operarios colocando las vigas-soporte

Una vez colocados las vigas-soporte, solo quedará colocar las dos bandejas, las cuales se moverán de dentro a fuera de la máquina por unas guías, conducidas por una cadena.



Figura 10: Máquina láser con las vigas-soporte colocadas

En esta fotografía, se ve como los operarios hacen los últimos ajustes al Láser Trudisk 2001, donde se genera el rayo láser.



Figura 11: Operarios ajustando el Láser Trudisk

4. DESCRIPCIÓN DE LA MÁQUINA **DE LÁSER DE FIBRA**

4.1. Creación y transporte del rayo

La luz láser, está caracterizada por una serie de propiedades especiales, que han hecho que formen parte de nuestra vida cotidiana y nuestros procesos de mecanizado:

- Monocromática: todas las ondas de luz tienen la misma longitud de onda.
- Coherente: todas las ondas de luz están "en fase", produciendo un haz de láser continuo.
- Direccional: todas las ondas de luz tienen casi exactamente la misma dirección.

Esta última propiedad es especialmente importante para el procesamiento de materiales.

La luz del láser forma un haz compacto, que puede ser guiado a través de largas distancias, siendo a su vez muy centrado. En el enfoque del rayo, toda la potencia del haz de láser se concentra en la pieza de trabajo.

Hay que conseguir la generación del rayo láser. El medio de ganancia es un disco de cristal fino de Iterbio-YAG (granate de itrio y aluminio dotado de iterbio), de unos 15 mm de diámetro y 0,2 mm de espesor.

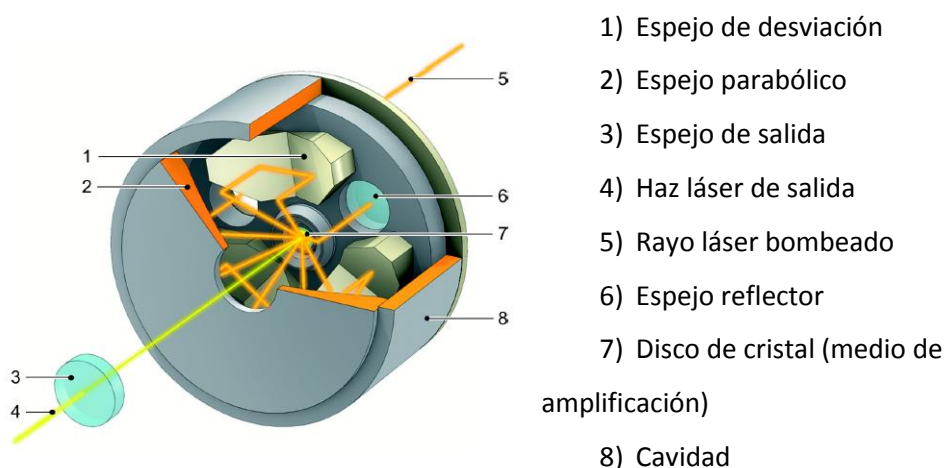


Figura 12: Amplificación del haz

El disco, descansa sobre un disipador de calor, el cual enfría el disco. El lado trasero enfriado del disco, tiene una superficie reflectante, que refleja el haz de láser y actúa como si fuera un espejo.

El láser de disco se bombea mediante láseres de diodos. El bombeo de su haz láser, está enfocado a un diámetro de unos pocos milímetros y después es dirigido al disco. El disco es tan fino, que absorbe sólo una fracción de la radiación que pasa a través de él. Por esta razón, el haz de bomba es pasado a través del disco varias veces, por medio de espejos plegables y el espejo parabólico en el interior de la cavidad.

El rayo láser se forma en el disco de cristal y sale de la cavidad por un orificio situado en el centro del espejo parabólico. El espejo de salida del resonador se encuentra fuera de la cavidad. El rayo láser es bombeado y se transmite a través de la fibra óptica hasta llegar al cabezal.

Fibra óptica

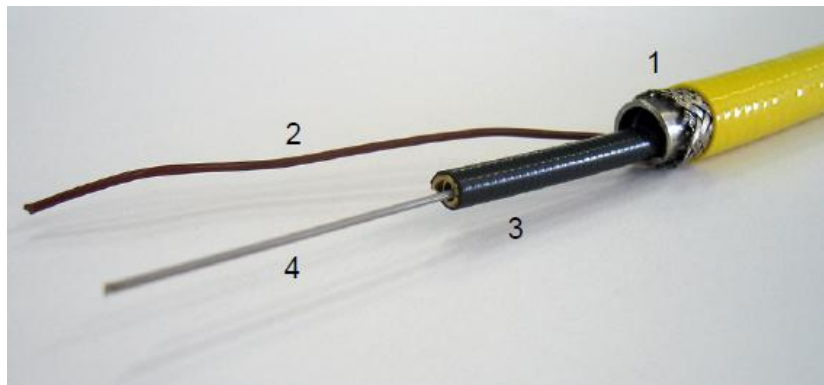
La frecuencia de la luz del láser de disco permite acoplar el rayo láser en un cable de luz láser.

Los cables de láser de fibra óptica están constituidos por varias capas. La capa exterior consta de un revestimiento de acero con una funda de cable, para proteger el resto de los componentes de la tensión mecánica. En el interior, se encuentra un cable para el circuito de seguridad y una funda más pequeña que contiene la fibra óptica.

Esta estructura protege a la fibra óptica de los daños, y garantiza que ninguna luz láser puede escapar. Si el cable de láser de fibra óptica es fuertemente dañado, el láser se apagará automáticamente.

La fibra óptica consiste en una fibra de vidrio de cuarzo con dos capas: el núcleo de fibra y el revestimiento. En el núcleo de la fibra, la luz del láser se expande. Su diámetro es de 100 micras. Una capa de plástico, rodea la fibra de vidrio de cuarzo e impide que resulte dañada.

- La guía del rayo no se ensucia.
- Costes reducidos.
- No es necesario montar sistemas de espejos complicados.
- Hay menos piezas mecánicas.
- La longitud máxima de 40 m facilita una instalación muy flexible de la unidad del láser.



1. Funda del cable con revestimiento de acero
2. Circuito de seguridad
3. Protector
4. Fibra óptica

Figura 13: Partes de la fibra óptica

4.2. Partes de la máquina



Figura 14: Máquina de corte por láser de estado sólido

1. Fuente láser: se trata de un generador de láser de estado sólido con un alto rendimiento energético. Es capaz de generar el rayo láser sin la ayuda de gases. Es lo que distingue esta tecnología de cualquier otra.

2. Cable de fibra óptica: es el encargado de transportar el haz desde la fuente hasta el cabezal. Con esta nueva forma de transportar el rayo, se eliminan los antiguos sistemas de espejos, lo que facilita considerablemente el mantenimiento de la máquina.

3. Panel de mando: es el encargado de gestionar todos los elementos de la máquina incluido el software de programación. El operario, desde el ordenador que tiene en su puesto, manda las chapas mecanizadas para que desde aquí, poder seleccionarlas y que el rayo comience a cortar.

4. Cabezal de corte: es donde llega el haz a través de la fibra óptica y donde es transformado a través de un conjunto de lentes para ajustar el punto focal a cada material y espesor. Tendrá varias boquillas, que serán reemplazadas dependiendo del material y espesor de la chapa a cortar.

5. Ejes: son los encargados de mover el cabezal de corte a lo largo del área de trabajo, y realizar el trabajo de manera precisa.

6. Ventana de protección: su función es que el láser no nos dañe la vista, ya que puede llegar a ser muy dañino.

7. Puerta delantera: mientras el láser esté en funcionamiento permanece bajada. Se levanta cuando se realiza el cambio de bandejas.

8. Unidad de refrigeración y aspiración: su principal función es mantener la temperatura ideal de funcionamiento.

9. Mesa de carga y descarga: consta de dos mesas para poder alternar la carga y descarga de las piezas minimizando los tiempos muertos. De esta manera, el operario no perderá el tiempo, ya que mientras se corta la chapa introducida en el láser, éste se encarga de sacar las piezas de la chapa ya cortada y colocar la siguiente chapa.

10. Cajones para desechos: es donde se acumulan los desperdicios. Debe ser evacuado cada cierto tiempo.

11. Barrera óptica de seguridad: se encarga de la seguridad de los operarios de la empresa. Se activa durante el cambio de bandejas. Si en este periodo, algo o alguien traspasa esta barrera óptica, la máquina hará una parada de emergencia, y se detendrá todo el proceso.

12. Manipulador de vacío: se encarga de la alimentación de chapas a la máquina de corte por láser. El operario es el encargado de coger la chapa del pallet mediante este instrumento. Está dispuesto de cuatro ventosas, las cuales hacen vacío. El operario es el encargado de trasladar la chapa hasta la mesa de carga y descarga.

4.3. Funcionamiento

En primer lugar, el operario colocará la chapa sobre la bandeja y la meterá dentro de la máquina mediante el cambiador de bandejas. Este paso se realizará sin cortar la barrera óptica de seguridad. En caso de que la barrera óptica sea cortada, la máquina hará una parada de emergencia automáticamente.

La máquina de corte por láser, es una máquina CNC para el mecanizado de chapas planas, que se controla a partir del panel de mando. El operario seleccionará el programa del conjunto que se quiera llevar a cabo. Normalmente las empresas que demandan los conjuntos suelen pedir el mismo producto, y por tanto, en TERU S.A. ya tienen las chapas medidas para cada conjunto y de esta manera solo tienen que seleccionarla. En algunos casos, el conjunto pedido no está dibujado, entonces deben dibujarlo primero en un programa de ordenador llamado TruTops, y meterlos en una chapa con unas medidas determinadas, de manera que se desperdicie lo menos posible. Si sobra hueco, suelen meter piezas de otros conjuntos que sean muy demandados y los mandan al stock.

Una vez cerradas las puertas con la chapa elegida dentro y el programa seleccionado, se procede al corte de la chapa.

La chapa permanece fija en un sitio y el cabezal de corte se irá moviendo. El láser saldrá por el cabezal y mediante movimientos rápidos y precisos cortará la chapa según el programa que se le haya encomendado.

El operario, al haber dos bandejas, tendrá la otra fuera y podrá recoger las piezas ya cortadas en el turno anterior y de esta manera no perder el tiempo mientras la máquina corta la otra chapa.

4.4. Datos técnicos

Datos generales de TruLaser 1030 fibra	
Potencia láser	2000 W
Zona de trabajo del eje X	3000 mm
Zona de trabajo del eje Y	1500 mm
Zona de trabajo del eje Z	115 mm
Motor eje X	Servomotor
Motores Y/Z	Servomotor
Velocidad máxima	85 m/min
Unidad mínima de programación	0.001 mm
Precisión en posicionamiento	0.1 mm
Peso máximo pieza	575 kg

Tabla 1: Datos generales de TruLaser 1030 fibra

Dimensiones y peso de la máquina	
Longitud	7400 mm
Anchura	2800 mm
Altura	2300 mm
Peso	9000 kg

Tabla 2: Dimensiones y peso de Trulaser 1030 fibra

Datos técnicos de la fuente láser de disco (TruDisk 2001):

Datos generales de TruDisk 2001	
Longitud de onda	1030 nm
Potencia del láser	2000 W
Calidad del haz	2 mm*mrad
Diámetro mínimo del cable de luz láser	50 μ m
Margen de temperatura del agua de refrigeración	5 °C - 20 °C

Tabla 3: Datos generales de TruDisk 2001

Espesores máximos de material con TruDisk 2001	
Acero de construcción	12 mm
Acero inoxidable	6 mm
Aluminio	5 mm
Cobre	3 mm
Latón	3 mm

Tabla 4: Espesores máximos de corte dependiendo del material

Dimensiones	
Anchura	730 mm
Altura	1375 mm
Profundidad	1120 mm

Tabla 5: Dimensiones de TruDisk 2001

5. PLAN DE MANTENIMIENTO

Para obtener siempre la mayor calidad en cada pieza, es imprescindible un mantenimiento adecuado de la máquina. De esta manera, se previenen los fallos de funcionamiento y las consecuencias de los mismos. Cuando se realice el mantenimiento, la máquina debe permanecer apagada, para evitar posibles lesiones.

Antes de ponerla en funcionamiento, la maquina debe estar lubricada por completo. Si la máquina no se ha utilizado en un largo periodo de tiempo, se deberá comprobar por completo la lubricación de la máquina. Para la lubricación de la máquina, hay que tener en cuenta los siguientes puntos:

- Mantenga limpias las aberturas para el llenado y la purga de aceite y no las deje abiertas más tiempo del estrictamente necesario.
- Purgue el aceite usado sólo a temperatura de servicio.
- Limpie las cámaras de aceite y los puntos de lubricación solamente con paños que no desprendan pelusa y con aceite para husillos de poca viscosidad.
- No mezcle aceites lubricantes sintéticos con aceites minerales o aceites sintéticos de otros lubricantes ni siquiera cuando el aceite sintético tenga las mismas propiedades.
- Elimine adecuadamente los aceites usados.

Resumen del mantenimiento:

INTERVALO / HORAS DE SERVICIO	PUNTO DE MANTENIMIENTO	TAREA DE MANTENIMIENTO
8	Tubo del dispositivo de sujeción	Limpieza del tubo
8	Cartucho de la unidad de corte	Comprobar el cristal de protección, el espacio interior del cartucho, la tobera de aire y la tobera
40	Listones de apoyo	Comprobar los listones de apoyo
40	Cajones para desechos	Comprobar los cajones
40	Despolvoreador	Comprobación de la cámara de ciclón, revise el depósito desechable, y comprobar

		la indicación de la presión diferencial
100	Unidad de refrigeración	Comprobación de los niveles de agua de refrigeración, cambio de la esfera filtrante, y control visual de fugas
500	Despolvoreador	Control de las válvulas de limpieza
500	Placa de calibración y cepillo de limpieza de la tobera	Placa y cepillo de limpieza
500	Filtro de carbón activo	Cambio del cartucho filtrante
500	Filtro FocusLine	Control del filtro
500	Despolvoreador	Control de la salida de gas puro
500	Barrera óptica de seguridad	Limpieza de la barrera óptica
1000	Filtro de gas del nitrógeno y del oxígeno	Cambio de elementos filtrantes
1000	Armario de mando	Limpieza del ventilador del armario de distribución
2000	Cambiador de bandejas	Lubricación de cadena de rodillos y cadena del motor. Lubricación de carros y del tornillo de bola.
2000	Fuelle del despolvoreador	Revisión y limpieza de los fuelles
2000	Cadenas de transmisión	Comprobación de las cadenas de transmisión
2000	-	Comprobación de la presión del servicio
2000	Filtro de suministro de aire comprimido	Cambio del cartucho filtrante
2000	Filtro	Cambio del cartucho filtrante
2000	Filtro de depuración fina	Cambio del cartucho filtrante
2000	Despolvoreador	Control de elementos filtrantes
2000	Despolvoreador	Comprobación de la entrada de aire comprimido
2000	Despolvoreador	Revisión y limpieza de los cartuchos filtrantes
Cada año	Unidad de refrigeración	Limpieza del circuito de refrigeración
Cada 4 años	Armario de mando	Cambio de las baterías de mando

En caso necesario	Cartucho de la unidad de corte	Limpiar el cristal de protección, las superficies de sellado, el espacio interior del cartucho, la tobera de aire y la tobera
Si el mando emite un mensaje	Sistema central de lubricación	Como por ejemplo, comprobar y revisar el nivel de lubricante

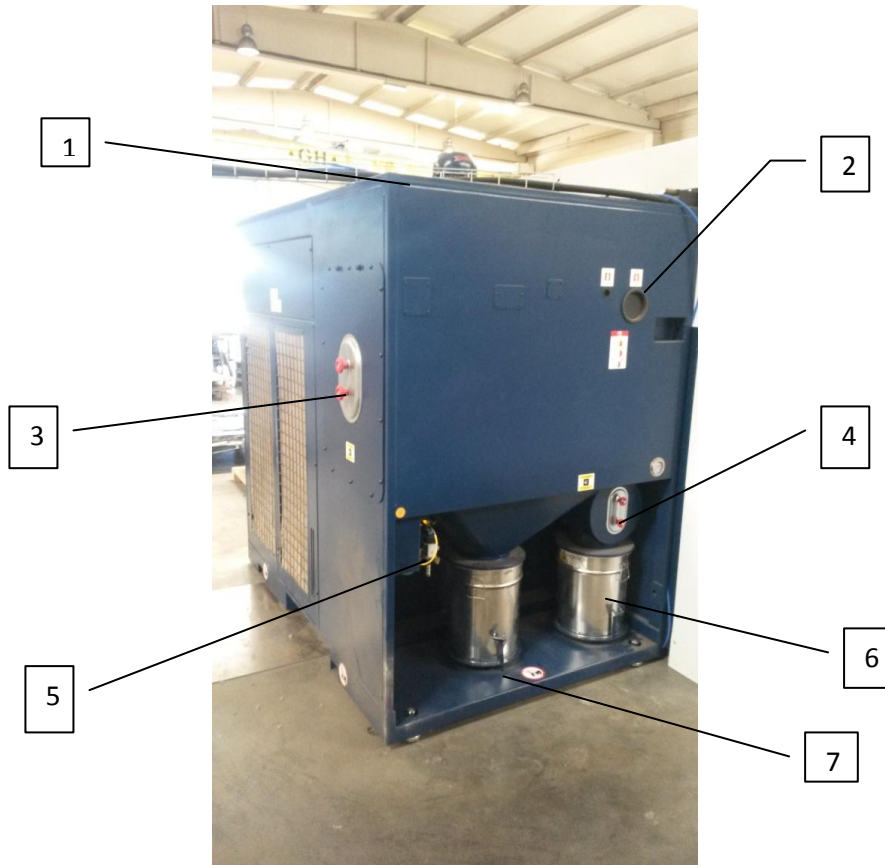
Tabla 6: Resumen general del mantenimiento

INDUSTRIAS METÁLICAS TERU S.A. realiza dos turnos de trabajo al día, por tanto:

8 horas de servicio	2 veces cada día
40 horas de servicio	2 veces cada semana
100 horas de servicio	Cada 7 días
500 horas de servicio	Cada mes y medio
1000 horas de servicio	Cada tres meses
2000 horas de servicio	Cada seis meses
Cada año	Independientemente de las horas de servicio
Cada 4 años	Independientemente de las horas de servicio

Tabla 7: Tiempo en realizar cada tarea en la empresa TERU

Como se puede apreciar en el resumen de mantenimiento, la parte de la máquina que más mantenimiento necesita es el despolvoreador. Aquí se indican las partes que lo componen:



- 1) Ventilador incorporado
- 2) Boca de extinción
- 3) Abertura de mantenimiento para la cámara de filtrado
- 4) Tapa de mantenimiento cámara de ciclón
- 5) Indicador de presión diferencial
- 6) Depósitos desechables
- 7) Dispositivo de apriete

Figura 15: Partes principales del despolvoreador

6. COMPARACIÓN CON LA **MÁQUINA DE CO2 DISPONIBLE**

6.1. Comparación teórica

En el láser de CO₂, como su propio nombre indica, la transmisión del haz necesita la presencia de CO₂ gaseoso. Sin embargo, en el láser de fibra la transmisión se realiza a través de diodos y cables de fibra, sin intervenir ningún gas. En lugar de recurrir a espejos para transferir el haz de luz, los sistemas de láser de fibra utilizan múltiples diodos de bombeo de estado sólido para generar un haz de láser, el cual es transmitido a través de un cable de fibra flexible hasta llegar al cabezal de corte láser. Esto ofrece todo un número de ventajas:

La ventaja más importante y significativa del láser de fibra es su **eficiencia energética**. Gracias a que el láser de fibra presenta un diseño monolítico y digital completamente de estado sólido, los láseres de fibra presentan una mayor eficiencia en el consumo energético que los láseres de CO₂. Debido a la escasa eficiencia que se obtiene en la generación del láser de CO₂, las necesidades de refrigeración son muy altas. Por cada unidad de potencia que pasa por un sistema de corte de CO₂, es habitual que tan sólo se aproveche en torno al 10 por ciento. Mientras que con el láser de fibra, se puede llegar a conseguir una eficiencia de potencia mucho mayor, de entre el 25 y el 30 por ciento. Se puede decir que el sistema de fibra consume en total entre 3 y 5 veces menos energía que los que utilizan CO₂, por lo que es más eficiente energéticamente.

Por otro lado, los láseres de fibra presentan propiedades lumínicas positivas tales como una **longitud de onda** más corta, que mejora la absorción del haz por el material cortado, y permite el corte de metales no conductores tales como el latón y el cobre. Dicha longitud de onda es de 1.064 micrómetros, mientras que la del láser de CO₂ es de 10.6 micrómetros. Por contra, el láser de fibra, necesita mucha más seguridad, ya que las reflexiones láser son más perjudiciales para la vista. Además, la máquina de corte por láser de CO₂ tiene un excepcional acceso a la maquina sin ser perjudicial para la vista.

Una fuente de luz más concentrada crea un punto más pequeño y una profundidad de foco más larga, por lo que el láser de fibra corta rápidamente los materiales de menor espesor. Teóricamente, hasta los 6 mm, un láser de fibra de 1,5 kW presenta una **velocidad de corte** equivalente a la de un láser de CO₂ de 3 kW, lo que se traduce en una mayor productividad pero con unos costes empresariales menores dado que los costes operativos del corte con fibra son menores que los de los sistemas tradicionales de CO₂.

Láser Gas	Láser estado sólido
CO2	Disco
Gas	Cristal artificial
 10,6μm	 1,03μm
Alta frecuencia	Láser de diodos
Hasta 10%	Hasta 25%

Tabla 8: Algunas diferencias entre los dos tipos de corte

También está la cuestión del **mantenimiento**. Los sistemas de láser de gas tradicionales requieren un mantenimiento regular ya que los espejos requieren mantenimiento, limpieza y calibración. Por su parte, las soluciones de láser de fibra no requieren apenas mantenimiento, gracias al transporte por fibra. Los sistemas de corte con láser de CO₂ requieren el gas de generación de láser de CO₂, que puede acumular impurezas que deben ser limpiadas regularmente. Además, muchos formatos de corte con CO₂ utilizan turbinas de alta velocidad para circular el gas de generación de láser y esas turbinas requieren mantenimiento y eventualmente una revisión general. Por último, dado que las soluciones de fibra son más compactas y presentan un espacio en planta más reducido que los sistemas de CO₂, tienen menos requisitos de enfriamiento y su consumo energético es considerablemente menor.

Si nos centramos en recorrido óptico, como el material de las fibras ópticas es transparente en el infrarrojo cercano, es posible transportar el haz láser con fibra óptica. La utilización de la fibra como medio de transporte del haz, simplifica de forma extraordinaria la **arquitectura** de la máquina. De hecho, el haz pasa por un cable y por lo tanto ya no requiere la definición del recorrido óptico. Por consiguiente, no se requiere la utilización de espejos y la posición de la fuente ya no influye en la definición del layout.

La combinación de un bajo mantenimiento y una mayor eficiencia energética se traduce en el hecho de que el láser de fibra presenta una menor huella de carbono y por tanto es más **ecológico** que el corte con láser de CO₂.

Si hablamos del **gas de corte** consumido, el láser de estado sólido llega a consumir hasta el doble de nitrógeno que un láser de CO₂.

Si hacemos una comparación de los espesores de chapa que pueden llegar a cortar, la máquina de corte por láser de CO₂ puede llegar a cortar hasta 30mm de grosor, mientras que la máquina de corte por láser de fibra solo puede cortar chapas finas y de grosor medio hasta 20mm. La calidad del corte es más consistente en todo el rango de espesores de corte para el láser de CO₂.

Relacionado con el tema de los espesores, se encuentra la absorción, ya que depende del espesor de la chapa y del ángulo de incidencia del rayo.

- La longitud de onda del láser de estado sólido presenta mayor índice de absorción con ángulos de incidencia pequeños. (ventajoso para espesores bajos).

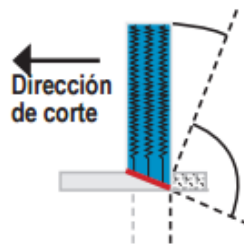


Figura 16: Ángulo de incidencia para láser de estado sólido

- La longitud de onda del láser de CO₂ presenta mayor índice de absorción con ángulos de incidencia grandes. (favorable para espesores mayores).

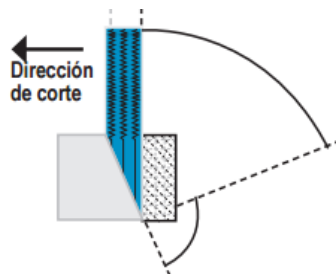
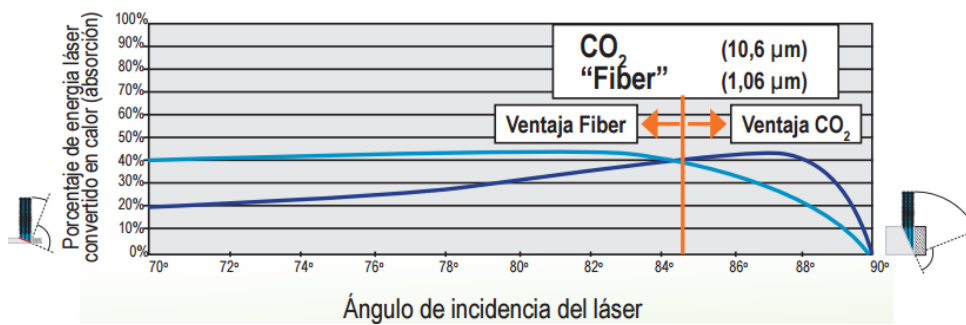


Figura 17: Ángulo de incidencia para láser de CO₂



Gráfica 1: Ángulo de incidencia del láser frente a la absorción

El láser de fibra óptica es muy veloz mecanizando láminas delgadas, mientras que el de CO₂, es ideal para láminas gruesas.

Por la razón explicada anteriormente, muchos expertos recomiendan usar la máquina de corte láser con fibra óptica como un complemento del aparato con CO₂. Este es el caso de **INDUSTRIAS METÁLICAS TERU S.A.**, que ahora tiene en su haber una máquina de cada tipo. De esta manera, seleccionará que máquina cortará cada conjunto de piezas, dependiendo del espesor de dicha chapa.

6.2. Comparación práctica

Para llevar a cabo esta comparación práctica, mediré en la empresa los tiempos que le cuesta a cada empleado finalizar su tarea dentro del proceso productivo de un conjunto. Más tarde, realizaré una simulación de dicho conjunto mediante el programa Enterprise Dynamics.

MEDIDA DE TIEMPOS¹

La medida de tiempos se puede definir como la técnica que se emplea para determinar el tiempo normal de una operación. Más concretamente, es la aplicación de técnicas para determinar el tiempo que invierte un cabo una tarea definida, efectuándola según una norma de ejecución.

La medida de tiempos es importante para realizar trabajos como los siguientes:

- Comparar la eficacia de varios métodos de producción.
- Dimensionado de equipos.
- Equilibrado de cadenas de montaje (reparto de trabajo).
- Determinar el número de máquinas que puede atender un operario.
- Información básica para confeccionar el programa de producción, determinación de plazos de entrega.
- Medida de la actividad de los operarios para determinar los niveles retributivos y, en ocasiones, el cálculo de incentivos.

En general, puede asegurarse que no existe ninguna faceta de la gestión de la empresa que pueda prescindir de una correcta determinación de los tiempos de ejecución de las distintas operaciones que en ella se realizan.

¹ [Apuntes de la asignatura: "Organización de la Producción", profesor Javier Merino Díaz de Cerio]

CRONOMETRAJE

El cronometraje es el sistema más utilizado para la determinación del contenido de trabajo de una operación, llamado así por ser el cronómetro el instrumento básico para la medida de los tiempos en este sistema.

Las etapas a seguir son las siguientes:

- Obtener y registrar toda la información posible acerca del trabajo, el operario, y las condiciones que pueden influir en su ejecución:

- Información para hallar e identificar rápidamente el estudio cuando se necesite (nombre del estudio, nombre del analista, fecha,...).

- Información para identificar con exactitud el producto o pieza que se elabora (nombre, referencia de la pieza, material).

- Información para identificar con exactitud el proceso, método, instalación o máquina (departamento, descripción, instalación o máquina, croquis del puesto de trabajo, herramientas, plantillas utilizadas, parámetros de funcionamiento de la máquina,...).

- Información para identificar al operario.

- Condiciones físicas del trabajo.

- Comprobación del método: ver si es el más adecuado.

- Descomposición del trabajo a medir en operaciones elementales. Hay algunas reglas generales para delimitar correctamente las operaciones elementales:

- Deben ser de identificación fácil y de comienzo y fin claramente definidos.

- Deben ser todo lo breves que sea posible.

- Deben separarse los elementos manuales o mecánicos de los automáticos.

- Deben separarse los elementos constantes de los variables.

- Deben separarse los elementos repetitivos de los casuales.

- Medición del tiempo con un instrumento adecuado:

Tradicionalmente, el medio para medir el tiempo era el cronómetro, existiendo gran variedad de ellos. En la actualidad, el cronómetro está cayendo en desuso, dando paso a pequeños ordenadores o calculadoras programables.

- Evaluación del ritmo o actividad:

Cada anotación del tiempo de ejecución de una operación elemental viene acompañada por una valoración de la actividad del operario durante aquella operación. La actividad es el resultado de la eficacia, habilidad y rapidez de la ejecución de movimientos durante la operación. Para evaluar la actividad, se compara con el concepto de actividad normal.

La actividad normal corresponde a la desarrollada por un hombre de 1,68m de estatura que con pasos de 75 cm. anda sin carga, por suelo llano y sin obstáculos, en condiciones de ambiente normal (18°C) a una velocidad de 1,25 m/seg o 4,5 km/h.

Para establecer una escala numérica que permita cifrar la evaluación de la actividad es necesario definir otro nivel de actividad, la actividad óptima, y asignar valores numéricos a las dos actividades, creando así una escala.

Estudios realizados sobre poblaciones muy variadas y numerosas permiten relacionar los dos valores de actividad, de la siguiente forma:

$$\text{Actividad óptima} = 1,33 \times \text{Actividad normal}$$

Existen diversas escalas de actividad, las más usadas son:

A. Normal	A. Óptima
75	100
100	133
60	80

Tabla 9: Escalas de actividad

La última escala indicada, se denomina escala “Bedaux”, es la más utilizada en España.

- Determinación del tiempo normal:

Para determinar el tiempo normal de cada operación elemental es preciso realizar el llamado “escrutinio”. Esto puede hacerse de forma gráfica o analítica.

Se basa en la característica común a todas las escalas de actividad de que:

$$\text{Tiempo} \times \text{actividad} = \text{constante (cte.)}$$

Si se calculan dichos productos y se divide por el número de observaciones (se obtiene la media aritmética), tendremos la cte. buscada.

De la relación: $TN \times AN = \text{constante}$, donde AN = actividad normal, y TN= tiempo normal, tiempo necesario para efectuar una operación trabajando a una actividad normal.

CRONOMETRAJE "IN SITU"

He realizado un estudio de varias chapas, programadas por los operarios con anterioridad, para comparar los tiempos de corte de la máquina de CO2 y de la de estado sólido.

He escogido chapas que contengan diferentes piezas y he ido variando los espesores y los materiales.

A partir del programa TruTops, que es el programa diseñado por la empresa Trumpf, se introducen las piezas demandadas por el cliente en un rectángulo con las dimensiones de una chapa.

Como veremos a continuación, en cada programa aparecen líneas y puntos de diferentes colores:

- Los puntos rojos indican la realización de agujeros.
- Las líneas verdes continuas es donde corta el láser.
- Las azules discontinuas, muestran por donde pasa el cabezal del láser pero sin emitir luz (sin cortar) dentro de la misma pieza.
- Las verdes discontinuas simbolizan por donde pasa el láser (sin cortar) pero en el cambio de una pieza a otra.

En la siguiente imagen, se ve la chapa ya mecanizada mediante el programa TruTops, la cual tiene unas medidas de 2000x1000 mm.

La pieza es un protector de trampillas encargada por la empresa QUALITY ESPRESSO S.A. Este protector, formará parte del conjunto de una máquina para la venta de café.

Vemos que en la chapa caben 132 piezas. El propio programa se encarga de aprovechar al máximo la chapa y desperdiciar lo menos posible. Si el operario cree que la disposición de las piezas no es la más eficaz, puede modificarla.

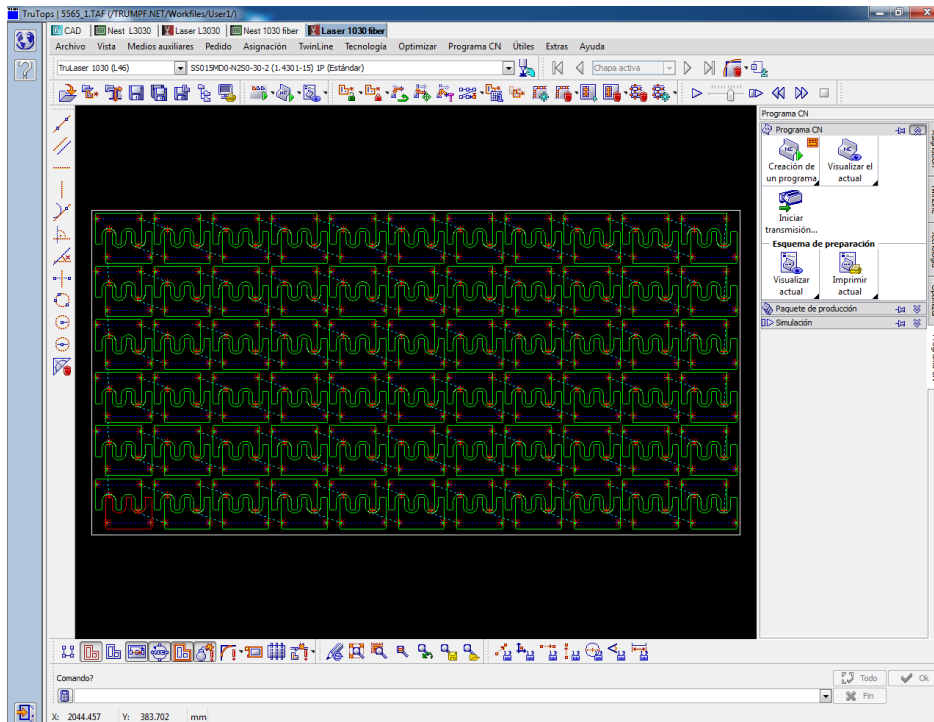


Figura 18: Chapa (1) mecanizada en el programa TruTops

Una vez mecanizada la chapa, desde el ordenador se manda el programa al ordenador de la propia máquina de corte por láser y desde ahí, el operario lo selecciona en el panel de mando.

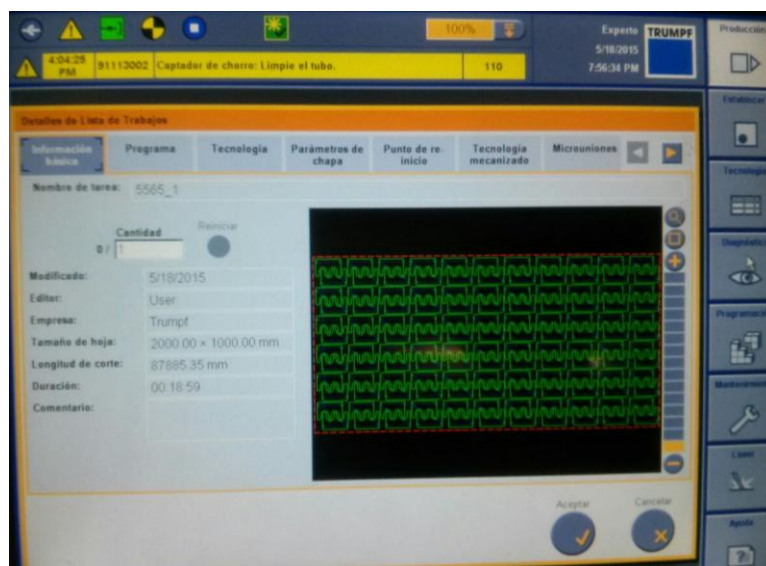


Figura 19: Chapa mecanizada en el ordenador de la máquina láser

En el panel de mando, el operario puede hacer un seguimiento del corte, y ver el tiempo que le queda a la chapa para terminar de ser cortada.

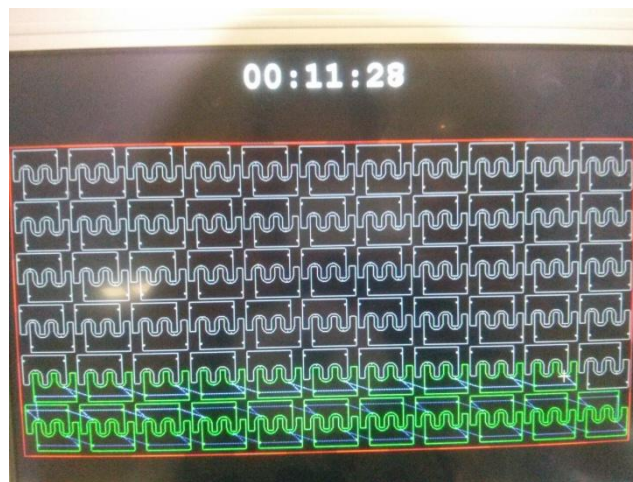


Figura 20: Seguimiento del cabezal de corte sobre la chapa en el ordenador

Para la comparación de tiempos de ambas máquinas, he ido modificando tanto los espesores de las chapas como su material (hierro o acero inoxidable).

Hay que destacar, que la nueva máquina de corte por láser de estado sólido, tiene una potencia de 2000W, mientras que la de corte por láser de CO₂, es de 4000W.

En primer lugar utilizo un espesor de **1.5 mm**, y medimos el tiempo que tarda en cortar cada láser la chapa indicada:

	CO ₂	ESTADO SÓLIDO
Hierro	0:18:28 [h:min:s]	0:12:12 [h:min:s]
Acero Inoxidable	0:17:29 [h:min:s]	0:13:55 [h:min:s]

Tabla 10: Tiempos para un espesor de 1.5mm

Es evidente, que la máquina de láser de fibra es más veloz que la de CO2, independientemente del material a cortar, siendo aproximadamente un 50% más rápida. Por otra parte, como ya he dicho antes, el ahorro de energía también es importante, ya que la potencia del nuevo láser es la mitad que la del antiguo.

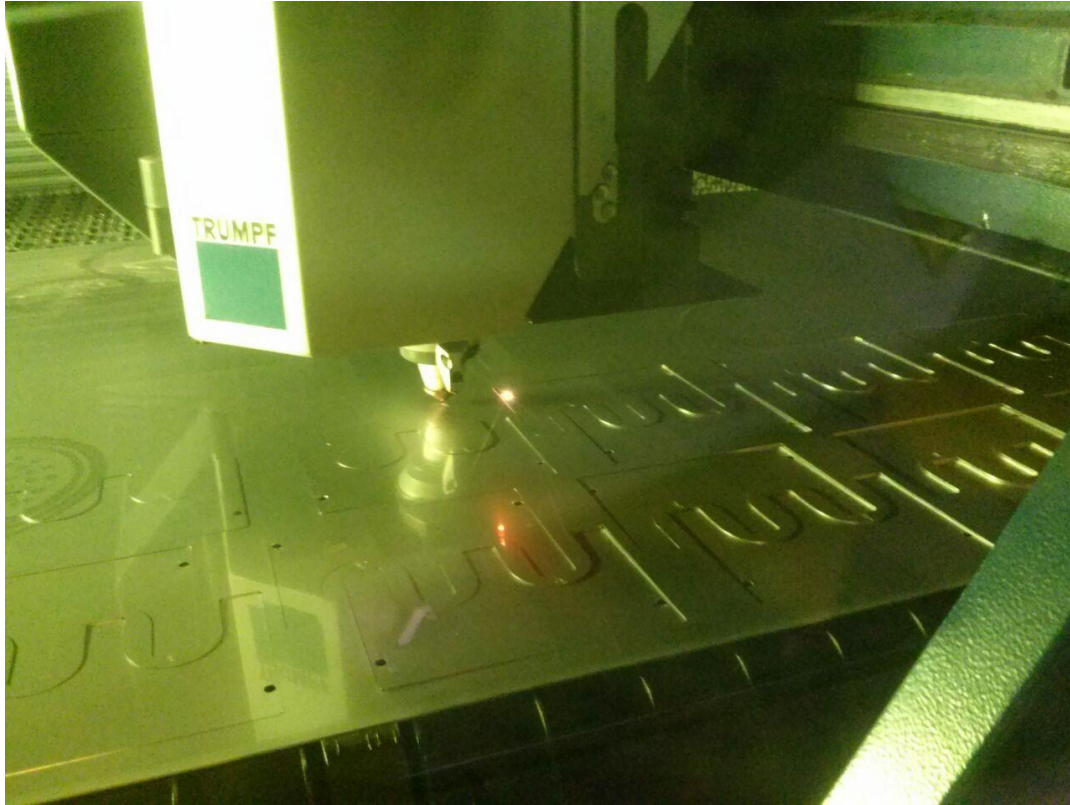


Figura 21: Imagen del proceso

Ahora, subimos el espesor a **2mm**, y volvemos a hacer el estudio:

	CO2	ESTADO SÓLIDO
Hierro	0:23:23 [h:min:s]	0:16:05 [h:min:s]
Acero Inoxidable	0:21:48 [h:min:s]	0:16:13 [h:min:s]

Tabla 11: Tiempos para un espesor de 2mm

Vemos que sigue siendo mejor utilizar el láser de fibra. También notamos que al aumentar el espesor de la chapa, los tiempos han subido. En este caso, el láser de fibra es aproximadamente 45% más veloz.

En tercer lugar, el espesor será de **3mm**:

	CO2	ESTADO SÓLIDO
Hierro	0:31:47 [h:min:s]	0:25:05 [h:min:s]
Acero Inoxidable	0:29:44 [h:min:s]	0:27:04 [h:min:s]

Tabla 12: Tiempos para un espesor de 3mm

Pese a que el láser de CO2 siga siendo más tardío, la diferencia ya no es tan patente como en los espesores anteriores.

El espesor ahora será de **6mm**. El hierro a partir de 4mm, da mejores resultados si el gas utilizado es el oxígeno en lugar del nitrógeno. Para el acero inoxidable utilizaremos siempre nitrógeno.

	CO2	ESTADO SÓLIDO
Hierro	0:36:52 [h:min:s]	0:56:47 [h:min:s]
Acero Inoxidable	0:49:39 [h:min:s]	1:55:18 [h:min:s]

Tabla 13: Tiempos para un espesor de 6mm

Los resultados tras el estudio con el espesor de 6mm son sorprendentes, ya que para cortar acero inoxidable con el láser de fibra, tardas más de una hora respecto a si lo haces con el láser de CO2.

La idea de este estudio, además de ver las diferencias de tiempos dependiendo de los espesores en ambas máquinas, es saber que máquina utilizar según el espesor que se exija. Hasta el momento, hemos visto que hasta chapas de 3mm, la máquina de láser de fibra es más veloz que la de CO2, pero los resultados cambian drásticamente para espesores altos, haciendo que para espesores de 6mm, utilizar la máquina de láser de fibra sea absurdo.

Tras estos resultados, llevaré a cabo un estudio de tiempos para espesores de **4mm**, para saber cuál de ellas obtiene mejores resultados.

	CO2	ESTADO SÓLIDO
Hierro	0:30:21 [h:min:s]	0:37:57 [h:min:s]
Acero Inoxidable	0:37:47 [h:min:s]	0:40:23 [h:min:s]

Tabla 14: Tiempos para un espesor de 4mm

Estos resultados indican, que para chapas de 3mm o inferiores, la máquina de corte por láser de fibra es la indicada. Sin embargo, cuando el espesor de la chapa sea de 4mm o superior se utilizará la máquina de CO2.

Analizando los resultados, observamos que el material a cortar, apenas repercute en el tiempo total del proceso. Exceptuando cuando el espesor es muy grande, que en la máquina de láser de fibra, el acero inoxidable tarda más del doble en ser cortado, que el hierro.

En la siguiente imagen se muestran las piezas obtenidas tras el corte realizado por la máquina de corte por láser de fibra para una chapa de 1.5mm

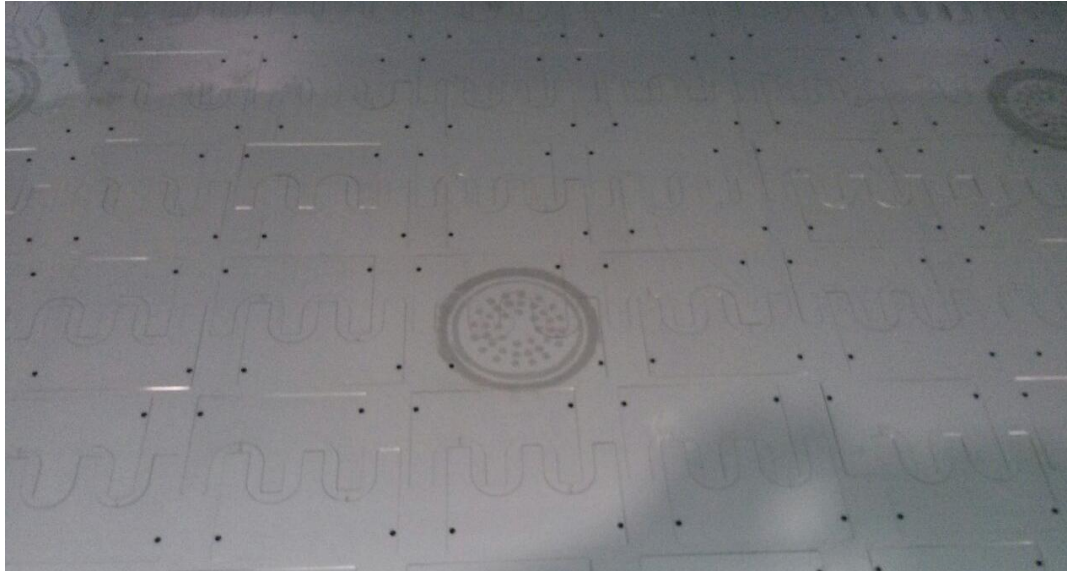


Figura 22: Chapa cortada

Hacemos otro estudio con un pedido diferente, a ver si los resultados se asemejan a los obtenidos anteriormente. En este caso, la pieza es un respaldo para estanterías, encargado por la empresa DYNAMOBEL.

Como en el caso anterior, haremos el estudio para varios espesores. El espesor solicitado por la empresa, es de 1,5mm.

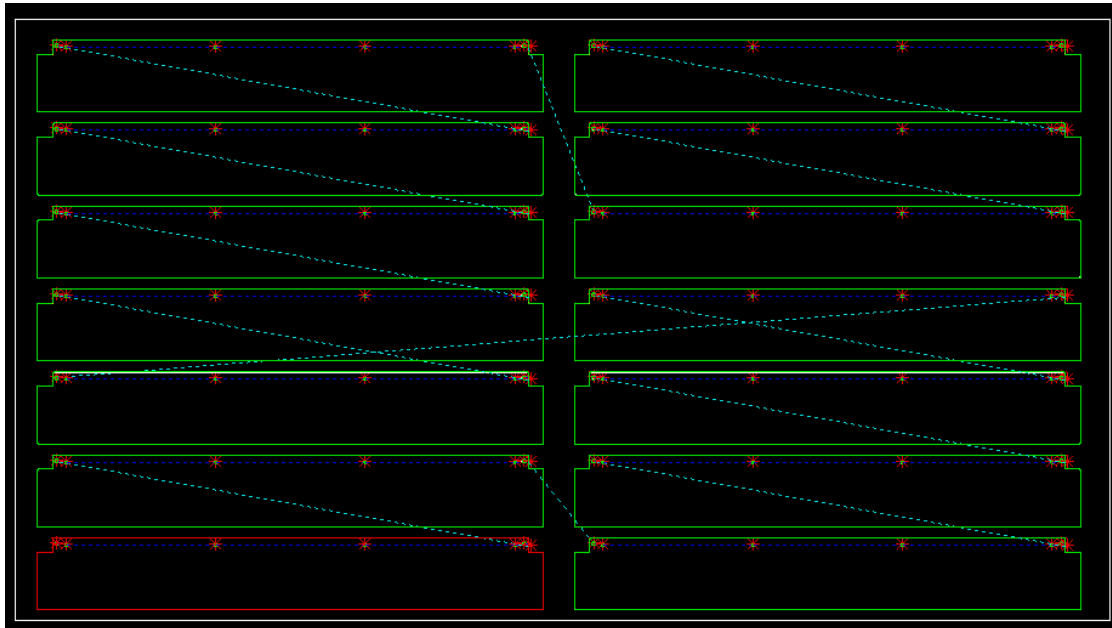


Figura 23: Chapa (2) mecanizada en Trutops

Para este espesor de 1,5mm, los resultados han sido:

	CO2	ESTADO SÓLIDO
Hierro	0:06:42 [h:min:s]	0:04:38 [h:min:s]
Acero Inoxidable	0:06:17 [h:min:s]	0:04:40 [h:min:s]

Tabla 15: Tiempos para un espesor de 1,5mm. Chapa (2)

Para un espesor igual a 3 mm:

	CO2	ESTADO SÓLIDO
Hierro	0:11:55 [h:min:s]	0:10:28 [h:min:s]
Acero Inoxidable	0:11:05 [h:min:s]	0:10:20 [h:min:s]

Tabla 16: Tiempos para un espesor de 3mm. Chapa (2)

Para un espesor de 4 mm:

	CO2	ESTADO SÓLIDO
Hierro	0:11:48 [h:min:s]	0:12:38 [h:min:s]
Acero Inoxidable	0:12:18 [h:min:s]	0:12:35 [h:min:s]

Tabla 17: Tiempos para un espesor de 4mm. Chapa (2)

Para espesor de 6 mm:

	CO2	ESTADO SÓLIDO
Hierro	0:14:04 [h:min:s]	0:20:35 [h:min:s]
Acero Inoxidable	0:18:53 [h:min:s]	0:46:01 [h:min:s]

Tabla 18: Tiempos para un espesor de 6mm. Chapa (2)

Tras hacer un nuevo estudio de tiempos con piezas diferentes, lo primero decir que el conjunto de esta chapa se corta más rápido, por lo que las diferencias de los resultados dependiendo de con qué máquina se corte no se verán de forma tan clara como en el caso anterior.

Señalar, que nuevamente el material, ya sea acero inoxidable como hierro, los tiempos apenas varían.

Destacamos que, al igual que en el caso anterior, sería inviable cortar acero inoxidable con la máquina de estado sólido para espesores muy altos.

Una vez más, para espesores pequeños (los más demandados de largo en la empresa), la máquina de estado sólido da resultados realmente sorprendentes respecto a la de CO₂, consiguiendo ser hasta un 50% más rápida.

No se nos debe pasar por alto, que la máquina utilizada de CO₂ en la empresa, tiene el doble de potencia que la de estado sólido, y pese a ello, para espesores pequeños, es más rápida la máquina de corte por láser de estado sólido.

Hasta espesores de 3 mm, la máquina de estado sólido vuelve a ser más eficiente que la de CO₂, que pasa a serlo a partir de los 4 mm.

Hay un resultado que nos sorprende. Cuando cortamos hierro en la máquina de CO₂, si el espesor de la chapa es de 4 mm, acaba antes que cuando es de 3 mm. Su explicación se basa en el gas de corte utilizado. Como he comentado antes, cuando se corta hierro a partir de 4 mm, el gas de corte pasa de ser nitrógeno a ser oxígeno. El corte con oxígeno no es tan preciso como con nitrógeno, y por eso es usado para piezas con espesores más grandes, las cuales no necesitan tanta precisión. Cuando el operario corta hierro con oxígeno, antes de que las piezas pasen a la siguiente fase del proceso, debe lijarlas para quitarles la rebaba.

Podemos concluir, que para TERU S.A. en concreto, cuando necesiten piezas de espesor igual o menor a 3 mm, cortarán con la máquina de láser en estado sólido. Si el espesor es superior a 4 mm con la máquina de CO₂.

De esta manera, se complementarían ambas máquinas perfectamente, siendo más rápidos que antes a la hora de completar los pedidos.

7. PROCESO DE PRODUCCIÓN **DE UN CONJUNTO**

En INDUSTRIAS METÁLICAS TERU S.A., se fabrica gran variedad de productos, como barbacoas, armarios eléctricos, cabinas para grúa,... Uno de los productos estrella son las máquinas expendedoras de café, en las que trabajan para diferentes empresas y con diferentes diseños.

Me voy a centrar en el proceso de una máquina expendedora de café, a partir de la cual realizaré un estudio de tiempos, para simular las diferencias de tiempos tras la implantación de la nueva máquina.

7.1. Descripción del conjunto

Se trata de una máquina expendedora de café, para la empresa Azkoyen. El nombre de dicha armario es “Zensia”.

El cuerpo principal de máquina, estará pintado de color negro y su material será el hierro de espesor 1,2mm. La puerta, sin embargo, será de galván de espesor 1,2mm. El galvanizado, consiste en depositar una capa de zinc sobre hierro, para proteger a este de la oxidación al exponerse al oxígeno del aire.



Figura 24: Conjunto de máquina expendedoras de café finalizados

En la empresa se encargan del corte de la chapa, punzonado, plegado, soldado y del montaje del conjunto. Una vez terminado el producto, lo envían a la empresa Azkoyen, la cual se encarga de introducir todos los dispositivos electrónicos para su correcto funcionamiento, además de añadirle el diseño exterior, siendo este su resultado final:



Figura 25: Máquina expendedora de café terminada

7.2. Proceso de producción

La mayoría de los productos creados en esta empresa, no están hechos de una sola pieza, sino que estaban formados por varios componentes. Por lo tanto, para crear el producto final, en primer lugar deben ser creados los componentes necesarios y después se ensamblan.

La creación de los componentes tiene diversas fases. Para comenzar tenemos que saber la forma que va a tener cada pieza desplegada sobre un único plano. Una vez tenemos el perfil, este es proyectado en una chapa y recortado por el láser. El siguiente paso es hacerle los agujeros necesarios a cada pieza (punzonado). Tras esto, el perfil es plegado para obtener el elemento deseado inicialmente.

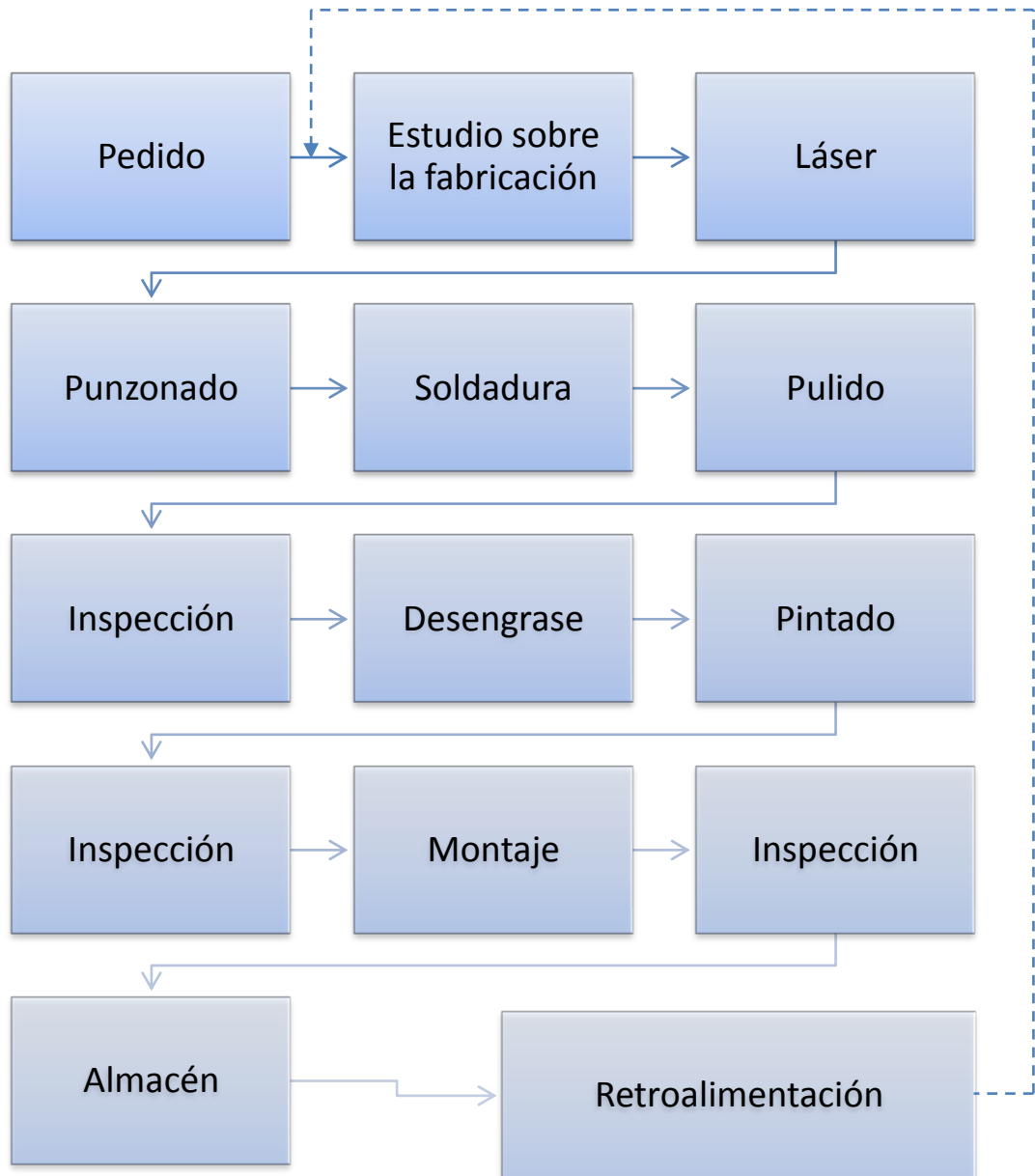
Una vez tenemos todos los componentes necesarios, llega la hora de la unión. Al ser todos los componentes de metal, el procedimiento de unión utilizado es el de la soldadura. Dependiendo del tipo de metal usado y del espesor de la chapa se utilizará un método u otro de soldadura. Para el de nuestro armario utilizaremos la soldadura por arco eléctrico, y la soldadura por puntos.

Una vez soldado el producto total completo, es introducido en una cadena de pintura para obtener el diseño deseado por el cliente.

Por último, un operario se encargará del montaje del conjunto.

En este trabajo, se describen cada una de los procesos con un estudio de tiempos.

DIAGRAMA DEL PROCESO



CORTE POR LÁSER

En el láser, se cortarán todas las piezas que forman el armario Zensia. Por una parte se cortarán las piezas que componen la puerta y por otra, las que forman el cuerpo.

La puerta tiene una referencia: 9148760, y sus componentes son:

Número	Referencia	Nombre de pieza
1	9148770	ASSY. DOOR A STL
2	9148780	ASSY. DOOR B STL
3	9148790	ASSY. DOOR C STL
4	9148800	ASSY. DOOR D STL
5	9148850	ASSY. DOOR F STL
6	9148840	ASSY. DOOR H STL
7	9148830	ASSY. DOOR E STL
8	9148820	ASSY. DOOR G STL
9	9148860	ASSY. DOOR I STL
10	9148810	ASSY. DOOR J STL
11	9148870	ASSY. DOOR K STL
12	9148740	LONG SIDE COVER
13	9148750	SHORT SIDE COVER

Tabla 19: Componentes de la puerta

La puerta será cortada por el láser de fibra para hierro galvanizado de espesor 1,2mm. Después de varias modificaciones, la disposición utilizada por el operario fue la siguiente.

Todo el perfil sobrante, será utilizado para futuros cortes, no será desperdiciado.

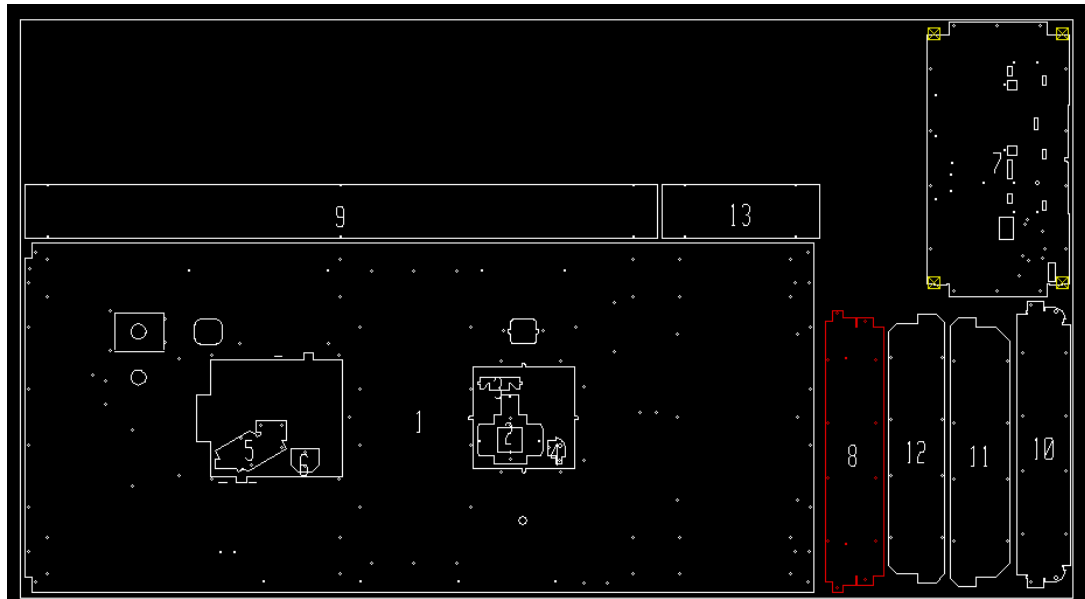


Figura 26: Piezas de la puerta dentro de la chapa en el programa TruTops

Los tiempos observados son los siguientes:

Operaciones	Tiempo (min)
Cambio de bandejas	01:05
Corte de todas las piezas	05:53

Tabla 20: Tiempo en cortar la puerta por láser de estado sólido

El tiempo que tarda el operario en sacar todas las piezas y colocarlas en un pallet, tirar el desperdicio a la chatarra, y colocar la nueva chapa, no se suman al tiempo total, ya que el operario tiene el tiempo suficiente para realizar todas estas tareas, mientras el láser está en funcionamiento.

El cuerpo, está formado por varias piezas, todas ellas de hierro de espesor 1.2mm:

Referencia	Nombre de pieza
9148980	CUPS ROD BRACKET
9148690	PUNTO DE CIERRE
9148700	COVER DOOR
9148710	GRIL BRACKET
9148720	COIN BOX GUIDE
9148730	COIN BOX BRACKET
9142620	SUBC. BISAGRA
9162030	REFUERZO PANEL SELECCIONES
9148930	FUNNEL RECOVERY A
9148940	FUNNEL RECOVERY B
9148960	COIN GUIDE RECOVERY A
9148970	COIN GUIDE RECOVERY B
9136690	LATERAL DCHO. MUEBLE
9136720	RESPALDO MUEBLE
9136740	SOPORTE LATERAL DCHO. MUEBLE
9136730	SOPORTE LATERAL IZDO. MUEBLE
9127850	BISAGRA INFERIOR PATA
9127840	PATA DERECHA
9136670	FONDO MUEBLE
9136680	REFUERZO FONDO MUEBLE
9136700	LATERAL IZDO. MUEBLE
9136760	OMEGA ANCLAJE TOLVA GRANO
9136710	TECHO MUEBLE
9136750	SOPORTE TAPAS RESPALDO

Tabla 21: Componentes del cuerpo

Operaciones	Tiempo (min)
Cambio de bandejas	01:05
Corte de todas las piezas	19:34

Tabla 22: Tiempo en cortar el cuerpo por láser de estado sólido

Al igual que en el corte de la puerta, el tiempo que tarda el operario en sacar todas las piezas y colocarlas en un pallet, tirar el desperdicio a la chatarra, y colocar la nueva chapa, no se suman al tiempo total.

Si estos armarios, hubieran sido cortados por la máquina CO2, los resultados hubiesen sido diferentes.

Para la puerta:

Operaciones	Tiempo (min)
Cambio de bandejas	00:56
Corte de todas las piezas	07:40

Tabla 23: Tiempo en cortar la puerta por láser de CO2

Para el cuerpo del armario:

Operaciones	Tiempo (min)
Cambio de bandejas	00:56
Corte de todas las piezas	28:19

Tabla 24: Tiempo en cortar el cuerpo por láser de CO2

PUNZONADO

El punzonado es una operación de corte de chapas, generalmente en frío, mediante un dispositivo mecánico formado por dos herramientas: el punzón y la matriz. La aplicación de una fuerza de compresión sobre el punzón obliga a éste a penetrar en la chapa, creando una deformación inicial en régimen elastoplástico seguida de un cizallamiento y rotura del material por propagación rápida de fisuras entre las aristas de corte del punzón y matriz. El proceso termina con la expulsión de la pieza cortada.

La máquina empleada es una “Goiti” de control numérico. Un operario esta en todo momento supervisando el funcionamiento de la máquina así como introduciendo el programa necesario de CN según la pieza deseada.

En esta zona, las medidas de tiempos tomadas han sido las siguientes:

Operaciones	Tiempo (min)
Quitar rebaba	2 (una vez por lote)
Introducir punzones	11 (una vez por lote)
Punzonar piezas que componen el armario	07:23

Tabla 25: Tiempos recogidos en el punzonado

Las piezas se agujerean en lotes de 10 piezas de cada, por tanto el tiempo total será: **08:35 [min:s]**

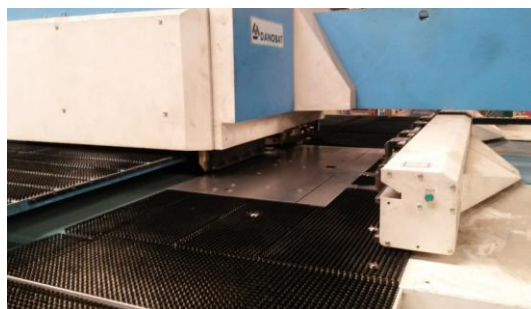


Figura 27: Punzonadora agujereando las piezas

PLEGADO

Se procede a dar forma a todas las piezas que componen cada conjunto. El plegado de chapa con un punzón y una matriz montados en una plegadora es un hecho bastante natural y habitual en este tipo de empresas.

La plegadora empleada en este caso es la Trumabend v130. Para llevar a cabo este proceso, el operario se encarga de colocar la chapa a doblar en la matriz y de accionar el mecanismo que presiona la chapa y hace que se doble.

Como dato, decir que esta máquina tiene una longitud de plegado de 3000mm.

Estos son los tiempos recogidos en este proceso:

Operaciones	Tiempo (min)
Transporte	3 (una vez por lote)
Montar utillaje	7 (una vez por lote)
Plegar puerta	11
Plegar cuerpo	23

Tabla 26: Tiempos recogidos en el plegado

El encargado de plegar las piezas, debe ir a la punzonadora y traer las piezas cortadas y agujereadas sobre un pallet, mediante una transpaleta o un toro eléctrico. Cada lote está formado por 10 piezas de cada parte que forma el armario, por lo que habría que dividir el tiempo que tarda el operario en transportar las piezas y montar el utillaje entre el número del lote.

En este caso el tiempo de plegado total, será: **34 minutos**

Aquí se ve el plegado uno de los laterales del armario. Este trabajo debe llevarse a cabo por dos empleados.



Figura 28: Plegado de un lateral del conjunto

SOLDADURA

Es un proceso de unión de materiales en el cual se funden las superficies de contacto de dos o más piezas, mediante la aplicación de calor y o presión.

En este proceso, hay que distinguir dos elementos:

- Material base: son los materiales que se van a unir.
- Material de aportación: es el material externo que se añade a la soldadura en el caso de que este sea necesario, dependiendo del procedimiento finalmente empleado y del tipo de unión.

Un consejo para poder asegurar que la soldadura cumpla sus especificaciones de resistencia mecánica, tanto el material base como el de aportación deben tener iguales o, al menos similares propiedades físicas, químicas y mecánicas.

Este es uno de los procesos más habituales en el ensamblado de componentes en el ámbito de la industria, esto es debido a que proporciona una unión permanente, la unión soldada puede tener más resistencia mecánica que los materiales originales, ya que depende del material de aportación y de los procedimientos empleados, es una forma muy económica de unir piezas y puede realizarse al aire libre.

En la empresa tienen muchos tipos de soldadura como por ejemplo la MIG/MAG, LÁSER (sin material de aportación), TIG, soldadura por puntos y la soldadura manual.

Para nuestro conjunto se utiliza la soldadura por puntos y la soldadura manual.



Figura 29: Soldadura por puntos

Operaciones	Tiempo (min)
Colocar laterales	0.5
Colocar parte superior e inferior	0.5
Remachar	4
Soldar por puntos	7
Soldar manualmente	8
Introducir y soldar piezas internas	5
Lijar	1
Pulir	1
Soldar partes de la puerta	7

Tabla 27: Tiempos recogidos en el puesto de soldadura

El tiempo total es de **34 minutos** por armario.

Operario remachando para unir los laterales con la parte posterior del armario:

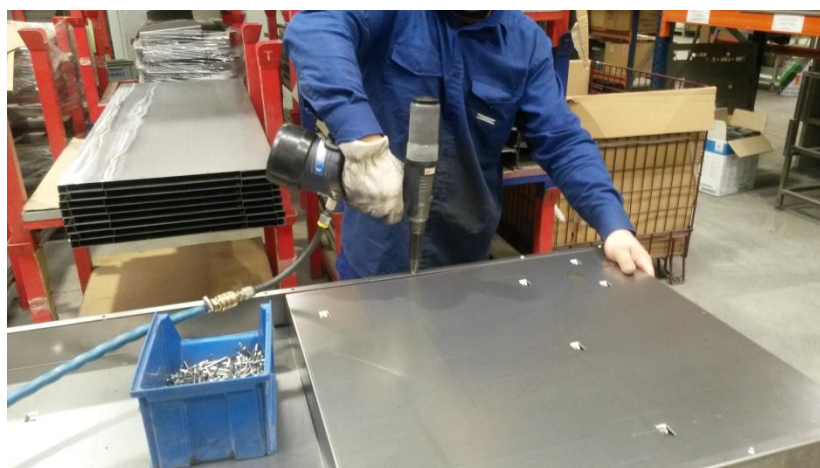


Figura 30: Operario uniendo partes del conjunto mediante remaches

PINTURA

Este es un proceso en línea en el cual las piezas siguen unos determinados pasos.

Se cuelgan inicialmente en una cinta, que a través de un raíl los llevará por todos los pasos necesarios para ser pintados. Este proceso esta subdividido en tres etapas distinguidas:

1. Etapa de limpieza: La principal misión de esta etapa es dejar la pieza en perfectas condiciones para poder aplicarle la capa de pintura. Como la pintura que vamos a utilizar es una pintura en polvo, si la pieza no está completamente desengrasada y limpia, la capa de pintura que aplicaremos no agarrará bien y con el tiempo se caerá. Esta etapa, se subdivide en:

- Desengrase: para limpiar las piezas. La temperatura es de 45°C.
- Aclarado: con agua normal.
- Agua osmotizada
- Oxilan: para proporcionar un mayor agarre.
- Secado: necesario para pasar a la etapa de pintura. La temperatura en este horno, es de 135°C.

2. Etapa de pintura: En esta etapa las piezas ya limpias y desengrasadas pasan por una cabina, la cual tiene boquillas por las que sale la pintura a los dos lados. Esta pintura es un tipo de pintura en polvo, al haberlas limpiado bien la pintura se adherirá en buenas condiciones a la pieza, produciendo un acabado de buena calidad.

3. Etapa de polimerizado: Todas las piezas que ya han pasado por la cabina de pintura van directas a un horno, en el cual la temperatura será 220°C, y el tiempo será variable en función de la velocidad a la que se desplacen las piezas. Para nuestro armario, la velocidad es de 1 m/min.

Operaciones	Tiempo (min)
Limpieza	28
Pintura	11
Polimerizado	32
Colgar y descolgar piezas del raíl	79

Tabla 28: Tiempos recogidos en la cadena de pintura

El tiempo total por armario es de **2h y 30 minutos**, ya que la cadena tiene una longitud de 150 metros, y la velocidad es de 1 m/min.

La cadena de pintura, salvo por una avería, nunca se detiene. Mientras los operarios cuelgan y descuelgan piezas en el raíl, unas piezas se estarán desengrasando, otras pintando y otras secando.

El tiempo de colgar y descolgar las piezas del raíl, en realidad no es 79 minutos, en realidad es mucho menor. Este tiempo, es todo el tiempo que las piezas están fuera de cualquier proceso de los de arriba indicados. Dentro de este tiempo se incluye el tiempo en el que las piezas sin pintar son colgadas y las ya pintadas son descolgadas.



Figura 31: Piezas saliendo de la etapa de polimerizado

MONTAJE

Es el último paso del proceso productivo de estas máquinas de café. En primer lugar se montará la puerta, y más tarde se introducirán todos los elementos necesarios para ensamblarla con el cuerpo del armario.

Operaciones	Tiempo (min)
Montaje puerta	14
Montar ganchos de cierre	1
Montar puerta con una bisagra	2
Montar embellecedores	2
Atornillar en lateral y frontal	1
Apretar tornillos	1
Realizar la revisión de calidad y embalar con plástico	3

Tabla 29: Tiempos necesarios para el montaje del conjunto

El tiempo total de montaje es de **24** minutos. Como vemos, cuesta más tiempo montar todas las piezas que componen la puerta, que el resto del montaje de la máquina expendedora de café.

8.SIMULACIÓN DEL PROCESO DE
FABRICACIÓN DEL CONJUNTO CON
ENTERPRISE DYNAMICS

Como ya he comentado a lo largo del proyecto, el programa utilizado para la simulación del proceso productivo de esta máquina expendedora de café, es ENTERPRISE DYNAMICS.

Enterprise Dynamics es una plataforma de software de simulación innovador, rápido e intuitivo. Se utiliza para optimizar los procesos mediante la medida de tiempos y permite representar el comportamiento de los procesos de producción, de transporte y las instalaciones a gran escala.

El usuario puede seleccionar objetos estándar de simulación, llamados átomos, y conectarlos creando un modelo real. Se les llama átomos, a todos los elementos que se incluyen en el proceso, ya sean los equipos que lo constituyen, los productos que se van a fabricar, los medios de transporte, como los almacenes. Para cada átomo, los parámetros se pueden modificar para cambiar su comportamiento, y ver cuál sería el resultado en la vida real.

Por otra parte se encuentran los canales, que son los encargados de unir los diferentes átomos, estableciendo las direcciones de flujo del proceso productivo.

8.1. Tiempos

En primer lugar, tabularé los tiempos globales necesitados para desempeñar cada una de las tareas necesarias para la realización del producto.

En primer lugar los tiempos comunes entre la puerta y el resto de la máquina:

Operación	Tiempo de ciclo [h:min:s]	Tiempo transcurrido [h:min:s]
Corte por láser	00:37:51	00:37:51
Punzonado	00:08:35	00:46:26

Para la puerta de la máquina de café:

Operación	Tiempo de ciclo [h:min]	Tiempo transcurrido [h:min:s]
Plegado	00:11	00:57:26
Soldadura	00:07	01:04:26
Pintura	02:30	03:34:26
Montaje	00:14	03:48:26

Para el cuerpo:

Operación	Tiempo de ciclo [h:min]	Tiempo transcurrido [h:min:s]
Plegado	00:23	01:09:49
Soldadura	00:27	01:36:49
Pintura	02:30	04:06:49

Por último, se lleva a cabo el montaje de la puerta con el cuerpo:

Operación	Tiempo de ciclo [h:min]	Tiempo transcurrido [h:min:s]
Montaje de las partes	00:10	04:16:49

Tabla 30: Tiempos recogidos en cada puesto de trabajo y tiempo total transcurrido

Vemos que el tiempo total para la realización de la primera máquina debe ser aproximadamente de **04:16:49 [h:min:s]**.

3) **Queue:** es un área de espera para las piezas. En la simulación, he colocado un almacén antes y después de cada máquina. Habrá que especificar cuál es la capacidad de cada almacén. En la empresa son pallets, donde se van colocando las piezas ya terminadas que esperan a ser transportadas a la siguiente máquina, a través de una transpaleta o en su defecto un toro eléctrico.

4) **Server:** son los átomos que poseen la función máquina. Las piezas que entran en este átomo, sufren un proceso y permanecen un tiempo de procesado. Hay que configurar el tiempo que tarda cada una de las máquinas en procesar cada producto. Si por cada chapa sale más de un producto habrá que indicarlo en el tamaño del lote. Para nuestro estudio, por cada chapa que entra en la máquina de corte por láser, salen las piezas necesarias para un solo producto. Esto se debe a que el tiempo introducido en el Server, es el medido por cronometraje en la empresa de lo que tarda en ser cortadas todas las piezas para una sola máquina expendedora de café.

Hemos utilizado átomos Server, para la máquina de corte por láser, la punzonadora, las plegadoras, para la soldadura, y para el montaje de la puerta.

5) **Accumulating Conveyor:** es una cinta transportadora en la que se pueden acumular los productos, es decir, puede haber más de un producto sobre la cinta al mismo tiempo. Un producto puede ser procesado mientras los están siendo otros, no tiene que esperar a que termine el que está dentro como en los Server. Este átomo ha sido utilizado para la cadena de pintura.

En principio el átomo utilizado para la pintura había sido el Server, pero los resultados tras la simulación no eran coherentes, ya que en la empresa, la cadena no se detiene nunca (salvo por parada de emergencia), y puede haber una gran cantidad de productos al mismo tiempo. El tiempo de pintado de una pieza es de 2h y 30 min, y en el átomo Accumulating Conveyor no aparece un tiempo de ciclo. Esto lo solucioné dándole a la cinta una longitud de 9 metros y proporcionándole una velocidad de 0,001 m/s, consiguiendo así el tiempo de pintado real.

6) **Assembler:** fusiona piezas que llegan de diferentes fuentes. Ha sido utilizado para la etapa de montaje, ya que llega por una parte la puerta, y por otra el resto del conjunto (cuerpo). En este átomo hay que indicar el número de piezas necesarias de cada fuente para conseguir un producto. En nuestro caso, se necesita una pieza de cada, ya que por cada máquina expendedora de café necesitamos una puerta y un cuerpo.

7) **Transporter:** es el átomo utilizado para transportar las piezas de un almacén a otro. En la empresa, el transporte se realiza a través de transpaletas y de toros eléctricos. Se le introducirá un tiempo de carga y otro de descarga.

8) **Sink:** es el último átomo. Es el producto completo y terminado, en nuestro caso las máquinas expendedoras de café “Zensia”.









NÚMERO	ICONO
1	 Product
2	 Source
3	 Queue
4	 Server
5	 Accumulating Conveyor
6	 Assembler
7	 Transporter
8	 Sink

Tabla 31: Tabla de iconos de los átomos empleados

8.3. Model Layout

Una vez tengamos todos los átomos necesarios seleccionados, los conectaremos mediante canales, de manera que siga el mismo proceso que en la empresa. Este es el proceso que deben seguir las máquinas expendedoras de café:

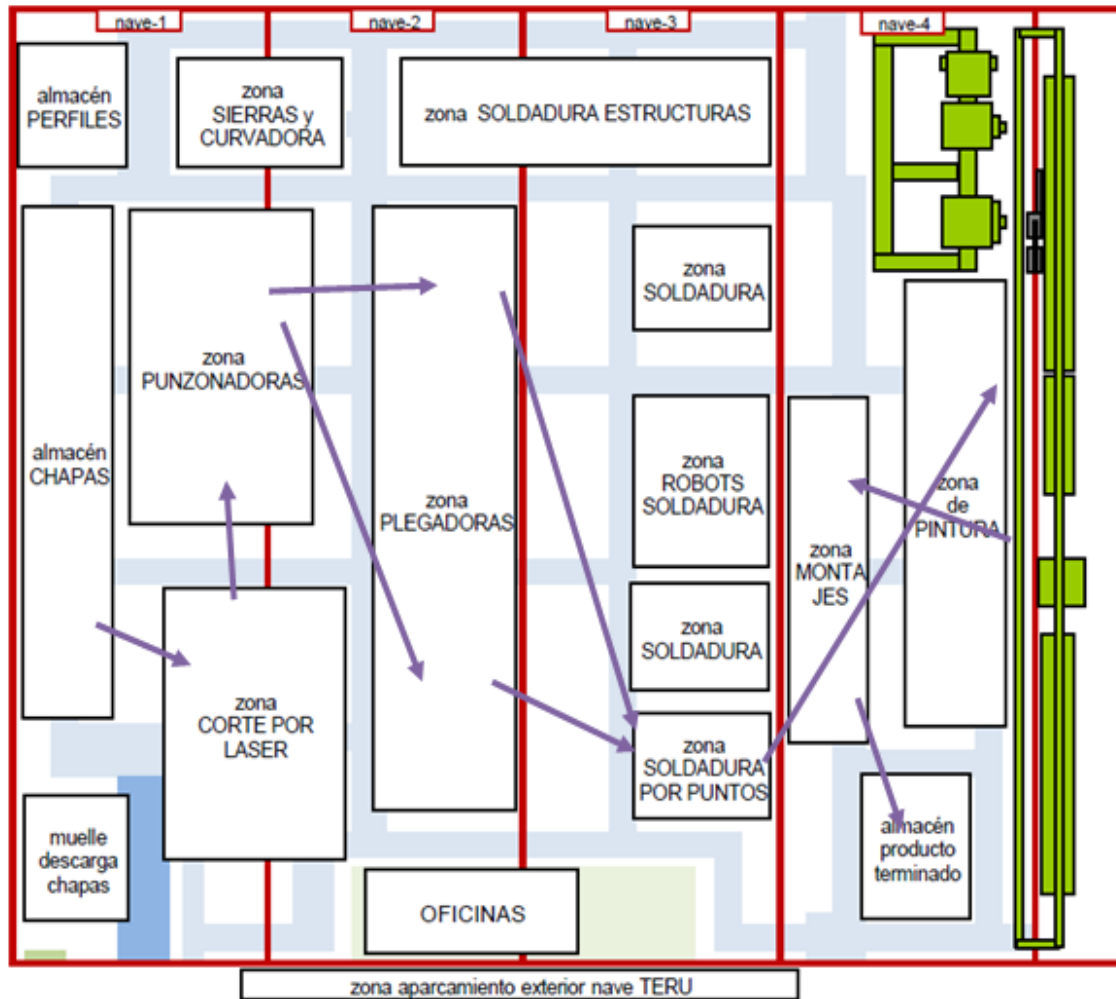


Figura 33: Flujo de las piezas

8.4. Simulación

Para realizar la comparación entre la máquina de corte por láser de estado sólido y la de corte por CO₂, mediremos la cantidad de conjuntos (máquinas expendedoras de café), que es capaz de realizar la empresa a lo largo de una semana. Tendremos en cuenta, que trabajan dos turnos de 8 horas cada día, es decir, 80 horas a la semana.

Para la simulación del proceso productivo, destacaremos que se usa:

- Una máquina de corte por láser.
- Una punzonadora.
- Tres plegadoras: dos para el cuerpo de la máquina y una solamente para las puertas.
- Dos puestos de soldadura: en uno se suelda la puerta y en el otro el cuerpo.
- Cadena de pintura: pese a que en la simulación aparezcan dos cadenas, es la misma. Esto es debido a que quiero distinguir el proceso de la puerta y el del armario.
- Un puesto de montaje para la puerta.
- Un puesto de montaje para el conjunto final.

8.4.1. Con láser de CO₂

Tras comprobar que los tiempos obtenidos se asemejan con la productividad real de la empresa, se procede al análisis de resultados. Se le indica al programa que simule 20 veces las 80 horas de trabajo semanales, distribuidas en 10 turnos de 8 horas. Este estudio se realizará mediante la función Experiment Wizard.

La variable que nos interesa estudiar es el átomo "Láser", y la producción semanal dependiendo de este átomo.

Configuración de la simulación	
Observation period	288000 (segundos)
Warmup period	0
Number of observations	20
Simulation method	Separate runs

Tabla 32: Configuración de la simulación

Distribución de tiempos

En la tabla que se muestra a continuación, se indican los valores promedio de las 20 simulaciones realizadas. Como ya he dicho, la variable que me interesa es el funcionamiento del láser.

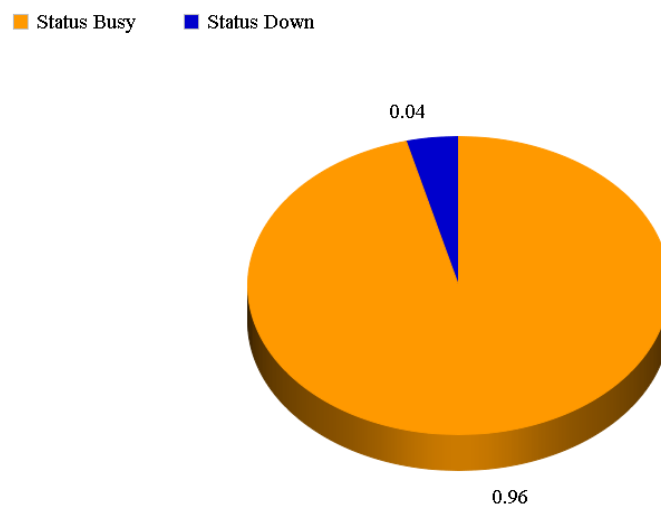
	Average	St.Deviation	Lower bound (95%)	Upper bound (95%)	Minimum	Maximum
Status Idle	0	0	0	0	0	0
Status Busy	0.96	0	0.96	0.96	0.96	0.96
Status Down	0.04	0	0.04	0.04	0.04	0.04

Tabla 33: Distribución de tiempos en porcentajes (láser de CO2)

Los resultados eran los esperables, ya que el láser está trabajando (Status Busy), todo el tiempo a no ser que se haya producido algún tipo de avería (Status Down).

Esto es debido, a que el láser es el primer átomo del proceso, y conforme termina de cortar un conjunto, inmediatamente comienza a cortar el siguiente. Al disponer de dos bandejas, mientras el operario quita todas las piezas que componen un conjunto, el láser corta el siguiente conjunto, y de esta manera el láser no tiene tiempo libre (Status Idle). El único momento en el que el láser no está cortando chapa, es cuando se produce el cambio de bandeja, que en el láser de CO2 es de 00:56 [min:seg] por chapa. Este tiempo está incluido en el tiempo de ciclo de un conjunto, que es 37:51 [min:seg].

El tiempo de avería es aproximado. He supuesto que se produce una avería cada 300 minutos de una duración de 12 minutos. Puede ser debida a que alguna chapa al ser cortada se ha levantado y supone un peligro, ya que puede chocar contra el cabezal del láser, causando problemas más graves, por lo que el operario debe interrumpir el proceso y quitar dicha pieza. Este sería una avería de las más frecuentes que se pueden dar a lo largo de una jornada laboral.



Gráfica 2: Distribución de tiempos

Producción total

Se estima cual será la producción media semanal. Aquí veremos cuantas máquinas expendedoras de café son capaces de fabricar a partir de la máquina de corte por láser de CO2.

	Average	St.Deviation	Lower bound (95%)	Upper bound (95%)	Minimum	Maximum
Producción semanal	106.45	11.56	101.04	111.86	80	126

Tabla 34: Producción por láser de CO2

Observamos, que la producción media semanal tras una simulación de 20 semanas, es de **106.45** máquinas de café, con una desviación estándar de 11,56.

8.4.2. Con láser de estado sólido

Al igual que para el láser de CO₂, la variable que nos interesa estudiar es el átomo “Láser”, y la producción semanal dependiendo de este átomo.

La distribución de tiempos para esta tecnología será la misma que para el láser anterior. Al igual que con el láser de CO₂, el láser es el primer átomo del modelo, por lo que no tiene tiempos libres excepto el 4% del tiempo que estimamos que se pierde por averías.

	Average	St.Deviation	Lower bound (95%)	Upper bound (95%)	Minimum	Maximum
Status Idle	0	0	0	0	0	0
Status Busy	0.96	0	0.96	0.96	0.96	0.96
Status Down	0.04	0	0.04	0.04	0.04	0.04

Tabla 35: Distribución de tiempos en porcentajes (láser de estado sólido)

En este caso, el tiempo que se pierde en el cambio de bandejas es de 01:05 [min:seg] por chapa. Este tiempo está incluido en el tiempo de ciclo de un conjunto, que es 27:37 [min:seg].

Producción total

Se estima cual será la producción media semanal. Se calcularán las máquinas expendedoras de café que son capaces de fabricar a partir de la máquina de corte por láser de estado sólido.

	Average	St.Deviation	Lower bound (95%)	Upper bound (95%)	Minimum	Maximum
Producción semanal	152.15	15.99	144.66	159.64	116	186

Tabla 36: Producción por láser de CO2

Podemos apreciar, que la producción media semanal tras una simulación de 20 semanas, es de **152,15** máquinas de café, con una desviación estándar de 15,99.

Vemos que el valor de productos terminados medio, entre una máquina y otro difiere mucho. Era de esperar, ya que como he dicho antes, el láser es el primer átomo del modelo, por lo que no para nunca, siendo una pieza fundamental en el proceso productivo de la empresa.

La simulación indica, que para un estudio de 20 semanas seguidas los resultados hubiesen sido los siguientes:

Máquinas expendedoras de café	
CO2	2129
ESTADO SÓLIDO	3043

Tabla 37: Producción total del conjunto en 20 semanas

Vemos, que para conjuntos con espesores pequeños (los más utilizados en la empresa), en este caso 1,2 mm, la productividad de la empresa ha mejorado de una manera extraordinaria, un **42,9%**.

Ejemplo de simulación con láser de CO2

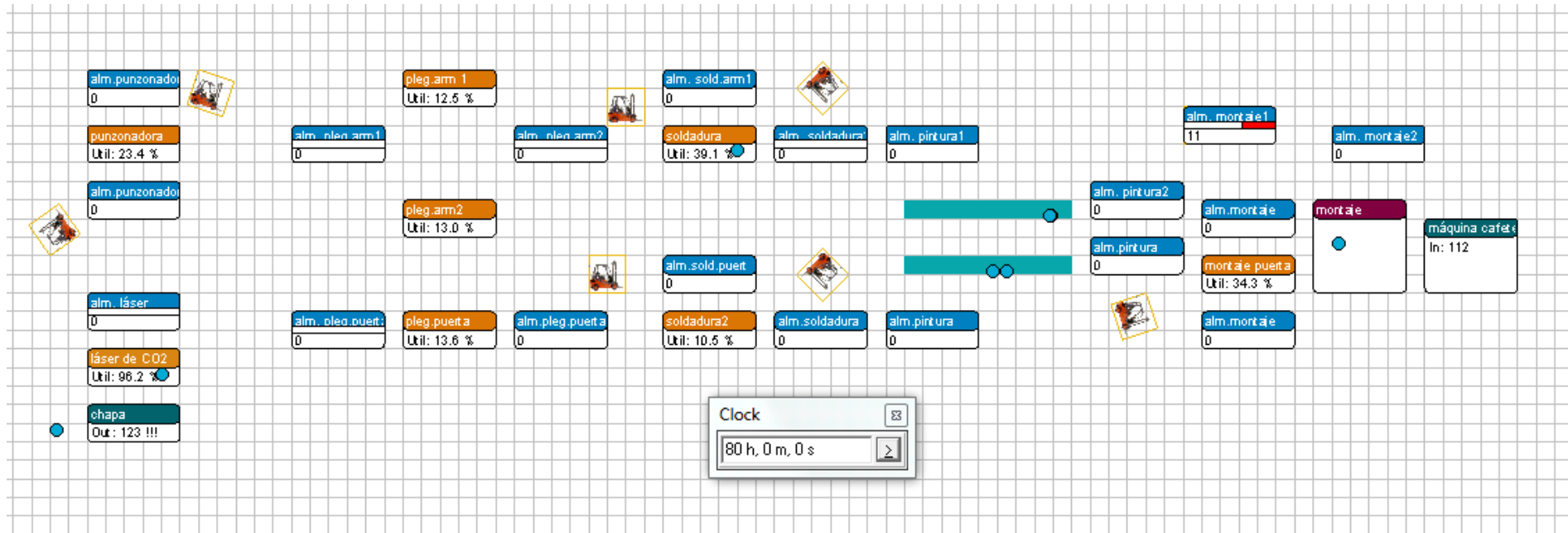


Figura 35: Simulación con láser de CO2

Vemos que el número de máquinas expendedoras de café que realiza la empresa en una de las simulaciones es de 112.

Ejemplo de simulación con láser de estado sólido

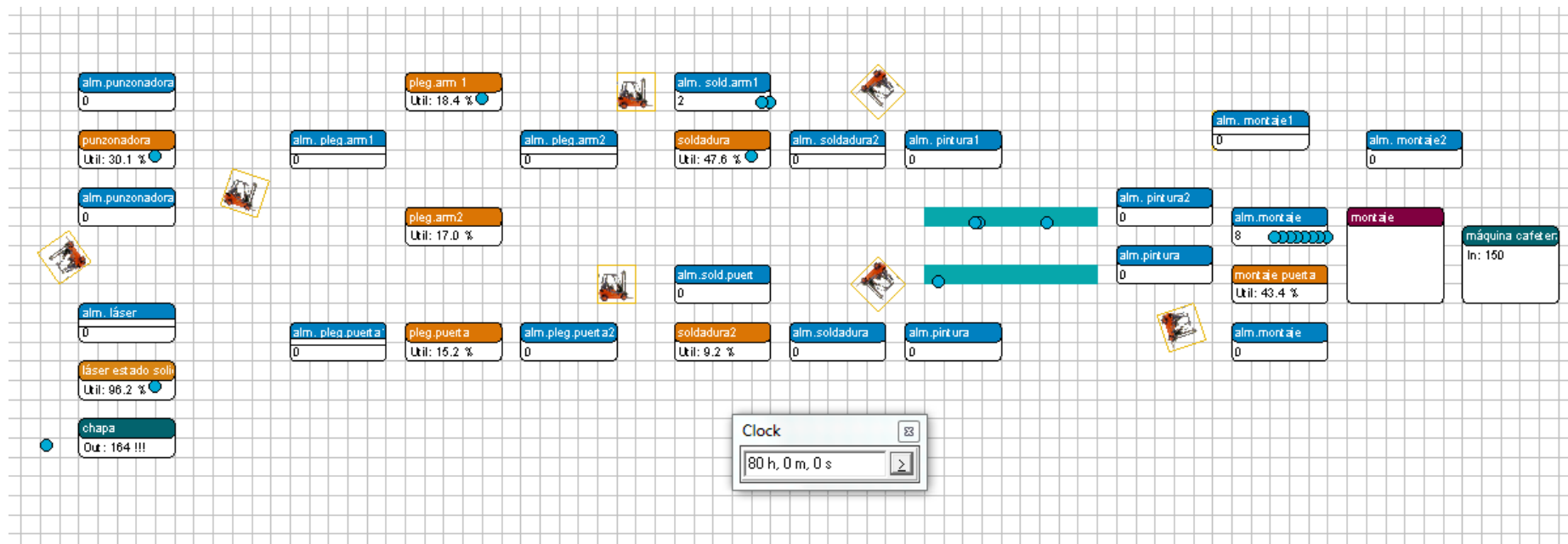


Figura 36: Simulación con láser de estado sólido

En esta imagen observamos como aumenta ese número, cuando el láser seleccionado es de estado sólido. Tras esta simulación, el resultado ha sido de 150 máquinas. Si nos fijamos en las tablas anteriores, vemos que los resultados son lógicos.

9. PROPUESTAS DE MEJORA

En cuanto a las posibles propuestas de mejora, al ser una empresa en la que normalmente las producciones son pequeñas, no compensa realizar cambios profundos, ya que es una empresa flexible, que se amolda a cada pedido.

Si en un futuro pasara a ser una producción más continua se puede plantear la automatización de la alimentación de alguna de las máquinas como por ejemplo la de las máquinas de corte por láser. Si la empresa se expandiría, también sería una buena razón para automatizar las máquinas, ya que un solo operario se encargaría de velar por el buen funcionamiento de este puesto de trabajo.

Por otro lado, se podría plantear un estudio sobre la circulación de los trabajadores, mediante el pintado del suelo para la circulación de los empleados, y zonificando cada área de trabajo. De esta forma, se reduciría el riesgo de lesión de los trabajadores.

Un problema que detecté en la empresa fue que los contenedores en los que se colocan las piezas, hay que moverlos mediante toros eléctricos o transpaletas. Obviamente no hay transpaletas para todos los operarios, ya que supone una inversión de dinero y la circulación por la empresa empeoraría. Una solución, sería colocar ruedas a los contenedores para desplazar las piezas con más facilidad, y evitar el uso excesivo de maquinaria para el transporte, ya que para las piezas sujetas en pallets sí que es totalmente necesaria.

Otro problema se daba en la zona de montaje. Hay pocas herramientas en esta zona, y si hay más de un operario montando diferentes productos, se tenían que esperar unos a otros. Además, hay operarios en otras zonas que también usan este tipo de herramientas y se tienen que desplazar a por ellas, y en ocasiones se olvidan de devolverlas. Esto se solucionaría organizando las herramientas por puestos. Para llevar a cabo este proceso, habrá que analizar las herramientas necesarias para cada puesto y de este modo reducir las pérdidas de tiempo. Esto sería una pequeña inversión de dinero, que a la larga aumentaría la productividad, por lo que saldría rentable.

10. CONCLUSIONES

Una vez realizado el estudio completo de la máquina de corte por láser de estado sólido, y la posterior simulación de un conjunto en la empresa TERU S.A., llegamos a varias conclusiones:

La nueva tecnología implantada por la empresa, tiene numerosas ventajas como: mayor velocidad de corte para espesores pequeños (gran aumento de la productividad), menor mantenimiento gracias a la fibra óptica como transporte, mayor eficiencia energética... Por otro lado, tiene contras como: aumento del gasto de gas de corte, lo que ha hecho a la empresa adquirir un nuevo transformador, la inviabilidad de cortar chapas de espesores muy altos,...

Como ya he señalado en la comparación de tiempos de ambos tipos de láser, podemos decir que para TERU S.A. en concreto, cuando el espesor de las piezas demandadas sea igual o menor a 3 mm, cortarán con la máquina de láser en estado sólido. Si el espesor es superior a 4 mm, lo harán con la máquina de CO₂, ya que cortar chapas con espesores de 6mm, con la máquina de corte de láser en estado sólido, es casi impensable por la larga duración del proceso.

De este modo, se complementarán ambas máquinas perfectamente, siendo más rápidos que antes a la hora de completar los pedidos.

Tras realizar la simulación del conjunto de una máquina expendedora de café, hemos visto que el efecto que supone la nueva máquina en la empresa es extraordinario. Mediante los resultados obtenidos a partir del programa informático "Enterprise Dynamics", vemos que la productividad de la empresa aumentaba hasta un 42,9%.

11. BIBLIOGRAFÍA

- **Enterprise dynamics tutorial. Incontrol Enterprise dynamics**
www.enterprisedynamics.com

- **Documentación empresa TRUMPF**
<http://www.es.trumpf.com/es/productos/tecnologia-laser.html>

- **La medición del trabajo**
Apuntes de la asignatura: “Organización de la Producción”, profesor Javier Merino.

- **Descripción de la máquina de corte por láser de estado sólido**
Manuales de la empresa TRUMPF

- **Noticias sobre la inclusión de la fibra en el mundo láser:**
“Láser de fibra, el futuro inmediato”:
<http://www.microstep.es/es/noticias/item/305-l%C3%A1ser-de-fibra-el-futuro-inmediato.html>
“La segunda generación del láser de fibra”:
http://www.revistatope.com/172_art_SALVAGNINI_Nuevas_tecnologias.html

- Cuesta Arranz, Alberto 2010, *Tecnología láser: aplicaciones industriales*,
Barcelona:Marcombo

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1: Plano de situación</i>	10
<i>Figura 2: Imagen exterior de la empresa</i>	12
<i>Figura 3: Creación del rayo láser</i>	15
<i>Figura 4: Bombonas compuestas por helio, CO2 y nitrógeno</i>	16
<i>Figura 5: Creación del haz para el láser de CO2</i>	17
<i>Figura 6: Creación del haz para el láser de estado sólido</i>	18
<i>Figura 7: Distribución de los puestos de trabajo en planta</i>	23
<i>Figura 8: Operarios taladrando el suelo.....</i>	26
<i>Figura 9: Operarios colocando las vigas-soporte</i>	26
<i>Figura 10: Máquina láser con las vigas-soporte colocadas.....</i>	27
<i>Figura 11: Operarios ajustando el Láser Trudisk</i>	27
<i>Figura 12: Amplificación del haz</i>	31
<i>Figura 13: Partes de la fibra óptica</i>	33
<i>Figura 14: Máquina de corte por láser de estado sólido.....</i>	34
<i>Figura 15: Partes principales del despolvoreador</i>	46
<i>Figura 16: Ángulo de incidencia para láser de estado sólido</i>	51
<i>Figura 17: Ángulo de incidencia para láser de CO2.....</i>	51
<i>Figura 18: Chapa (1) mecanizada en el programa TruTops</i>	58
<i>Figura 19: Chapa mecanizada en el ordenador de la máquina láser</i>	58
<i>Figura 20: Seguimiento del cabezal de corte sobre la chapa en el ordenador.....</i>	59
<i>Figura 21: Imagen del proceso</i>	60
<i>Figura 22: Chapa cortada</i>	63
<i>Figura 23: Chapa (2) mecanizada en Trutops</i>	64
<i>Figura 24: Conjunto de máquina expendedoras de café finalizados</i>	69
<i>Figura 25: Máquina expendedora de café terminada.....</i>	70
<i>Figura 26: Piezas de la puerta dentro de la chapa en el programa TruTops.....</i>	74
<i>Figura 27: Punzonadora agujereando las piezas</i>	77
<i>Figura 28: Plegado de un lateral del conjunto</i>	79
<i>Figura 29: Soldadura por puntos.....</i>	80
<i>Figura 30: Operario uniendo partes del conjunto mediante remaches</i>	81
<i>Figura 31: Piezas saliendo de la etapa de polimerizado</i>	83

<i>Figura 32: Simulación final del proceso</i>	89
<i>Figura 33: Flujo de las piezas</i>	92
<i>Figura 34: Diagrama de conexiones del modelo</i>	93
<i>Figura 35: Simulación con láser de CO2</i>	99
<i>Figura 36: Simulación con láser de estado sólido</i>	100

ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1: Datos generales de TruLaser 1030 fibra</i>	38
<i>Tabla 2: Dimensiones y peso de Trulaser 1030 fibra</i>	38
<i>Tabla 3: Datos generales de TruDisk 2001</i>	39
<i>Tabla 4: Espesores máximos de corte dependiendo del material</i>	39
<i>Tabla 5: Dimensiones de TruDisk 2001</i>	39
<i>Tabla 6: Resumen general del mantenimiento</i>	45
<i>Tabla 7: Tiempo en realizar cada tarea en la empresa TERU</i>	45
<i>Tabla 8: Algunas diferencias entre los dos tipos de corte</i>	50
<i>Tabla 9: Escalas de actividad</i>	55
<i>Tabla 10: Tiempos para un espesor de 1.5mm</i>	59
<i>Tabla 11: Tiempos para un espesor de 2mm</i>	60
<i>Tabla 12: Tiempos para un espesor de 3mm</i>	61
<i>Tabla 13: Tiempos para un espesor de 6mm</i>	61
<i>Tabla 14: Tiempos para un espesor de 4mm</i>	62
<i>Tabla 15: Tiempos para un espesor de 1,5mm. Chapa (2)</i>	64
<i>Tabla 16: Tiempos para un espesor de 3mm. Chapa (2)</i>	65
<i>Tabla 17: Tiempos para un espesor de 4mm. Chapa (2)</i>	65
<i>Tabla 18: Tiempos para un espesor de 6mm. Chapa (2)</i>	65
<i>Tabla 19: Componentes de la puerta</i>	73
<i>Tabla 20: Tiempo en cortar la puerta por láser de estado sólido</i>	74
<i>Tabla 21: Componentes del cuerpo</i>	75
<i>Tabla 22: Tiempo en cortar el cuerpo por láser de estado sólido</i>	76

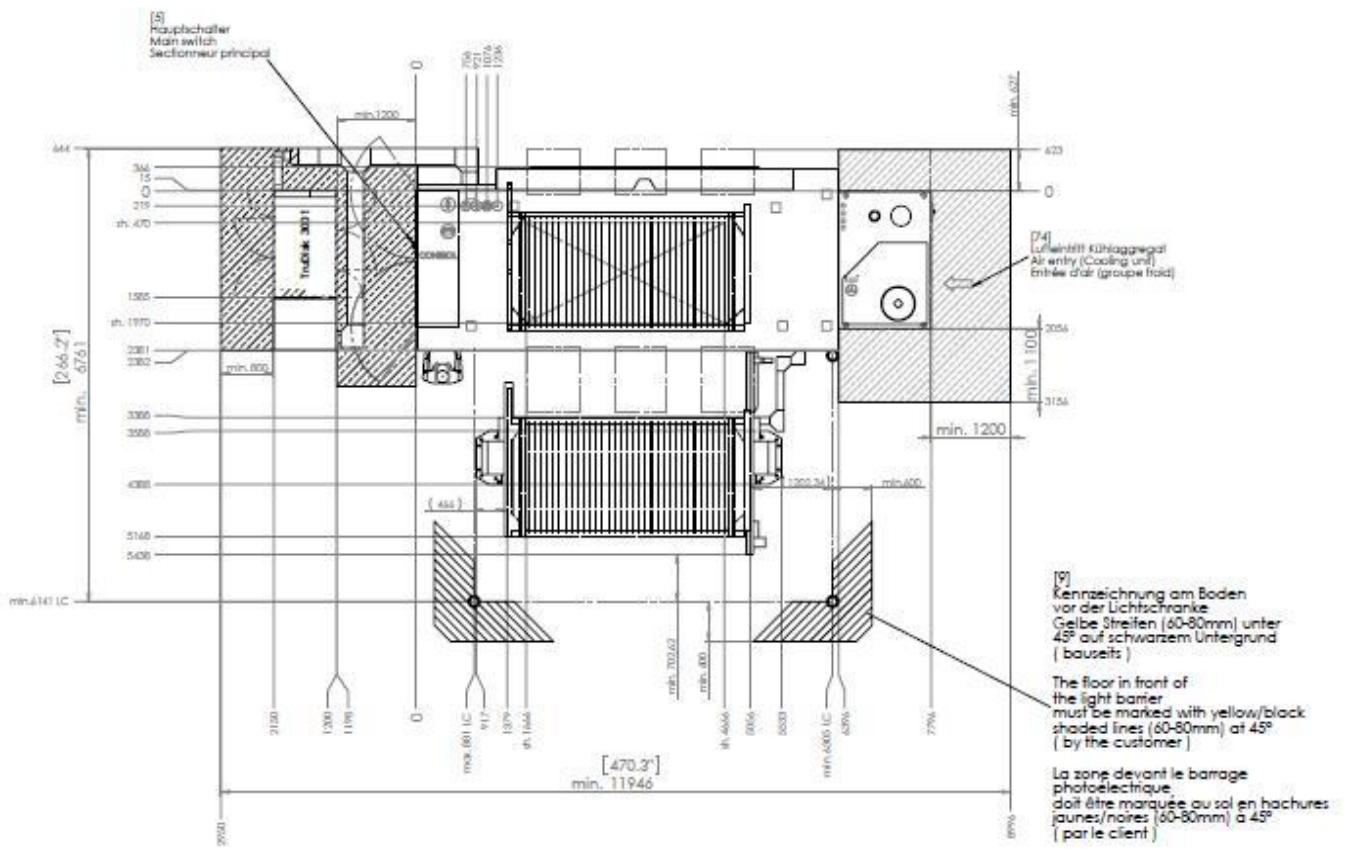
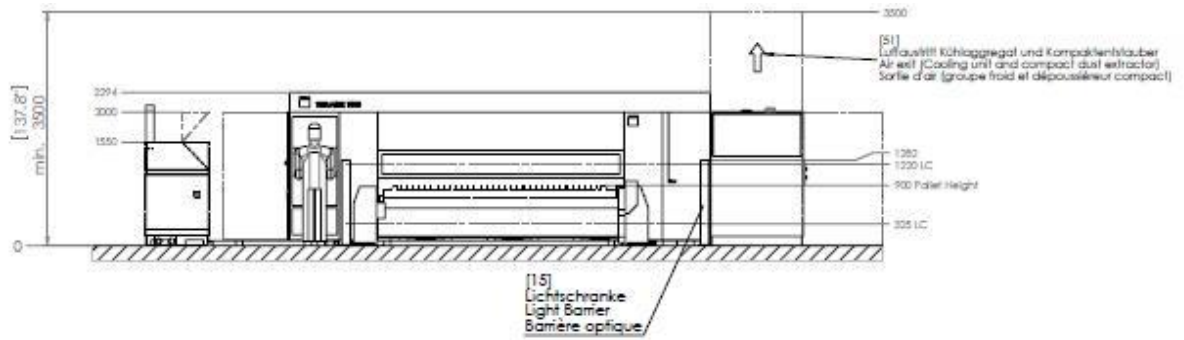
<i>Tabla 23: Tiempo en cortar la puerta por láser de CO2</i>	76
<i>Tabla 24: Tiempo en cortar el cuerpo por láser de CO2</i>	76
<i>Tabla 25: Tiempos recogidos en el punzonado</i>	77
<i>Tabla 26: Tiempos recogidos en el plegado</i>	78
<i>Tabla 27: Tiempos recogidos en el puesto de soldadura</i>	81
<i>Tabla 28: Tiempos recogidos en la cadena de pintura</i>	83
<i>Tabla 29: Tiempos necesarios para el montaje del conjunto</i>	84
<i>Tabla 30: Tiempos recogidos en cada puesto de trabajo y tiempo total transcurrido</i>	88
<i>Tabla 31: Tabla de iconos de los átomos empleados</i>	91
<i>Tabla 32: Configuración de la simulación</i>	95
<i>Tabla 33: Distribución de tiempos en porcentajes (láser de CO2)</i>	95
<i>Tabla 34: Producción por láser de CO2</i>	96
<i>Tabla 35: Distribución de tiempos en porcentajes (láser de estado sólido)</i>	97
<i>Tabla 36: Producción por láser de CO2</i>	98
<i>Tabla 37: Producción total del conjunto en 20 semanas</i>	98

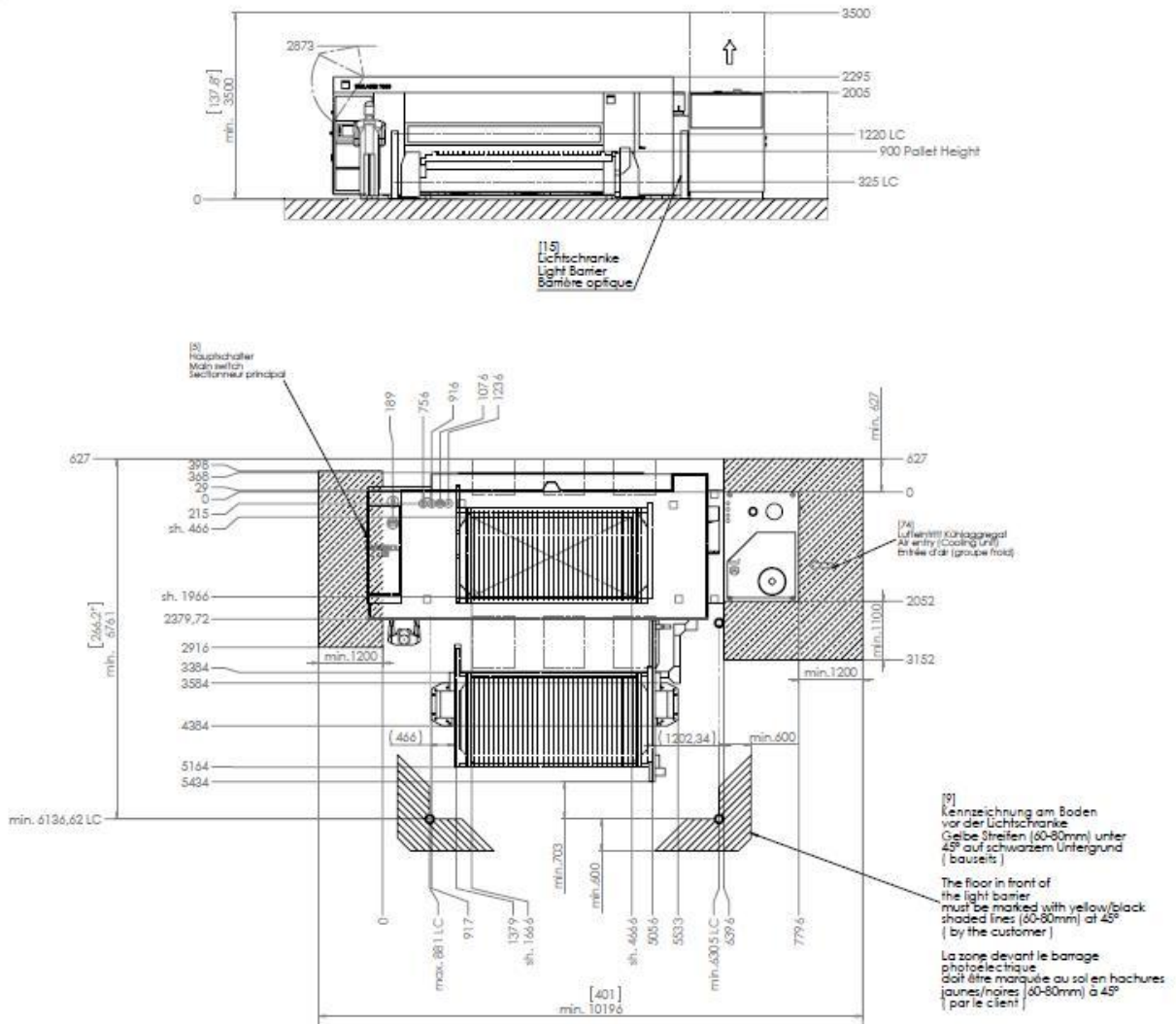
ÍNDICE DE GRÁFICAS

<i>Gráfica 1: Ángulo de incidencia del láser frente a la absorción</i>	52
<i>Gráfica 2: Distribución de tiempos</i>	96

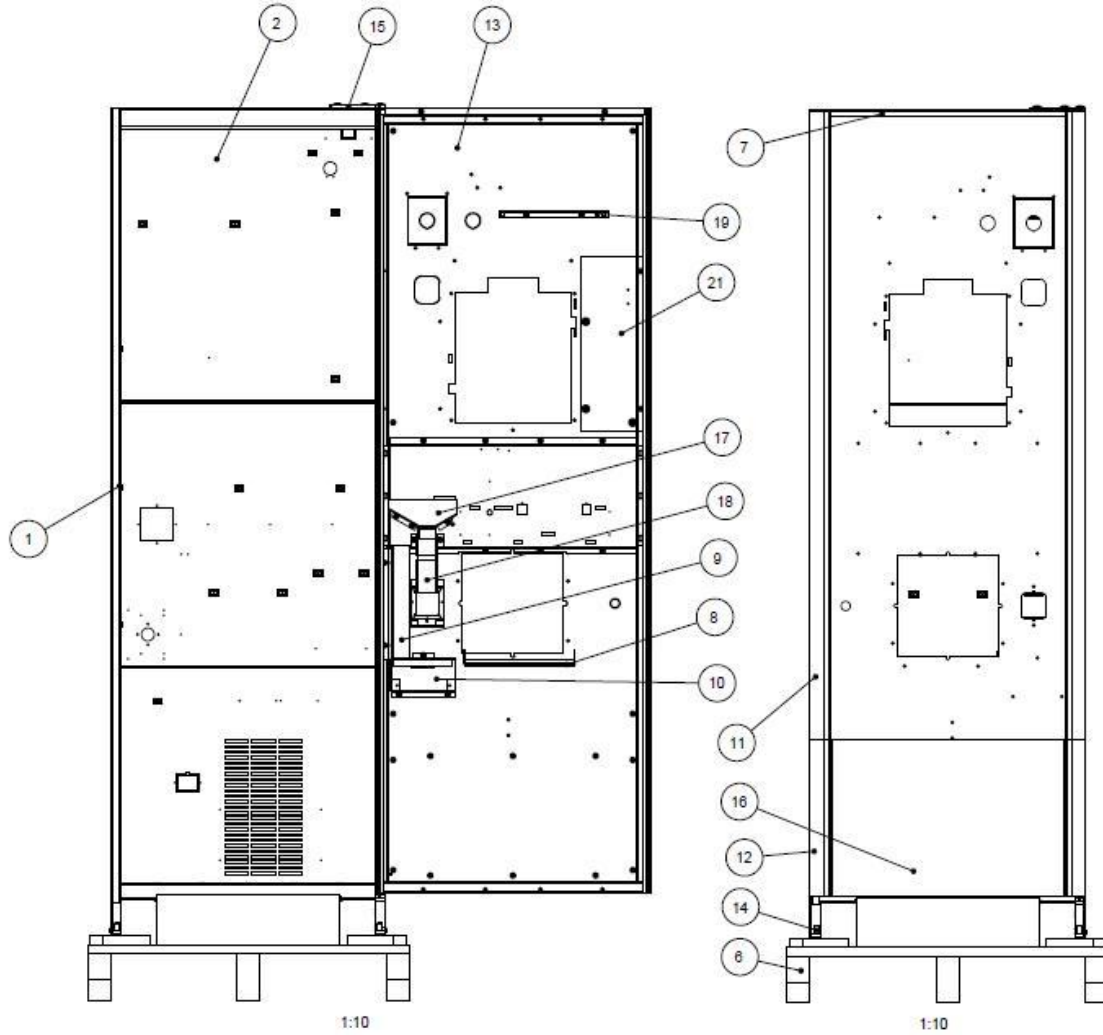
ANEXOS

PLANOS DE LA MÁQUINA





CONJUNTO ARMARIO MÁQUINA EXPENDEDORA DE CAFÉ



PART Nº	REFERENCE	TITLE	QUANTITY			
.	41219071-3	ASSY. CABINET+DOOR	X			
.	41224631-3	ASSY. CABINET+DOOR MT		X		
.	.	.				
.	.	.				
.	.	.				
.	.	.				
1	31198150-0	LOCK POINT	1	1		
2	42005221-2	MUEBLE STEP L	1	1		
3	00002191-0	TUERCA HEXAGONAL C/ARANDELA M4	14	14		
4	00002241-0	TUERCA HEX AUTOSEGURO DIN 985 - M8	2	2		
5	01010181-0	TORN. C/AL 7X1/4 CON ARAN	35	35		
6	14006870-0	PALET NOVARA	1			
	14006890-0	PALET NOVARA MADERA TRATADA		1		
7	31198241-0	COVER DOOR	1	1		
8	31198250-0	GRIL BRACKET	1	1		
9	31198280-0	COIN BOX GUIDE	1	1		
10	31198290-0	COIN BOX BRACKET	1	1		
11	31198401-0	LONG SIDE COVER	2	2		
12	31198411-0	SHORT SIDE COVER	2	2		
13	42105400-1	ASSY. DOOR STL	1	1		
14	42910961-0	CONJUNTO NIVELADOR NEGRO	4	4		
15	42949621-0	SUBC. BISAGRA	1	1		
16	42953351-0	SUBASSY. DOOR	1	1		
17	42953390-0	FUNNEL RECOVERY	1	1		
18	42953400-0	COIN GUIDE RECOVERY	1	1		
19	42953410-0	CUPS ROD BRACKET	1	1		
20	01014301-0	TORNILLO APLASTADO DIN 603 - M-8x20	2	2		
21	31203910-0	BOOSTER PANEL SELCTIONS	1	1		

