



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

# TRABAJO FINAL DE GRADO

## DISEÑO DE UN PLAN DE CONTROL Y ACCIÓN PARA LA ESTABILIZACIÓN DEL PROCESO EN UNA MÁQUINA TRONZADORA DE BARRAS DE LATÓN

**Titulación:** Grado en Ingeniería Mecánica

**Autor:** Iván ROMERO DÍAZ

**Tutor:** Dr. Jose M. SALAVERT FERNÁNDEZ

Valencia, Julio 2018



# ÍNDICE

1. RESUMEN .....	7
2. INTRODUCCIÓN.....	8
2.1.- Introducción a los procesos de fabricación implicados .....	8
2.1.1.- Tronzado.....	8
2.1.2.- Estampación en caliente. ....	12
2.1.3.- Recortado y técnicas de acabado superficial. ....	13
2.1.4.- Mecanizado. ....	14
2.1.5.- Cromado y niquelado. ....	15
2.1.6.- Montaje. ....	16
2.1.7.- Prueba de fuga. ....	16
3. JUSTIFICACIÓN .....	17
3.1.- Consecuencias de los defectos de tronzado en fases posteriores del proceso de fabricación.....	17
3.1.1.- Estampación. ....	17
3.1.2.- Recortado. ....	17
3.1.3.- Mecanizado. ....	18
3.1.4.- Montaje. ....	18
3.1.5.- Prueba de fuga. ....	19
4. OBJETIVOS.....	20
5. DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO DE TRONZADO. ....	21
6. SITUACIÓN DE PARTIDA .....	23
7. METODOLOGÍA. ....	25
8. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS. ....	28
8.1.- Resultados. ....	28
8.1.1.- Máquina 125. ....	29
8.1.2.- Máquina 137. ....	31
8.1.3.- Máquina 166. ....	33
8.2.- Análisis de resultados.....	35
8.3.- Plan general de mantenimiento.....	36
8.3.1.- Descripción del funcionamiento. ....	37
8.3.1.1. Sistema hidráulico.....	37
8.3.1.2. Cargador y alimentador.....	38
8.3.1.3. Sistema de sujeción de barras.....	38



8.3.1.4. Sistema de corte.....	38
8.3.1.5. Sistema de control de medida.....	39
8.3.2.- Codificación de las tareas.....	40
8.3.3.- Estudio de intervenciones y tiempos de actuación.....	41
8.3.3.1. Mantenimiento preventivo diario.....	42
8.3.3.2. Mantenimiento preventivo semanal.....	43
8.3.3.3. Mantenimiento preventivo mensual. ....	44
8.3.3.4. Mantenimiento preventivo semestral. ....	46
8.3.3.5. Mantenimiento preventivo anual. ....	47
8.4.- Control Estadístico de Procesos (SPC).....	50
9. PRESUPUESTOS .....	54
9.1.- Estimación costes actuales.....	54
9.1.1.- Tronzado.....	54
9.1.2.- Estampación. ....	54
9.1.3.- Mecanizado, montaje y fases intermedias.....	55
9.2.- Precios descompuestos.....	56
9.2.1.- Mano de obra.....	56
9.2.2.- Materiales. ....	57
9.3.- Presupuesto total.....	57
10.CONCLUSIONES.....	58
10.1.- Conclusión general.....	58
10.2.- Líneas de investigación futuras. ....	58
11.BIBLIOGRAFÍA.....	61
12.ANEXOS .....	62
12.1.- Anexo 1.....	62
12.2.- Anexo 2.....	78
12.3.- Anexo 3.....	80



# ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Resultados máquina 125.....	29
Tabla 2: Resultados máquina 137.....	31
Tabla 3: Resultados máquina 166.....	33
Tabla 4: Leyenda para la codificación de tareas. ....	41
Tabla 5: Mantenimiento preventivo diario a realizar por un operario. ....	42
Tabla 6: Mantenimiento preventivo semanal a realizar por un operario.....	43
Tabla 7: Mantenimiento preventivo mensual a realizar por un operario.....	44
Tabla 8: Mantenimiento preventivo mensual a realizar por un mecánico. ....	45
Tabla 9: Mantenimiento preventivo semestral a realizar por un mecánico. ....	46
Tabla 10: Mantenimiento preventivo anual a realizar por un mecánico. ....	47
Tabla 11: Mantenimiento preventivo anual a realizar por un electricista.....	48
Tabla 12: Leyenda de rutinas.....	49
Tabla 13: Presupuesto de la mano de obra. ....	56
Tabla 14: Presupuesto de material. ....	57
Tabla 15: Medidas de longitud [mm] del ensayo en máquina 125 estándar con disco nuevo. .....	62
Tabla 16: Medidas de longitud [mm] del ensayo en máquina 125 estándar con disco a 1/2 vida. ....	63
Tabla 17: Medidas de longitud [mm] del ensayo en máquina 125 estándar con disco a final de vida.....	63
Tabla 18: Medidas de masa [g] del ensayo en máquina 125 estándar con disco nuevo. ....	64
Tabla 19: Medidas de masa [g] del ensayo en máquina 125 estándar con disco a 1/2 vida. ....	64
Tabla 20: Medidas de masa [g] del ensayo en máquina 125 estándar con disco a final de vida. ....	65
Tabla 21: Medidas de longitud [mm] del ensayo en máquina 125 a punto con disco nuevo. ....	65



Tabla 22: Medidas de longitud [mm] del ensayo en máquina 125 a punto con disco a 1/2 vida. ....	66
Tabla 23: Medidas de longitud [mm] del ensayo en máquina 125 a punto con disco a final de vida. ....	66
Tabla 24: Medidas de masa [g] del ensayo en máquina 125 a punto con disco nuevo. ....	67
Tabla 25: Medidas de masa [g] del ensayo en máquina 125 a punto con disco a 1/2 vida...	67
Tabla 26: Medidas de masa [g] del ensayo en máquina 125 a punto con disco a final de vida. ....	68
Tabla 27: Medidas de longitud [mm] del ensayo en máquina 137 estándar con disco nuevo. ....	68
Tabla 28: Medidas de longitud [mm] del ensayo en máquina 137 estándar con disco a 1/2 vida. ....	69
Tabla 29: Medidas de longitud [mm] del ensayo en máquina 137 estándar con disco a final de vida.....	69
Tabla 30: Medidas de masa [g] del ensayo en máquina 137 estándar con disco nuevo. ....	70
Tabla 31: Medidas de masa [g] del ensayo en máquina 137 estándar con disco a 1/2 vida.	70
Tabla 32: Medidas de masa [g] del ensayo en máquina 137 estándar con disco a final de vida. ....	71
Tabla 33: Medidas de longitud [mm] del ensayo en máquina 137 a punto con disco nuevo.	71
Tabla 34: Medidas de longitud [mm] del ensayo en máquina 137 a punto con disco a 1/2 vida. ....	72
Tabla 35: Medidas de longitud [mm] del ensayo en máquina 137 a punto con disco a final de vida. ....	72
Tabla 36: Medidas de masa [g] del ensayo en máquina 137 a punto con disco nuevo. ....	73
Tabla 37: Medidas de masa [g] del ensayo en máquina 137 a punto con disco a 1/2 vida...	73
Tabla 38: Medidas de masa [g] del ensayo en máquina 137 a punto con disco a final de vida. ....	74
Tabla 39: Medidas de longitud [mm] del ensayo en máquina 166 con disco nuevo. ....	74



Tabla 40: Medidas de longitud [mm] del ensayo en máquina 166 con disco a 1/2 vida.....	75
Tabla 41: Medidas de longitud [mm] del ensayo en máquina 166 con disco a final de vida.	75
Tabla 42: Medidas de masa [g] del ensayo en máquina 166 con disco nuevo. ....	76
Tabla 43: Medidas de masa [g] del ensayo en máquina 166 con disco a 1/2 vida. ....	76
Tabla 44: Medidas de masa [g] del ensayo en máquina 166 con disco a final de vida. ....	77



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

Iván Romero Díaz



Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

Trabajo Final de Grado



## 1. RESUMEN

En el marco de una empresa dedicada a la fabricación y comercialización de válvulas y accesorios de fontanería, este proyecto está destinado a establecer un plan de control y acción para mantener controlado y dentro de las especificaciones requeridas el proceso de tronzado.

La fase de tronzado se trata del primer paso de todo el proceso de fabricación, que incluye desde el tronzado de barras de latón y estampación en caliente, hasta el montaje final del producto para su posterior comercialización, pasando por mecanizado y diferentes etapas de acabado superficial.

En este proyecto se estudiará el efecto que un mal funcionamiento de las máquinas de tronzado puede tener en el resto del proceso. Además, se estudiará el estado actual de las mismas a través de varios ensayos efectuados en diferentes máquinas y diferentes estados de éstas, de forma que, a partir del análisis de los resultados obtenidos, se pueda elaborar un plan de control y acción que permita mantener estable en el tiempo el proceso de tronzado, evitando defectos de producción.

Por último, se realizará el presupuesto que supondrían estas acciones y se comparará con los gastos con los que actualmente corre la empresa fruto de la situación actual, de manera que quede debidamente justificada su implantación en el proceso productivo.

## 2. INTRODUCCIÓN

Este proyecto nace de la necesidad de control y optimización del proceso de tronzado en una empresa dedicada a la fabricación de válvulas y accesorios de fontanería en la que he estado realizando prácticas durante diez meses. Concretamente, mi trabajo se encuadraba en el departamento de industrialización como técnico de procesos.

La empresa en cuestión es una multinacional valenciana referente en valvulería, que cuenta con dos fábricas productivas, una ubicada en Valencia y otra en el extranjero. Con una exportación dirigida a países de los cinco continentes, la calidad es una de las señas de identidad de esta empresa, y de ahí la importancia de controlar cada fase del proceso de fabricación, evitando tanto defectos en los productos como retrasos o paros en la producción.

La fabricación engloba desde la recepción de la materia prima hasta el montaje final y test de fuga de cada válvula. Así pues, distinguimos entre los siguientes procesos:

- 1- Tronzado.
- 2- Estampación en caliente.
- 3- Recortado y técnicas de acabado superficial.
- 4- Mecanizado.
- 5- Cromado y niquelado.
- 6- Montaje.
- 7- Test de fuga.

### 2.1.- Introducción a los procesos de fabricación implicados

Para entender el funcionamiento del proceso de fabricación y el efecto que pueden tener las posibles irregularidades de una fase en las siguientes, procederemos a la descripción detallada de estos procesos.

#### 2.1.1.- *Tronzado*

Se trata del proceso objeto de este proyecto y consiste en el corte de barras de latón en tochos con las dimensiones adecuadas a la pieza que se pretende fabricar. Todo comienza con la recepción del latón, en formato de barras de diferentes diámetros.

La pieza a fabricar marcará el volumen de material necesario para garantizar su correcto comportamiento en la fase de estampación. El peso objetivo del tocho será función de este volumen, y a partir de él, teniendo en cuenta la densidad del latón, se determinarán los dos parámetros principales a tener en cuenta en esta fase, según las dimensiones y la forma de la pieza: diámetro de barra y longitud de tocho.

El diámetro de la barra se escogerá de entre los modelos disponibles en el mercado, mientras que la longitud del tocho se configurará introduciendo dicho parámetro en la máquina teniendo, en general, una tolerancia de  $\pm 0,4$  mm.

Existen diferentes tipos de máquinas tronadoras, cada uno de los cuales presentan una serie de ventajas e inconvenientes que influirán en aspectos tales como la dispersión de medida que ofrecen o la cadencia del número de piezas a la hora.

### **Tronzadoras de disco**

El corte en estas máquinas se produce mediante el avance de un disco dentado giratorio, por lo que es crucial el correcto afilado del disco. Estas tronadoras [*Imagen 1*] son el objeto del presente proyecto por lo que más adelante se procederá a describir detalladamente tanto la máquina como el proceso en sí; sin embargo, realizaremos ahora una pequeña aproximación a su funcionamiento.



*Imagen 1: Máquinas tronadoras de disco usadas en la empresa.*

Están formadas por tres sistemas fundamentales que son: cargador, alimentador y cabezal de corte. El cargador consta de una bancada en la que se colocan las barras de diámetro adecuado para el lote a producir, para su posterior carga a la zona de alimentación a través de dos tipos de elevación, un tipo es de cadenas y el otro es de cilindros hidráulicos. Cabe destacar que la carga puede ser de dos barras a la vez ya que estas máquinas pueden efectuar el corte a dos barras simultáneamente.

Una vez en el alimentador y mediante unos empujadores, se va desplazando la barra hacia la zona de corte. Existe un balancín que bascula con el empuje de la barra, de forma que, a una medida determinada, los topes de la parte trasera [Imagen 2] activan un detector (en azul) que envía la señal al disco de corte para que suba, produciendo el corte de la barra a dicha medida. Simultáneamente se produce el



Imagen 2: Parte de atrás del balancín de medida.

accionamiento de las mordazas [Imagen 3], que sujetan la barra para evitar desplazamientos o vibraciones que afectarían a la medida del tocho. Una vez hecho el corte y el disco vuelve a su origen, los empujadores vuelven a desplazar la barra para repetir el mismo procedimiento.



Imagen 3: Bancada y mordazas.

Al quedar la barra con una longitud insuficiente para generar otro tocho, se desecha el despunte producido y el cargador introduce la/s siguiente/s barra/s.

En cuanto al disco de corte, cabe destacar la importancia de su correcto estado y afilado para evitar irregularidades en el corte de los tochos. Estos discos pueden ser HSS (High Speed Steel) o los denominados “discos con placas de corte”, teniendo estos últimos plaquitas de metal duro en cada diente. Aunque el mercado tiende a demandar más este último tipo de discos por las ventajas que presenta, para la aplicación y condiciones que se tienen en esta empresa, el disco que se usa fundamentalmente es el HSS.



*Imagen 4: Disco de plaquitas (izquierda) y HSS (derecha).*

En la *imagen 4* se puede observar la diferencia entre un disco HSS y de plaquitas, pudiendo apreciar a simple vista en este último la zona de metal duro.

Las grandes bazas que presenta este tipo de tronzadoras son su sencillez y rapidez, generando una cadencia de piezas/hora bastante alta (en torno a 6.000, según dimensiones).

Por otro lado, como inconvenientes podemos destacar la generación de viruta al realizar el corte [*Imagen 5*] que, pese a que parte de este material se puede recuperar y reciclar, no deja de suponer un cierto gasto económico al no poder recuperar el 100% del material perdido. También es reseñable la necesidad que presentan estas máquinas de cambiar el disco de corte frecuentemente debido a su desgaste. En nuestro caso, este cambio se realiza, aproximadamente, cada 8 horas de uso continuo de la máquina o 40.000 cortes.



*Imagen 5: Viruta generada en el corte.*

### **Tronzadoras de cizalla**

Las tronzadoras de corte por cizalla pueden operar con barras en caliente o en frío. Respecto a las de disco, las tronzadoras de cizalla presentan una ventaja fundamental que es la ausencia de viruta en el corte. Al contrario que en el caso anterior, el corte por cizalla no genera viruta, por lo que presenta un mayor ahorro en el material utilizado y menores problemas de suciedad por este motivo.

En función de la modalidad de corte (barra en frío o en caliente) hay que tener en cuenta diversas consideraciones:

- Caliente: De esta forma la dispersión en la medida de corte es menor, aunque existe la obligación de anexionar a la máquina un horno que caliente la barra a la temperatura adecuada justo antes del corte.
- Frío: En este caso no es necesario el horno, aunque tendremos una mayor dispersión en las medidas debido a una mayor irregularidad en la zona de corte.

### **2.1.2.- Estampación en caliente.**

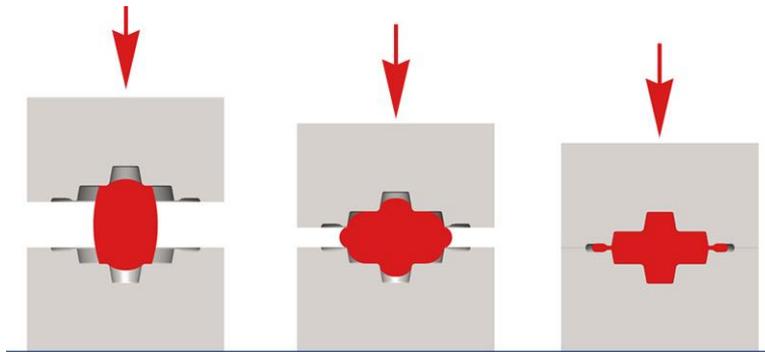
En esta fase se calientan los tochos a alta temperatura para someterlos a deformación plástica entre matrices en las que se ha realizado en huecograbado el molde de la pieza deseada. Este proceso se produce en prensas excéntricas [Imagen 6], que llevan incorporados hornos industriales a gas natural, capaces de calentar varias filas de tochos a la vez.

En el horno, mediante la acción directa de la llama, se calientan los tochos a una temperatura aproximada de 750°C. Una vez a la temperatura óptima, un brazo robot se encarga de colocar el tocho en la matriz y se activa la bajada de la prensa. Con el golpe, entran los punzones, creando las oquedades de la válvula, para posteriormente retirarse y entrar en funcionamiento los expulsores. Estos expulsores, de grafito (solución de aceite –viscosidad SAE80/SAE90- con partículas de grafito disueltas en suspensión en un porcentaje aproximado del 5%), permiten que la válvula estampada se desprege de la matriz, caiga sobre una rampa que en ese momento se coloca automáticamente debajo de la pieza y salga hacia una cinta que la transportará hasta un contenedor. En este recorrido por la cinta, la pieza debe enfriarse lo suficiente para que al llegar al contenedor no se produzca ningún desperfecto debido al comportamiento más blando del material a causa de su alta temperatura. Este enfriamiento se puede producir por convección natural con el aire del ambiente, o bien ayudado por ventiladores instalados en la cinta que provoquen un flujo más intenso de aire. Opcionalmente,



*Imagen 6: Prensa excéntrica.*

se puede instalar una malla al final de la cinta para suavizar la caída de las piezas al contenedor y evitar así, en mayor medida, los posibles desperfectos antes referidos.



*Imagen 7: Momento del golpe de prensa.*

Respecto a las matrices, éstas se diseñan con balsas de acumulación colocadas de forma que el material sobrante fluya hacia estos lugares, consiguiendo de esta manera que la distribución y geometría de la rebaba generada en la

estampación sea la idónea en vistas a la fase de recortado. En la *imagen 7* se puede apreciar el momento de la bajada de la prensa, en el que se empiezan los huecos de la matriz. En este momento los punzones entrarían para conformar las oquedades de la pieza.

### **2.1.3.- Recortado y técnicas de acabado superficial.**

En esta fase del proceso se pretende eliminar las rebabas procedentes del proceso de estampación. Estas rebabas se producen por el flujo de material entre las matrices superior e inferior.

El recortado se lleva a cabo en máquinas recortadoras. En estas máquinas se colocan las piezas en una base, denominada "plato recortador", con un hueco hecho con la forma de las mismas. Después, un útil macho, también con la forma de la pieza y bordes afilados, empuja la pieza a través del hueco, cortando las rebabas y saliendo la pieza por debajo.

Se disponen de dos tipos de máquinas recortadoras, a saber, automáticas y manuales:

- Automáticas: las máquinas automáticas disponen de brazos robot que cogen la pieza y la depositan en una de las cuatro bases de un plato giratorio. Al girar la base hasta la posición en la que se encuentra el útil empujador, se produce el corte y la pieza se deposita en un contenedor. En este caso, las únicas operaciones a realizar por los operarios son la carga del contenedor de piezas estampadas en la máquina, y la retirada del contenedor de las piezas recortadas.
- Manuales: El funcionamiento es el mismo que en el caso anterior, con la diferencia que la colocación de las piezas en las bases del plato la realiza un operario

manualmente, por lo que en esta ocasión se hace necesaria la presencia de un operario durante todo el proceso.

Este tipo de recortadoras se utilizan en casos en los que, por la singular geometría de la pieza o por su elevado peso y las inercias que provocaría, no sea posible manipular con robot a la cadencia que exige una recortadora automática.

Una vez las piezas han sido recortadas, en función de las características del producto final, se someten a diversos tratamientos tales como granallado, vibrado, pulido, recocido... Al final de este proceso, la pieza puede tener el acabado superficial definitivo que tendrá el producto final, o bien estar preparada para la posterior fase de cromado y niquelado.

#### **2.1.4.- Mecanizado.**

Este proceso incluye el conjunto de operaciones de conformado de piezas mediante arranque de viruta, realizado en este caso en máquinas transfer, como la que se puede apreciar en la *imagen 8*. Este tipo de máquinas cuentan con unos tiempos de preparación elevados, pero por otro lado proporcionan una buena cadencia de piezas/hora, por lo que son ideales para grandes lotes.



*Imagen 8: Máquina transfer.*

Estas máquinas constan de varias estaciones de mecanizado sucesivas, en las que las piezas van siendo mecanizadas (varias piezas en distintas etapas son mecanizadas simultáneamente), de forma que los tiempos de mecanizado de cada estación se superponen. Incluyen también una estación de carga y otra de descarga, cuyas operaciones se llevan a cabo en la misma secuencia que las operaciones de mecanizado.

En esta empresa se dispone de máquinas Gnutti, que son de tipo rotativo, en las que un plato giratorio hace que la pieza siga un recorrido circular, pasando a través de un cierto número de estaciones en las que se van haciendo las distintas etapas del mecanizado.

El plato giratorio o torre está dividido en sectores espaciados angularmente. En cada sector se ubica un dispositivo porta-pieza donde se sitúan las mordazas, de tal manera que cada pieza se localice sucesivamente en una estación de mecanizado. Dependiendo de los procesos de mecanizado que deban realizarse a la pieza, puede darse la situación de que en alguna de las estaciones no se encuentre montada ninguna unidad de mecanizado, por lo que, aunque las piezas paren también en dicha estación, no se realizaría mecanizado sobre ella. En función de la máquina, el plato podrá girar a derechas o a izquierdas.

En cada estación del plato hay una mordaza cuya finalidad es la de sujetar la pieza a mecanizar, por lo que en cada plato habrá tantas mordazas como estaciones. El conjunto de la mordaza está compuesto por los siguientes componentes: cilindro, patines, portamordazas y mordazas.

La mordaza propiamente dicha va sujeta al portamordazas y contiene la figura en negativo de la pieza a mecanizar, con el fin de garantizar la completa sujeción de la pieza a lo largo de su mecanizado.

### **2.1.5.- Cromado y niquelado.**

Como ya se ha referido anteriormente, según las características del producto final, se puede hacer necesario realizar un baño de cromo y/o níquel a las piezas mecanizadas.



*Imagen 9: Ejemplo de instalación de baños de cromado y niquelado.*

Este proceso se realiza en grandes instalaciones [Imagen 9] que constan de varias “bañeras”, cada una de las cuales está llena de distintos productos: desengrasantes para limpieza de piezas, cromo, níquel...

Al llegar las piezas al inicio de este proceso, se colocan en bastidores que las llevarán automáticamente a lo largo de los baños necesarios en cada caso,

manteniéndolas sumergidas durante el tiempo requerido.

Una vez han pasado estos bastidores por los baños necesarios, se retiran manualmente las piezas y se depositan en un contenedor, a la espera de la fase de montaje.



### **2.1.6.- Montaje.**

El proceso de montaje se puede realizar total o parcialmente en máquinas automáticas o de forma manual. En cualquier caso se requiere el uso de utillaje específico según los componentes que integren el producto en cuestión. En función del producto final que se esté produciendo, el montaje puede incluir partes tales como roscado de piezas, montaje de juntas, ejes, bolas...

Este utillaje está diseñado para las piezas según su plano, por lo que, aunque se admite cierta tolerancia, es importante la adecuación de las piezas a su plano, ya que de otra manera puede verse comprometido el montaje de la válvula, dando lugar a fugas o, incluso, la imposibilidad de completar el proceso.

### **2.1.7.- Prueba de fuga.**

Como se ha dicho, una de las señas de identidad de esta empresa es su compromiso por la calidad del producto. Por ello, en aras de garantizar el buen funcionamiento de cada válvula en condiciones de servicio, se realizan pruebas de fuga a todas ellas una vez montadas para verificar que son completamente estancas de acuerdo con las exigencias adoptadas, que pueden basarse en una norma determinada o en las directrices del departamento de calidad.

Una vez superada esta prueba, la válvula queda lista para su envasado y posterior comercialización, poniendo fin a un proceso de fabricación en el que, como vemos, es imprescindible controlar la precisión en cada fase para el correcto desarrollo de todo el proceso.

### **3. JUSTIFICACIÓN**

Hay que destacar pues la importancia de que cada proceso funcione con la máxima precisión posible y siempre dentro de las tolerancias admitidas, a fin de no afectar negativamente a posteriores fases del proceso de fabricación, con las consiguientes pérdidas de tiempo o económicas.

#### **3.1.- Consecuencias de los defectos de tronzado en fases posteriores del proceso de fabricación.**

Concretamente, la exactitud en el proceso de tronzado resulta crucial al tratarse de la primera fase de todo el proceso. Así, una producción que proporcione tochos de medidas irregulares y/o fuera de la tolerancia admitida puede provocar diversos problemas en el resto del proceso, los cuales se detallan a continuación, clasificados según la fase del proceso en la que nos encontremos.

##### **3.1.1.- Estampación.**

Un exceso de material en los tochos puede provocar exceso de rebaba o deformaciones en las piezas estampadas, además de piezas más gruesas de lo normal. Por otro lado, una falta de material puede desembocar en el mal cuajado de las piezas, aparición de grietas o en que las piezas sean más delgadas de lo aceptable.

En las prensas excéntricas, a diferencia de las hidráulicas, la entrada de los punzones se realiza mecánicamente en el mismo movimiento del golpe de la prensa, por lo que está calibrado para una medida específica del tocho. Si esta medida difiere del estándar, el efecto de los punzones puede no ser el adecuado, provocando aún más irregularidades en las piezas, producto de una falta de control absoluta de la fluencia del material en el interior del molde.

Esto es una característica propia de este tipo de prensa, siendo el funcionamiento de las prensas hidráulicas más favorables para el control de la estampación. En estas, el molde se cierra completamente para efectuar el modelado interior a través de los punzones.

##### **3.1.2.- Recortado.**

Esta fase es especialmente sensible al grosor que haya podido adoptar la pieza tras la estampación, ya que si la pieza es demasiado delgada, es posible que el recortado no elimine toda la rebaba; y para el caso de una pieza gruesa, se pueden tener problemas al no encajar la pieza en los útiles, o que, al existir más rebaba de lo normal, al producirse el corte quede una zona plana en lugar de quedar con su forma original.

Evidentemente, en esta fase se puede encontrar cualquier tipo de problema al tratar con piezas defectuosas con acabado irregular o grietas que, especialmente en el caso de las recortadoras automáticas, podrían suponer paros en la producción y/o que la pieza defectuosa no sea detectada y pase a la siguiente fase.

### **3.1.3.- Mecanizado.**

Si se parte de la base de que todo el sistema de sujeción funcione correctamente, hay que prestar especial atención a que la pieza esté dentro de las tolerancias admitidas para asegurar su buen mecanizado a lo largo de las estaciones. De lo contrario, si la pieza difiere demasiado en geometría o dimensiones del estándar, las mordazas podrían no cumplir su función, dando lugar a que la pieza se mueva con el paso de las estaciones o a que quede fijada en una mala posición, lo que, además, provocaría que el error cometido en el mecanizado se vaya acumulando a lo largo de las estaciones.

Se pueden encontrar defectos tales como agujeros desplazados, bordes demasiado gruesos o delgados, grietas...

Salvo defectos graves que se puedan detectar fácilmente a simple vista, el mecanizado fuera de medida es más complicado de advertir por el operario, por lo que en estos casos es, además, muy probable que las piezas pasen a las siguientes fases con un defecto que ya, generalmente, no se detectaría hasta la fase de montaje o incluso fuga.

De hecho, otro problema ligado a estas máquinas radica en que, al tener una cadencia de producción alta, es más probable que un mayor número de piezas defectuosas pasen a la siguiente fase sin ser detectadas.

### **3.1.4.- Montaje.**

En esta fase se detectarán los defectos que, por ser imperceptibles a simple vista y haber sido ignorados en el autocontrol, hayan favorecido que la pieza afectada haya llegado hasta aquí, si bien en este caso nos encontramos ante defectos más constructivos que funcionales, por lo que en su mayoría serán piezas que se podrán comercializar.

En el peor de los escenarios, si por cuestiones de calidad o imposibilidad de ensamblaje se decide que la pieza no es válida, habría que desecharla, con todas las consecuencias que ello implica: menos piezas producidas, pérdidas de tiempo, material y recursos humanos empleados en todas las fases anteriores... En el caso de las máquinas automáticas, se pueden producir enganches que paralicen la producción durante el tiempo que cueste volver a poner la máquina en funcionamiento en condiciones adecuadas.



De otra forma, siempre que sea posible y viable, se puede recurrir a adaptar un proceso o utillaje provisional para culminar el montaje de las piezas afectadas. Igualmente, y aunque finalmente se haya conseguido comercializar estas piezas, la adaptación a las piezas afectadas conlleva un gasto económico (personal, material...) y de tiempo que no siempre es asumible en función de las necesidades de producción y las exigencias de los clientes.

### **3.1.5.- Prueba de fuga.**

Es posible que, pese a llegar a haber montado la válvula completamente, hayan existido problemas o no en fases anteriores, se detecte en esta fase que la pieza no es válida. Esto puede ser debido a la existencia de rebabas, grietas o medidas fuera de tolerancia, por ejemplo, que no se hayan detectado en las fases anteriores. Las piezas que fugan son un porcentaje despreciable del total de producción pero son, en general, desechadas junto con todos los elementos incluidos en el montaje (mandos, juntas, ejes...).



#### **4. OBJETIVOS**

Habiéndose estudiado las consecuencias derivadas de un proceso de tronzado no controlado, se entiende la necesidad de establecer un plan de control y estabilización de este proceso que nos permita evitar la producción de piezas defectuosas que comprometan el resto de las operaciones, así como la optimización del proceso en sí, estableciendo plazos y condiciones para la realización de las acciones necesarias sobre las máquinas.

Así pues, el objetivo de este proyecto no es otro que el de diseñar e implantar una rutina de actividades, operaciones y controles sistemáticos y periódicos para alcanzar esta meta. Esto implica el desarrollo de un ambicioso y exhaustivo plan de mantenimiento preventivo tras haber estudiado el funcionamiento de cada elemento de la máquina que influya en la medida final.

La implantación de estas medidas permitirá tener la capacidad de ser previsores en cuanto a recursos materiales y humanos a utilizar en el mantenimiento, evitando pérdidas de tiempo por falta de stocks o disponibilidad. Además, se conseguirá un nivel de precisión en el proceso que garantice unas dimensiones adecuadas a cada pieza y evite los posibles problemas, ya expuestos, que se podrían presentar en fases posteriores. Al tratarse del inicio de todo el proceso de fabricación resulta crucial mantener un excelente nivel de calidad en el corte que reduzca al máximo la probabilidad de que una pieza en mal estado siga avanzando por las fases siguientes, con el respectivo coste de tiempo y económico que pueda generar.

## 5. DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO DE TRONZADO.

Las máquinas tronadoras que se utilizan para el corte de barras de latón son del modelo Adige X2. Estas máquinas son relativamente antiguas, lo que ha favorecido que la variabilidad en las características de las piezas producidas haya ido en aumento con los años. Esto viene dado por un desgaste mayor de sus componentes y una necesidad más frecuente de reajustar elementos, aunque se asume que todo ello es subsanable a través de un correcto mantenimiento de las mismas.

A continuación, se describe el funcionamiento de estas máquinas, así como los componentes que presenta, en general, y las piezas que son objeto de mantenimiento, en particular.

Como ya se ha visto brevemente en el apartado de *Introducción*, el proceso empieza en los cargadores de la máquina, los cuales se ocupan de cargar una o dos barras en el alimentador. Una vez aquí, existen unas lanzas [Imagen 10], que montadas sobre unas cadenas, empujan la barra hacia la zona de corte. El avance se detendrá en el momento en el que la barra toque el tope de medida que hay en dicha zona, de forma que el balancín haga que los tornillos posteriores realicen tope mecánico con el detector (existe un freno para reducir la brusquedad del golpe y salvaguardar los componentes). En este momento, el detector debe mandar una señal para que las mordazas sujeten la barra. Para ello, es fundamental que el detector esté bien ajustado para generar la señal cuando detecte la placa de los tornillos a una distancia igual a la que quede cuando los tornillos lleguen a su tope.



Imagen 10: Lanzas empujadoras.

Al producirse la bajada de las mordazas, se mueve una plaquita que, una vez sujetas las barras, tocaría a un detector que daría la señal de subida del disco. Igualmente, es importante que este sistema esté bien calibrado, de forma que la placa toque el detector siempre que las mordazas hayan sujetado la barra completamente.

Existen dos detectores electrónicos que definen los finales de carrera del disco. Éste sube para hacer el corte hasta que se detiene al llegar al detector, momento en el que vuelve a bajar hasta encontrarse con el otro detector. Para definir la altura a la que debe llegar el disco al subir o dónde debe quedarse al bajar, existe un regulador [Imagen 11] que permite

mover los detectores hacia arriba o abajo según las necesidades. Por ejemplo, si existiera rebaba en el corte de los tochos, conviene subir la altura del disco a fin de evitar este problema. Para ajustar la velocidad de corte (velocidad de avance del disco para efectuar el corte), existe otro regulador que vendría a variar la velocidad del motor eléctrico y, a través del sistema de poleas y el cilindro hidráulico, la del propio disco.



*Imagen 11: Reguladores de fin de carrera (izq.) y de velocidad de corte (dcha.).*

En estas máquinas se pueden cargar programas predefinidos en los que se guardan tres variables: despunte inicial, con el que indicamos qué porción del principio de la barra deseamos (no es necesario para barras torneadas ya que en este caso se pueden aprovechar los extremos); longitud, que se trata de la medida objetivo para los tochos que se pretenden producir; y número de piezas a fabricar. En nuestro caso, estos programas se suelen cargar manualmente, definiendo los parámetros para cada lote, a excepción de los programas relacionados con tochos de piezas que se fabrican continuamente, los cuales se mantienen cargados en la memoria de la máquina.

## 6. SITUACIÓN DE PARTIDA

Actualmente, en la empresa no se sigue ningún sistema de mantenimiento en particular, limitándose el departamento de mantenimiento a realizar las acciones pertinentes sobre las máquinas cuando se produce algún fallo, se detecta alguna anomalía o se decide que los defectos de producción son inadmisibles.

Esto, unido al hecho de que estamos ante máquinas antiguas cuyos componentes acusan aún más el paso del tiempo, reporta un gran gasto tanto por los problemas derivados del mal funcionamiento de la máquina como por la realización de unas intervenciones no planificadas que además se alargan en el tiempo bastante más de lo necesario debido sobre todo a la falta de stock, con la consiguiente pérdida de productividad de la máquina.

El principal problema que se tiene en el proceso de tronzado es la dispersión que podemos llegar a encontrarnos en las medidas de los tochos de un mismo lote.

Estas irregularidades en la longitud de los tochos se pueden clasificar, por su origen, en:

- Irregularidades provocadas por desgaste de disco.

Un disco de corte nuevo y recién afilado va a proporcionar los mejores resultados tanto en el acabado del corte como en la medida final del tocho. Sin embargo, con el paso de los cortes, el disco se va dañando y perdiendo eficacia, por lo que, progresivamente, la dispersión en las medidas irá en aumento al tiempo que el acabado de corte se hace más irregular (mordidas, cortes en diagonal, rebabas...), hechos que a la larga pueden llegar a apreciarse auditivamente.

El efecto colateral del desgaste de los discos es la necesidad de un mayor control de forma continua por parte del operario con elementos de medida manuales que no siempre tienen la exactitud necesaria para garantizar los resultados deseados, de forma que no puedan pasar a la siguiente fase tochos con medidas fuera de tolerancia. En última instancia, se puede detectar el desgaste excesivo del disco a través del sonido emitido en los cortes, que pasa a ser más grave.

- Irregularidades provocadas por desgaste o desajuste del resto de elementos móviles de la máquina.

Aquí se engloban el resto de elementos de la máquina que, si bien no necesitan una sustitución casi diaria como en el caso del disco, sí que tienen un desgaste más o menos lento que acaban derivando en el aumento de la dispersión en la longitud de



los tochos. Estos elementos, que forman parte de los sistemas descritos anteriormente, son los que se someterán a un plan de mantenimiento tal que se evite llegar a un punto que nos lleve a obtener tochos fuera de tolerancia.

## 7. METODOLOGÍA.

Para comenzar este proyecto se ha estudiado tanto el tipo de problemas que acarrea el mal funcionamiento de las máquinas de tronzado como sus posibles orígenes. Se ha visto, además, las consecuencias que pueden tener estos defectos en fases posteriores del proceso de fabricación.

Una vez identificados el origen de los problemas, en primer lugar se ha confirmado el efecto de las máquinas en la dispersión de los tochos, realizando un total de quince ensayos repartidos en tres de las máquinas tronzadoras de la empresa. Dos de ellas son máquinas gemelas (nº 125 y nº 137) en las que se ha sacado un muestreo de tochos para tres partes de la vida de un mismo disco de corte (trescientos tochos cortados con disco nuevo, otros tantos a la mitad de vida del disco y otros trescientos cortados justo antes de desecharlo). De esta forma, se podrá discernir qué parte de la dispersión producida es atribuible al desgaste del disco o al resto de componentes de las máquinas que pueden influir en la medida de las piezas. Estos ensayos se han realizado con las máquinas en las condiciones en las que estaban al comienzo de este proyecto y después de haberlas puesto a punto (componentes nuevos, revisados y debidamente ajustados). Además, se han efectuado las mismas pruebas en una máquina nueva (nº 166) para verificar la diferencia de capacidad del proceso respecto a las anteriores en su estado inicial.

Una vez producidas las muestras, se han medido en longitud y en masa para el posterior análisis de datos. Como se ha visto anteriormente, son dos valores relacionados entre sí, por lo que el análisis se centrará principalmente en la longitud ya que es el dato que marcamos en la máquina como objetivo y conocemos la tolerancia. El análisis de masa se realizará para confirmar las tendencias vistas en el de longitud, viendo que efectivamente, son parámetros proporcionales. En el *Anexo 1* se muestran las tablas con todos los datos tomados en los diferentes ensayos.

Usaremos métodos estadísticos para el manejo de estos datos, por lo que procederemos a dar una breve descripción de los conceptos utilizados.

- Media muestral: es la resultante de la suma de los valores obtenidos, dividido por el número de datos (media aritmética de los valores).
- Desviación típica [*Ec. 1*]: es una medida de la dispersión y se define como la raíz cuadrada de la varianza de la variable.

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

[Ec.1]

- Media poblacional. Se obtiene resolviendo la ecuación de Gauss para los valores obtenidos en el ensayo.
- Rango o recorrido: es la diferencia entre el valor máximo y mínimo de los datos obtenidos. Pese a que se puede ver alterado por eventuales datos anómalos, nos da información acerca de la variabilidad de las medidas.

Mediante la media poblacional obtenemos información sobre el posicionamiento medio de los datos respecto a los valores de referencia o especificados, mientras que el de dispersión nos informa de la concentración existente de los datos alrededor de la media. Se ha de tener en cuenta la variabilidad inherente al proceso que, independientemente de lo bien diseñado que esté o lo adecuado de su mantenimiento, existirá como consecuencia de causas fortuitas que resultan inevitables. Este hecho indica que el valor de dispersión nunca llegará a 0, lo que significaría que todos los valores son el mismo, sino que existirá una pequeña variación fruto de esta variabilidad natural.

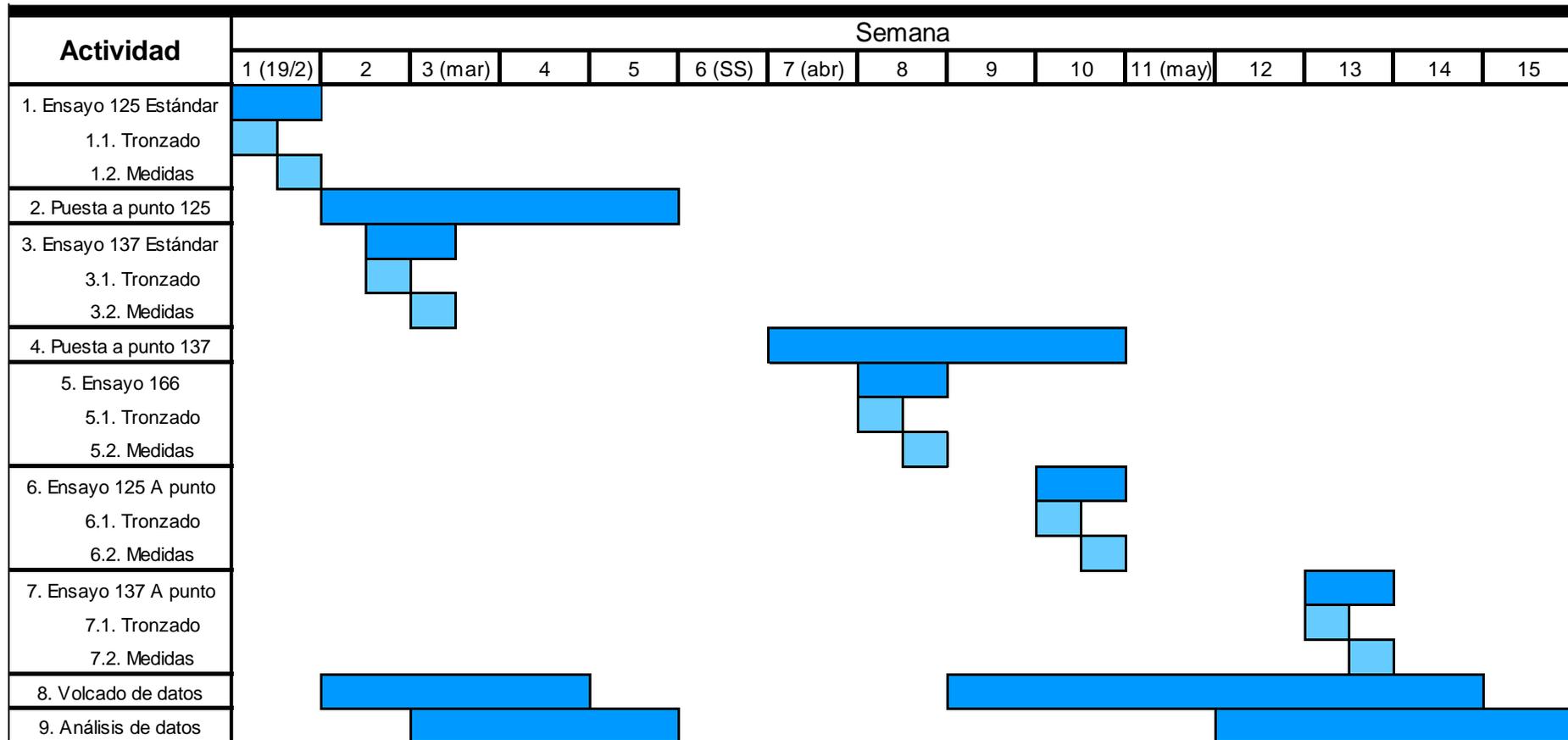
El objetivo, pues, es que el valor de la media poblacional se ajuste lo máximo posible al valor nominal de cada lote, aunque siempre se configura la máquina para que quede un poco por encima de este valor, ya que es preferible que los tochos se pasen de medida a que se queden cortos. Por otro lado, es preciso que la dispersión sea la menor posible, de forma que el 100% de los tochos queden dentro de la tolerancia admitida para el lote y se pueda decir que el proceso está bajo control.

Con toda esta información, se ajustarán los datos a una distribución normal, que se representarán en gráficas en las que se podrá observar de forma más visual cuál es la situación de cada máquina al tiempo que vemos las variaciones que se presentan debido al desgaste del disco.

A partir del análisis de estas pruebas, se podrá establecer un plan de control en base al cual decidir el momento óptimo para realizar un cambio de disco, por un lado; y por otro, diseñar un plan de mantenimiento para el resto de componentes que aseguren una producción que se encuentre siempre dentro de los límites de la tolerancia admitida.

En la *imagen 12* se muestra un diagrama de Gannt con la programación semanal de los ensayos y análisis realizados.

Imagen 12: Diagrama de Gannt para la planificación de ensayos en las máquinas tronzadoras.





## **8. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.**

En este apartado se expondrán los datos obtenidos de los ensayos y se realizará un análisis de los mismos para posteriormente elaborar el plan de acciones requerido.

### **8.1.- Resultados.**

Los datos obtenidos se exponen a continuación para cada una de las máquinas. En cada tabla se reflejan los resultados para la máquina estándar o a punto, en el caso de las antiguas; y para cada momento de la vida del disco de corte.

Las medidas de longitud han sido medidas con una sonda digital de profundidad, con una precisión de  $\pm 0,001$  mm; mientras que las medidas de masa se han realizado con una báscula de precisión  $\pm 0,1$  g. En todos los casos, la tolerancia en longitud es de  $\pm 0,4$  mm y el diámetro de la barra ha sido de 17 mm.

Iván Romero Díaz

Trabajo Final de Grado

**8.1.1.- Máquina 125.**

- Longitud nominal: 62,5 mm.

- Fecha ensayo máquina estándar: 19/02/18.

- Fecha ensayo máquina a punto: 24/04/18.

Tabla 1: Resultados máquina 125.

Máquina:	125											
Condición:	Estándar						A punto					
Ensayo:	Longitud			Masa			Longitud			Masa		
Disco:	Nuevo	1/2 vida	Final vida	Nuevo	1/2 vida	Final vida	Nuevo	1/2 vida	Final vida	Nuevo	1/2 vida	Final vida
Media aritmética [mm / g]:	62,90	63,20	63,14	119,94	120,50	120,39	62,58	62,69	62,75	119,29	119,50	119,60
Desviación típica ( $\sigma$ ):	0,1825	0,1902	0,2526	0,3502	0,3633	0,4821	0,0804	0,0918	0,1041	0,1563	0,1818	0,2160
Media pob. [mm / g]:	62,90	63,20	63,14	119,90	120,50	120,40	62,58	62,69	62,75	119,30	119,50	119,60
Rango [mm / g]:	0,92	0,90	1,21	1,70	1,70	2,30	0,38	0,43	0,54	0,80	1,00	1,10
% fuera de tolerancia:	49%	92%	84%	-	-	-	0%	0%	8%	-	-	-

Iván Romero Díaz

Trabajo Final de Grado

Imagen 13: Distribución de datos de longitud (izq.) y masa (dcha.) para la máquina 125 **estándar** y diferentes estados del disco.

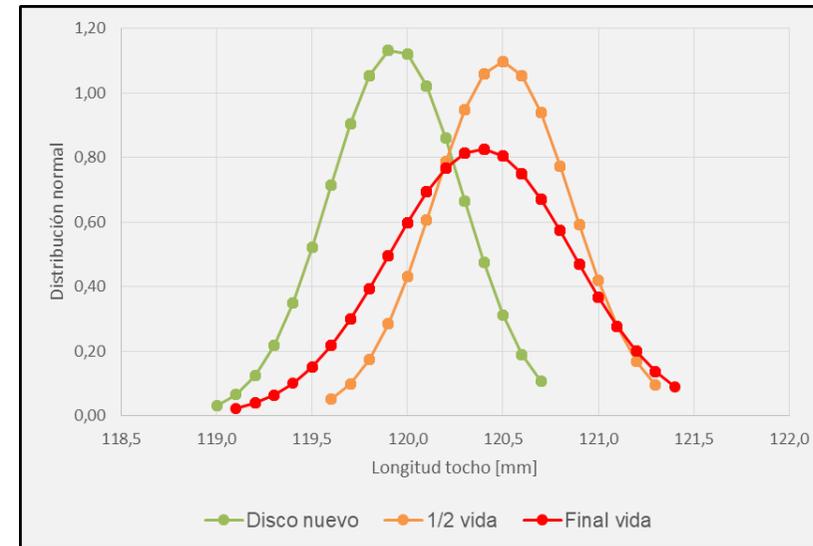
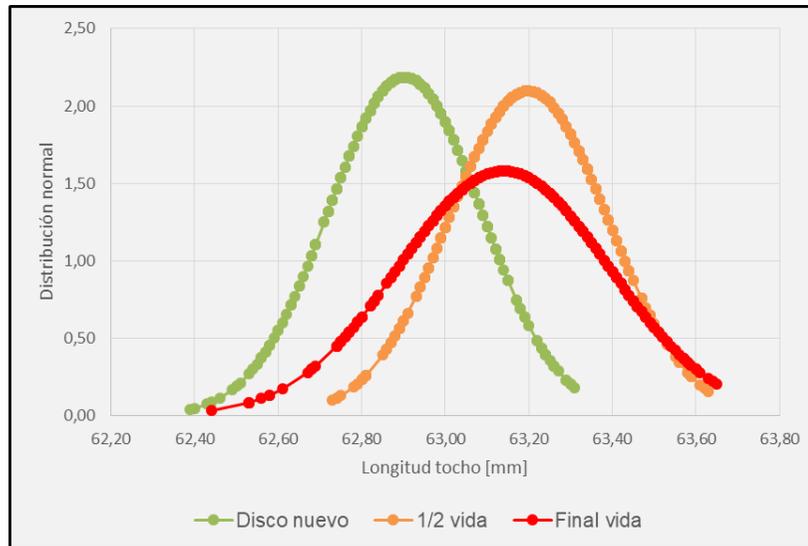
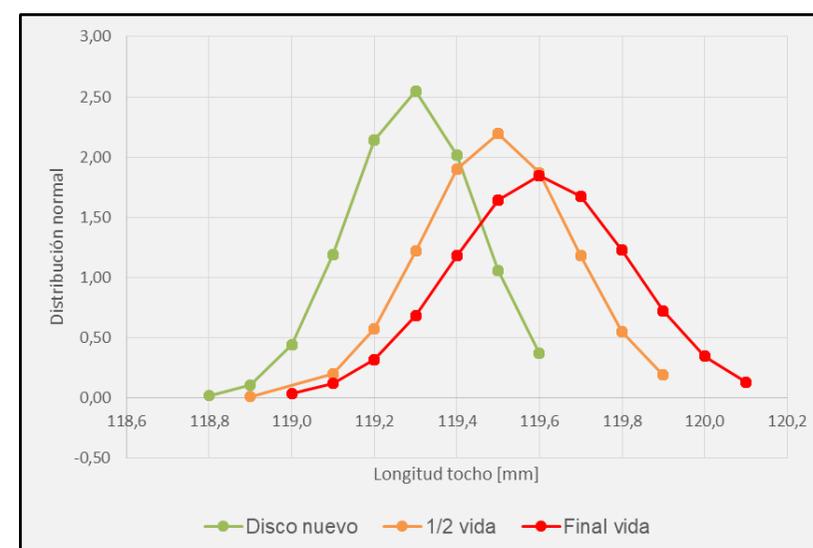
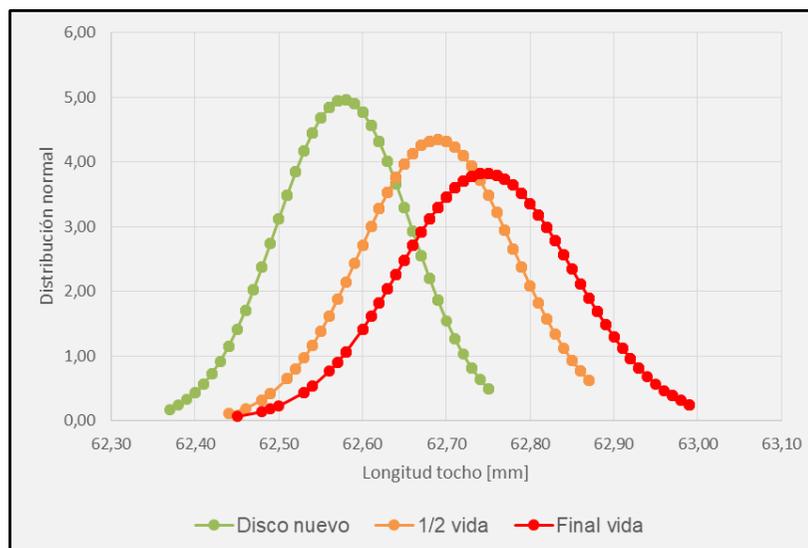


Imagen 14: Distribución de datos de longitud (izq.) y masa (dcha.) para la máquina 125 **a punto** y diferentes estados del disco.



Iván Romero Díaz

Trabajo Final de Grado

**8.1.2.- Máquina 137.**

- Longitud nominal: 58,5 mm.

- Fecha ensayo máquina estándar: 01/03/18.

- Fecha ensayo máquina a punto: 14/05/18.

Tabla 2: Resultados máquina 137.

Máquina:	<b>137</b>											
Condición:	<b>Estándar</b>						<b>A punto</b>					
Ensayo:	<b>Longitud</b>			<b>Masa</b>			<b>Longitud</b>			<b>Masa</b>		
Disco:	<b>Nuevo</b>	<b>1/2 vida</b>	<b>Final vida</b>	<b>Nuevo</b>	<b>1/2 vida</b>	<b>Final vida</b>	<b>Nuevo</b>	<b>1/2 vida</b>	<b>Final vida</b>	<b>Nuevo</b>	<b>1/2 vida</b>	<b>Final vida</b>
Media aritmética [mm / g]:	<b>58,89</b>	<b>59,15</b>	<b>58,90</b>	112,27	112,76	112,29	<b>58,56</b>	<b>58,66</b>	<b>58,71</b>	111,65	111,84	111,94
Desviación típica ( $\sigma$ ):	<b>0,1645</b>	<b>0,1757</b>	<b>0,2659</b>	0,3147	0,3205	0,5022	<b>0,0732</b>	<b>0,0805</b>	<b>0,1028</b>	0,1434	0,1607	0,1968
Media pob. [mm / g]:	<b>58,89</b>	<b>59,15</b>	<b>58,90</b>	112,30	112,80	112,30	<b>58,56</b>	<b>58,66</b>	<b>58,71</b>	111,60	111,80	111,90
Rango [mm / g]:	<b>0,72</b>	<b>0,64</b>	<b>0,97</b>	1,50	1,30	2,00	<b>0,36</b>	<b>0,47</b>	<b>0,59</b>	0,80	0,90	1,10
% fuera de tolerancia:	<b>53%</b>	<b>95%</b>	<b>47%</b>	-	-	-	<b>0%</b>	<b>0%</b>	<b>5%</b>	-	-	-

Iván Romero Díaz

Trabajo Final de Grado

Imagen 15: Distribución de datos de longitud (izq.) y masa (dcha.) para la máquina 137 **estándar** y diferentes estados del disco.

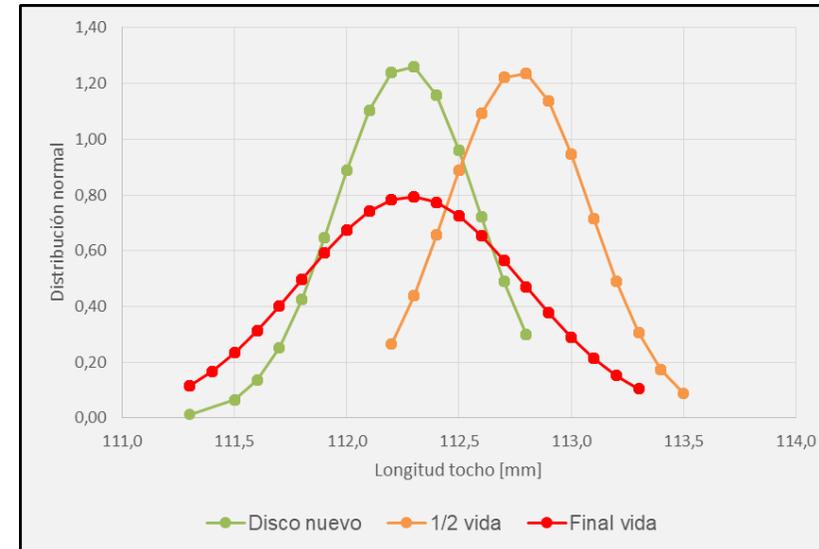
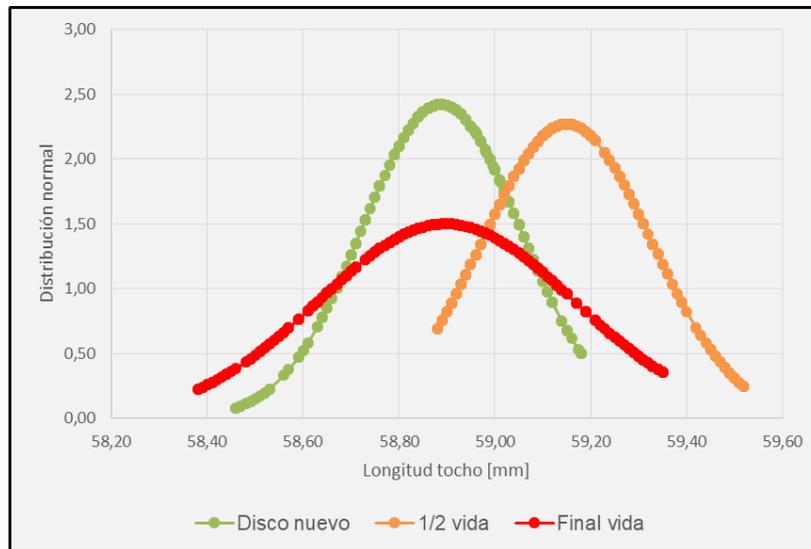
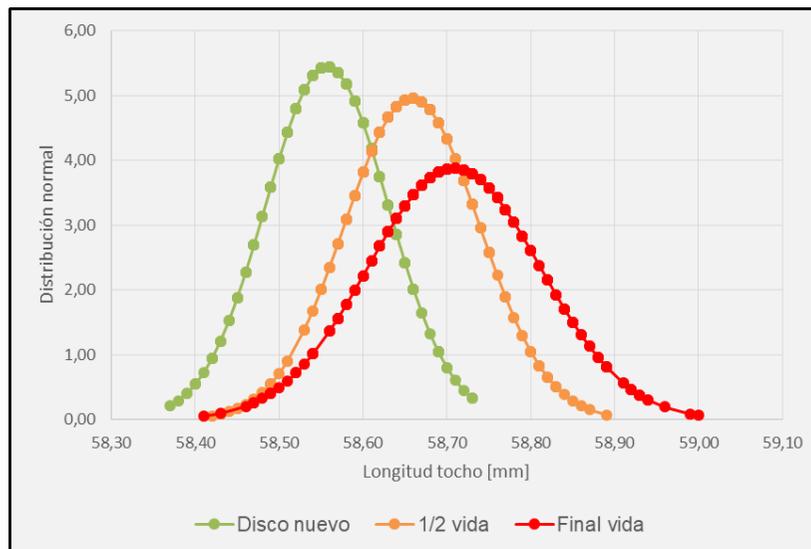


Imagen 16: Distribución de datos de longitud (izq.) y masa (dcha.) para la máquina 137 **a punto** y diferentes estados del disco.



Iván Romero Díaz

Trabajo Final de Grado

**8.1.3.- Máquina 166.**

- Longitud nominal: 58,5 mm.

- Fecha ensayo: 11/04/18.

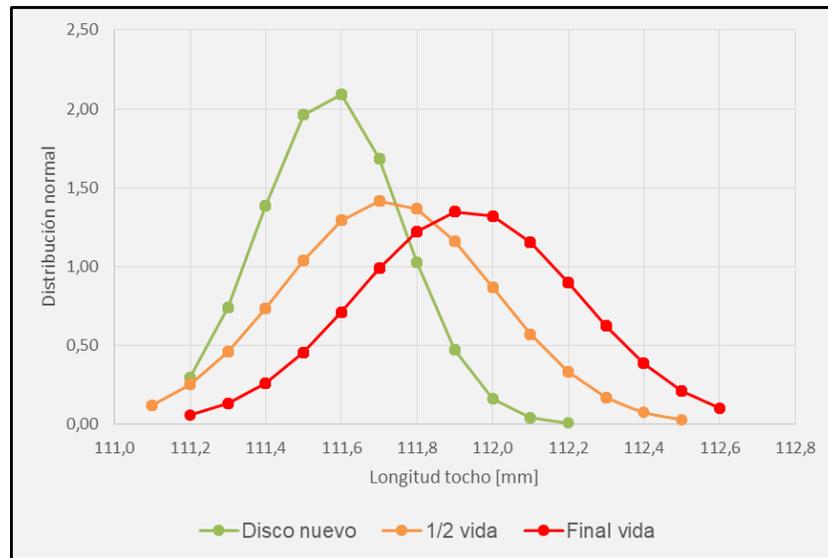
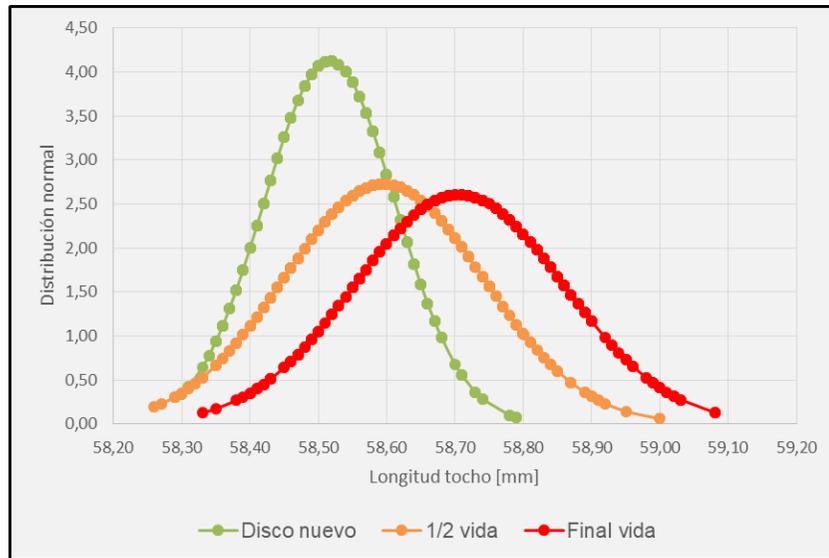
Tabla 3: Resultados máquina 166.

Máquina:	166					
Ensayo:	Longitud			Masa		
Disco:	Nuevo	1/2 vida	Final vida	Nuevo	1/2 vida	Final vida
Media aritmética [mm / g]:	58,52	58,60	58,71	111,57	111,72	111,93
Desviación típica ( $\sigma$ ):	0,0967	0,1463	0,1530	0,1887	0,2810	0,2942
Media pob. [mm / g]:	58,52	58,60	58,71	111,60	111,70	111,90
Rango [mm / g]:	0,49	0,74	0,75	1,00	1,40	1,40
% fuera de tolerancia:	0%	2%	7%	-	-	-

Iván Romero Díaz

Trabajo Final de Grado

Imagen 17: Distribución de datos de longitud (izq.) y masa (dcha.) para la máquina 166 y diferentes estados del disco.



## 8.2.- Análisis de resultados.

Atendiendo pues a los datos, podemos ver efectivamente que, tanto en el caso de las máquinas puestas a punto como en de la tronzadora nueva la dispersión es muy reducida (se observa esa pequeña variabilidad a la que se hacía referencia anteriormente) y los valores se encuentran centrados en torno al valor nominal (ligeramente hacia la derecha, como se ha comentado). Tanto es así que en los tres casos y con disco nuevo, el porcentaje de tochos fuera de tolerancia es 0.

Como era de esperar, a medida que se desgasta el disco, las gráficas tienden a ir más a la derecha y la dispersión crece (a mayor dispersión, menor altura alcanza el gráfico), de forma que para discos más desgastados ya es posible encontrar alguna muestra fuera de tolerancia, llegando a ser el 8% de ellas para la máquina 125.

Analizando los ensayos de las máquinas en las condiciones actuales, los resultados son realmente malos, con porcentajes de tochos fuera de tolerancia que apenas consiguen bajar del 50% aún con el disco nuevo. Nótese además que el efecto del desgaste del disco es mayor que en el caso de las máquinas a punto, fruto de elementos del sistema de corte gastados y con mucha holgura que no son tan capaces de contener este efecto del disco. Para las máquinas 125 y 137 se ha observado la particularidad de que al final de la vida del disco, la media poblacional vuelve a bajar hasta valores cercanos al disco nuevo. Esto puede ser fruto del aumento drástico de la dispersión y el descontrol en la medida que, paradójicamente, “mejore” este dato, llegando a tener incluso menos tochos fuera de tolerancia que con el disco a mitad de su vida. En cualquier caso, se aprecia que la dispersión aumenta en gran medida en estas situaciones, por lo que no son condiciones adecuadas de funcionamiento ya que se entiende que la aparente mejoría de los datos anteriores es dada precisamente por el propio descontrol del proceso.

Sobre los resultados de la 166 se puede comentar que, tal y como se esperaba, los datos son similares a los obtenidos con la 125 y la 137 a punto, ya que se trata de una máquina nueva. Respecto a los datos de masa se puede confirmar que siguen las tendencias de los de longitud, no en vano son parámetros que deberían ir, tal es el caso, directamente relacionados.

Con todos estos datos en la mano se puede afirmar con certeza que son necesarias acciones que eviten las situaciones vistas en las máquinas 125 y 137 en condiciones actuales, y que esto pasa, como se puede comprobar a tenor de los datos

de las máquinas a punto, por un plan de mantenimiento que mantenga las máquinas en un estado capaz para con el proceso que se les exige.

### **8.3.- Plan general de mantenimiento.**

Se puede definir el concepto de mantenimiento con la definición propuesta por Macián, V. et al. (2003:3) como “el conjunto de acciones o técnicas que permiten conservar o restablecer un equipo en un estado específico y asegurar un determinado servicio con un coste mínimo y la máxima seguridad”.

La clasificación más generalizada de los tipos de mantenimiento distingue entre el mantenimiento correctivo y el mantenimiento preventivo.

El mantenimiento correctivo consiste en la ausencia de acción hasta que se produce el fallo, momento en el cual se realiza la reparación de la parte de la máquina afectada. Este es el método que se ha seguido generalmente en la empresa y al cual se tratará de recurrir lo mínimo posible tras la implantación del plan que se presentará con este proyecto. De esta forma, evitaremos en gran medida las desventajas de la aplicación de este sistema como son la difícil previsión de avería, dificultad para detectar la causa del fallo o los altos costes derivados por reparaciones imprevistas.

Por otro lado, el mantenimiento preventivo consiste en la planificación de las intervenciones a fin de poder efectuarlas antes de que se produzca el fallo o la avería, de forma que además sea posible prever los recursos (stock, personal...) necesarios en el momento en el que se vaya a realizar la acción. Este es el sistema que se ha escogido para este proyecto ya que es el que mejor se adecúa al objetivo del mismo y a las necesidades de la empresa.

En resumen, el plan de mantenimiento propuesto pretende que el mantenimiento de la máquina sea exclusivamente preventivo, dejando la aplicación del correctivo para averías extraordinarias por razones ajenas a las acciones aplicadas en el preventivo.

Para la realización del plan general de mantenimiento se comenzará por una descripción detallada de los componentes que tienen mayor influencia en el control de medida de tochos. En este plan se incluirá, además, el mantenimiento general de la máquina, del que forman parte elementos como los cuadros eléctricos, sistemas de seguridad o protecciones.

Una vez clasificados todos los componentes, se le asignará a cada uno la intervención necesaria y la frecuencia de aplicación. Finalmente se elaborará un calendario que marcará la programación de intervenciones a lo largo de un año natural.

### 8.3.1.- Descripción del funcionamiento.

A la hora de estudiar las piezas que puedan afectar directamente a la medida de los tochos, podemos agruparlas en cinco sistemas principales: el sistema hidráulico, el cargador y alimentador, el sistema de sujeción de barras, el sistema de corte y el sistema de control de medida.

#### 8.3.1.1. Sistema hidráulico.

Cualquier elemento hidráulico depende del buen funcionamiento de este sistema, cuyos elementos a mantener son:

- Acumulador de presión [Imagen 18]: Es de nitrógeno y se encarga de mantener la presión constante de todo el sistema hidráulico. Es necesario revisar periódicamente que la vejiga de gas no esté pinchada y pierda aire y, en general, que cumpla la función de mantener la presión constante.



Imagen 18: Acumulador de presión.

- Circuito hidráulico [Imagen 19]: Está compuesto por manguitos, latiguillos, electroválvulas, depósito de aceite hidráulico, cilindros y demás conductos. Es preciso comprobar que no existan fugas a lo largo de todo el circuito para el correcto funcionamiento de todo el sistema.



Imagen 19: Elementos del sistema hidráulico.

#### **8.3.1.2. Cargador y alimentador.**

El elevador de barras dispone de rodamientos, cadenas, piñones de elevación y demás componentes que hay que mantener engrasados y en buen estado.

Las cadenas las mueve un motor a través de un engranaje de bronce el cual transmite el movimiento. Hay que revisar el buen funcionamiento en general. En cuanto a las cadenas, es necesario comprobar la tensión y mantenerlas lubricadas con spray específico para cadenas o aceite de motor. Las patillas, su fijación a la cadena mediante un tornillo y el patín sobre el que se asientan también sufren desgaste y deben ser revisados.

#### **8.3.1.3. Sistema de sujeción de barras.**

La sujeción de las barras para el corte se realiza mediante unas mordazas que las inmovilizan contra la pared del canal y la bancada. Para asegurar un buen corte de barra es fundamental el buen funcionamiento de estos amarres, cuyo movimiento se rige por cuatro cilindros hidráulicos.

La pared sobre la que las mordazas aprietan las barras, así como las bancadas donde éstas se apoyan en la zona de corte, sufren desgaste y hay que revisar periódicamente para sustituirlas cuando dicho desgaste sea excesivo. Además, es necesario limpiar diariamente toda esta zona de la viruta que se deposite a causa de los cortes.

#### **8.3.1.4. Sistema de corte.**

Un motor eléctrico [*Imagen 20*] genera el movimiento del disco a través de un sistema de poleas y un cilindro hidráulico [*Imagen 21*]. Es necesario pues revisar la correcta alineación de dichas poleas, así como la tensión y el desgaste de la correa. El sistema consta de piezas como rodamientos o ejes que hay que mantener en buen estado para evitar que el disco bascule, fruto de holguras en los componentes, o que el cilindro no se mueva completamente en vertical.



Imagen 20: Motor eléctrico del sist. de corte.



Imagen 21: Cilindro hidráulico del disco de corte.

### 8.3.1.5. Sistema de control de medida.

Existe un balancín el cual, mediante el empuje de la barra, se mueve de forma que los topes del otro extremo toquen el detector que dará la señal de subida al disco. Este balancín está montado en un carro [Imagen 22] que se encarga de regular la longitud del tocho mediante el movimiento a lo largo de un eje fijo.



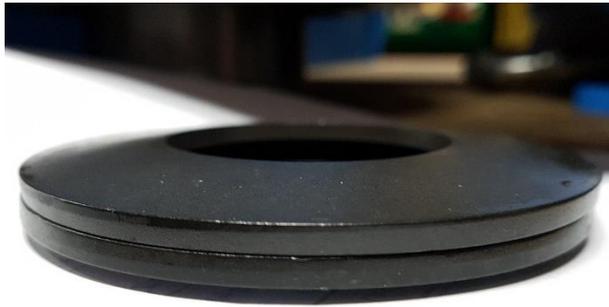
Imagen 22: Carro de control de medida.

Un motor de corriente continua mueve el carro a través de un husillo (sistema controlado por control numérico). En el extremo del husillo hay un encoder que cuenta las vueltas y las transforma en milímetros, de forma que mida exactamente cuánto se mueve el carro. Es importante que no existan holguras en el conjunto motor-husillo-encoder.

Dentro de los bloques del carro hay rodamientos de bolas que hay que revisar para mantenerlos en buen estado.

El sistema por el que el carro queda frenado una vez establecida la medida consiste en cuatro arandelas cóncavas y convexas dispuestas de forma: (()), como se aprecia en la imagen 23; y un cono que abraza a una pinza [Imagen

24]. Cuando se mete presión del sistema hidráulico a las arandelas, éstas se juntan, liberando al cono y, por tanto, el movimiento del carro. El sistema permanece frenado cuando no hay presión, al empujar las arandelas al cono hacia la pinza, de forma que ésta queda cerrada en torno al eje, impidiendo el movimiento. Resulta crucial el buen estado de las piezas que forman el grupo de frenado para que las medidas sean fiables.



*Imagen 23: Arandelas del grupo de frenado.*



*Imagen 24: Pinza del grupo de frenado.*

El balancín tope de medida para las barras sube cuando el disco está cortando y vuelve a bajar cuando el disco baja, quedando preparado para recibir al siguiente trozo de barra. Este movimiento se produce a través de un cilindro vertical controlado por sistema hidráulico.

### **8.3.2.- Codificación de las tareas.**

Una vez descrito el funcionamiento de los sistemas, se pasará a seleccionar las piezas o conjuntos que serán objeto de mantenimiento para posteriormente asignar un código propio a cada una de las tareas a realizar.

La codificación facilitará en gran medida el manejo informático de toda la información relativa al mantenimiento de la máquina, pudiendo localizar dichos elementos y las tareas que les afectan o monitorizar los datos de una forma intuitiva.

Para ello, es imprescindible huir de la arbitrariedad y crear un sistema de codificación siguiendo un procedimiento lógico que, en este caso y por convención con la empresa, está basado en la frecuencia de intervención y el responsable de realizarla. Así, la estructura del código sería la propuesta en la tabla 4:

Tabla 4: Leyenda para la codificación de tareas.

<b>Posición</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
<i>Descripción</i>	Tarea	Frecuencia	Responsable	Número de tarea
<i>Leyenda de código</i>	T → Tarea	D → Diaria	O → Operario	1
		S → Semanal	M → Mecánico	2
		M → Mensual	E → Electricista	...
		X → Semestral		
		A → Anual		

Con este procedimiento se podrán planificar rutinas de mantenimiento de forma más sencilla e inequívoca para después realizar un calendario de intervenciones.

### 8.3.3.- Estudio de intervenciones y tiempos de actuación.

El siguiente paso consiste en especificar el tipo de intervención que se requiere para cada elemento de la máquina, así como la frecuencia con la que debe realizarse cada una. Esta frecuencia debe ser la adecuada para garantizar que se evite tener que llegar a aplicar mantenimiento correctivo o que la dispersión de medidas supere los valores admisibles, tal es el propósito de este proyecto.

Para ello se ha recurrido tanto a las indicaciones dadas por el fabricante en el manual de la máquina, como a la amplia experiencia con las mismas de los operarios de producción y mantenimiento de la propia empresa quienes, tras años de tratamiento con este tipo de máquinas, disponen de datos para poder definir los tiempos de actuación. Estos tiempos serán estimados de forma que, con un cierto margen de seguridad, garanticen el máximo aprovechamiento posible de la vida útil de los componentes.

Todo este estudio aparece reflejado en las siguientes tablas, en las que se encuentra toda la información acerca de las intervenciones: código, máquina, sistema, componente... Así como el tiempo estimado de realización para cada una de estas tareas, a fin de poder ejecutar una buena planificación y servir, además, para la elaboración del presupuesto del presente proyecto.

### 8.3.3.1. Mantenimiento preventivo diario.

Tabla 5: Mantenimiento preventivo diario a realizar por un operario.

Responsable	Operario							
Código	Máq.	Modelo	Sistema	Subsistema	Componente	Tareas	Descripción	T. Estimado [min]
TDO1	Tronzadora	ADIGE X2	Máquina en general	General	General	Limpieza general	Limpieza interior y exterior derivada del período productivo.	15
TDO2			Sistema de Seguridad	General	Barreras, detectores, fin de carrera, protecciones metálicas de unidades, motores, tolvas, vibros, etc.	Revisar estado de los sistemas de Seguridad	1.- Observar la limpieza y el estado de las fotocélulas de las barreras de protección. 2.- Comprobar que todas las protecciones están activadas y cumplen la función de paro de máquina. 3.- Comprobar que las protecciones están perfectamente colocadas.	5
TDO3			Sistema control de medida	General	Barras	Comprobar despunte	Comprobar una vez por turno que la medida del despunte es inferior a 100 mm.	5
TDO4			Sistema de corte	Cabezal de corte	Amarre del disco	Revisar holguras	Comprobar que en los componentes que intervienen en el amarre del disco no existen holguras.	15

### 8.3.3.2. Mantenimiento preventivo semanal.

Tabla 6: Mantenimiento preventivo semanal a realizar por un operario.

Responsable	Operario							
Código	Máq.	Modelo	Sistema	Subsistema	Componente	Tareas	Descripción	T. Estimado [min]
TSO1	Tronzadora	ADIGE X2	Sistema hidráulico	Tanque de aceite	Aceite hidráulico	Revisar / Reponer	Observar que el nivel de aceite hidráulico (mirilla graduada del tanque principal) se encuentra por encima del nivel marcado como mínimo y por debajo del marcado como máximo (en ningún caso exceder el nivel máximo), si es necesario, añadir aceite del tipo Hidráulico 32 hasta que se encuentre entre dichas marcas.	2,5
TSO2					Presión de servicio	Revisar / Recargar	Observar en el manómetro que la presión de servicio hidráulica es la adecuada.	2,5
TSO3				Central de engrase	Aceite engrase	Revisar / Reponer	Observar que el nivel de aceite engrase (mirilla graduada del tanque principal) se encuentra por encima del nivel marcado como mínimo y por debajo del marcado como máximo (en ningún caso exceder el nivel máximo), si es necesario, añadir aceite del tipo KROIL BASELA 220 hasta que se encuentre entre dichas marcas	5

### 8.3.3.3. Mantenimiento preventivo mensual.

Tabla 7: Mantenimiento preventivo mensual a realizar por un operario.

Responsable	Operario							
Código	Máq.	Modelo	Sistema	Subsistema	Componente	Tareas	Descripción	T. Estimado [min]
TMO1	Tronzadora	ADIGE X2	Sistema hidráulico	Conexiones hidráulicas	Conexiones hidráulicas a cilindros, reguladores, electroválvulas, etc.	Revisar / Sustituir	Comprobar que las conexiones no tienen fugas.	10
TMO2					Latiguillos hidráulicos	Verificar estado / Sustituir	Verificar que los latiguillos no tienen fugas, fisuras, están endurecidos o tienen rozaduras.	5
TMO3			Cargador	Reductor elevador barras	Rodamientos	Engrasar	Engrasar los rodamientos del elevador de barras.	5
TMO4			Sistema de corte	Cabezal de corte	Correas	1.- Verificar estado / Sustituir 2.- Ajustar la tensión	1.- Observar que a las correas no les faltan dientes de arrastre o estén desilachadas, y que estén en buen estado (sustituir si es necesario). 2.- Ajustar la tensión correcta de las correas.	15
TMO5						Poleas	Comprobar amarre y holguras	Comprobar el amarre de las poleas al eje motor y eje cabezal y verificar si existe holgura entre los ejes y las poleas.
TMO6			Protecciones	General	Protecciones en general	Revisar estado	Revisar el estado de las protecciones de la máquina.	15

Tabla 8: Mantenimiento preventivo mensual a realizar por un mecánico.

Responsable	Mecánico								
Código	Máq.	Modelo	Sistema	Subsistema	Componente	Tareas	Descripción	T. Estimado [min]	
TMM1	Tronzadora	ADIGE X2	Sistema hidráulico	Motores hidráulicos	Conexiones hidráulicas	Revisar	Comprobar que los motores no tienen fugas de aceite.	5	
TMM2					Reguladores	Verificar estado	Comprobar que los reguladores no tienen fugas y funcionan correctamente.	10	
TMM3			Cargador	Alimentador	Empujador de barras	Comprobar estado	Comprobar que los topes de las lanzas están en buen estado.	2,5	
TMM4					Tornillos de amarre	Reapretar	Reapretar los tornillos de amarre de los topes de las lanzas.	2,5	
TMM5					Guías y separador de barras	Revisar	Revisar el desgaste de guías y del separador de barras.	5	
TMM6					Cargador	Piñones elevación y alimentación de barras	Revisar	Revisar el estado de los piñones del elevador y alimentador de barras (desgaste, engrase, etc).	2,5
TMM7						Cadena elevación y alimentación de barras	Revisar	Revisar el estado de las cadenas del elevador y alimentador de barras (desgaste, engrase, etc).	2,5

### 8.3.3.4. Mantenimiento preventivo semestral.

Tabla 9: Mantenimiento preventivo semestral a realizar por un mecánico.

Responsable	Mecánico							
Código	Máq.	Modelo	Sistema	Subsistema	Componente	Tareas	Descripción	T. Estimado [min]
TXM1	Tronzadora	ADIGE X2	Sistema hidráulico	Acumulador	Vejiga	Revisar / Sustituir	Comprobar que no está rota o pinchada la vejiga del acumulador.	10
TXM2					Presión de nitrógeno	Comprobar / Recargar	Comprobar la presión del nitrógeno (recargar si es necesario).	5
TXM3	Tronzadora	ADIGE X2	Sistema de corte	Motor eléctrico	Tornillos de amarre motor y tornillos de bloqueo	Reapretar	Reapretar los tornillos del soporte del motor y tornillos de bloqueo.	5
TXM4	Tronzadora	ADIGE X2	Sistema control de medida	Topes de medida	Balancín y topes	Revisar el balancín y los topes	Revisar si los topes o el balancín están desgastados o presentan una holgura excesiva.	15
TXM5					Detectores de topes	Revisar	Limpiar y comprobar los detectores de tope de barras.	15
TXM6				Grupo de frenado	Pinza y arandelas	Revisar estado y tensión / Sustituir	Revisar el estado y la tensión de la pinza y las arandelas del grupo de frenado (sustituir si es necesario).	15
TXM7					Grupo motor-husillo-encoder	Revisar	Revisar holguras.	15
TXM8	Tronzadora	ADIGE X2	Sistema sujeción de barras	General	Mordazas	Revisar holguras y desgaste	Revisar el desgaste y las holguras del conjunto de mordazas.	10

**8.3.3.5. Mantenimiento preventivo anual.**

Tabla 10: Mantenimiento preventivo anual a realizar por un mecánico.

Responsable	Mecánico								T. Estimado [min]
Código	Máq.	Modelo	Sistema	Subsistema	Componente	Tareas	Descripción		
TAM1	Tronzadora	ADIGE X2	Sistema hidráulico	Motor	Motor eléctrico	Revisión mecánica del motor	Comprobar que no hay ruido, vibraciones y limpiar paletas de ventilación y tapa.	60	
TAM2				Bomba hidráulica principal	Bomba hidráulica principal	Revisar fugas, nivel de ruido y vibraciones.	Revisión de fugas, nivel de ruido y vibraciones.	10	
TAM3					Rodete	Sustituir	Sustituir el rodete de la bomba.	20	
TAM4				Motor y bomba principal	Acoplamiento	Revisar acoplamiento	Desmontar el acoplamiento bomba-motor y verificar estado.	140	
TAM5				Tanque de aceite	Filtro	Sustituir	Sustitución filtro hidráulico de aspiración y retorno.	20	
TAM6					Tanque	Limpiar	Limpieza de tanque	10	
TAM7					Aceite hidráulico	Cambio de aceite	Cambiar aceite hidráulico (tipo hidráulico 32).	5	
TAM8				Central engrase	Aceite engrase	Cambio de aceite	Cambiar aceite de engrase (KROIL BASELA 20).	5	
TAM9				Intercambiador	Intercambiador	Revisar	1.- Comprobar fugas, mezclas agua-aceite. 2.- Comprobar caudal de agua refrigerante.	40	
TAM10						Válvula termostática	Comprobar estado y regulación	Comprobar estado y regulación de válvula termostática.	20
TAM11				General	Cilindros	Cambiar juntas	Cambiar juntas de los cilindros hidráulicos.	480	
TAM12				Acumulador	Acumulador	Cambiar vejiga	Cambiar vejiga del acumulador.	15	
TAM13				Máquina en general	Puntos de engrase	Cojinetes, guías, etc.	Revisar	Revisión general de los puntos de engrase.	30
TAM14			General		Rodamientos	Cambiar rodamientos	Cambiar rodamientos de la máquina.	60	
TAM15			Sistema control de medida	Grupo de frenado	Cono, pinza y arandelas	Sustituir	Sustituir arandelas, pinza y cono del grupo de frenado.	30	
TAM16			Sistema de corte	Cabezal de corte	Correas	Cambiar correas	Cambiar las correas de las poleas, ajustándolas a la tensión requerida.	15	
TAM17			Cargador	Alimentador	Rodillos guía de barras	Cambiar rodillos	Cambiar rodillos guía de barras.	30	

Iván Romero Díaz

Trabajo Final de Grado

Tabla 11: Mantenimiento preventivo anual a realizar por un electricista.

Responsable	Electricista							
Código	Máq.	Modelo	Sistema	Subsistema	Componente	Tareas	Descripción	T. Estimado [min]
TAE1	Tronzadora	ADIGE X2	Elementos Eléctricos	Cuadro eléctrico	Acometida eléctrica y cableado	Comprobar estado	Comprobar estado acometida eléctrica y cableado eléctrico.	30
TAE2					Señalización	Comprobar estado	Comprobar visualmente estado de la señalización de peligro y de la identificación de mandos y	10
TAE3					Interruptores, contactores, relés, panel operador,	Comprobar estado	Comprobar estado interruptor general, contactores, relés, panel operador, etc.	20
TAE4					Mandos y pilotos	Comprobar estado	Comprobar estado de mandos y pilotos	10
TAE5					Bornas y conexiones	Reapretar	Realizar reapriete bornas y conexiones.	30
TAE6					Diferenciales y puesta a tierra	Probar	Prueba disparo de diferenciales y puesta a tierra.	30
TAE7					Ventilación forzada	Comprobar	Comprobar correcto funcionamiento ventilación forzada.	30
TAE8					Cuadro eléctrico	Limpiar	Aspirar y eliminar objetos del interior del cuadro.	30
TAE9				Elementos eléctricos de la máquina externos al cuadro eléctrico	Cableado eléctrico y conectores	Comprobar visualmente	Comprobar visualmente estado cableado eléctrico y conectores.	5
TAE10					Identificación de electroválvulas, detectores, etc.	Comprobar visualmente	Comprobar visualmente estado identificación de detectores, electroválvulas, etc.	5
TAE11					Elementos de seguridad	Setas de emergencia	Comprobar funcionamiento	Comprobar correcto funcionamiento de setas de emergencia.
TAE12				FC puertas		Comprobar funcionamiento	Comprobar correcto funcionamiento FC puertas.	5
TAE13				PLC	Cableado eléctrico y conexiones	Comprobar estado	Comprobar visualmente estado cableado eléctrico y conexionado.	10
TAE14					Identificación de tarjetas / módulos	Comprobar estado	Comprobar visualmente estado de la identificación de las tarjetas / módulos.	10
TAE15					Bornas y conexiones	Reapretar	Realizar reapriete bornas y conexiones.	10
TAE16				Motores eléctricos	Motores eléctricos	Revisar.	1.- Comprobar que no hay ruido ni vibraciones. 2.- Comprobar y anotar consumos eléctricos. 3.- Comprobar que el ajuste de la protección magnetotérmica es correcta (In + 10%).	40
TAE17						Paletas de ventilación y tapa	Limpiar	Limpiar paletas de ventilación y tapa.

Una vez clasificadas todas las tareas, se tratará de agrupar en cada operación de mantenimiento tantas intervenciones como sea posible, de forma que se maximice el tiempo disponible de máquina y operarios.

De este modo, se procederá a elaborar un calendario de actuaciones, en el que se distinguen cinco tipos de rutina en base a la frecuencia de aplicación. Para referirse a estas rutinas, se usará la misma regla que se ha aplicado para la codificación, de forma que su comprensión sea más intuitiva [*Tabla 12*].

*Tabla 12: Leyenda de rutinas.*

<b>RUTINA</b>	<b>FRECUENCIA</b>
<b>D</b>	Diario
<b>S</b>	Semanal
<b>M</b>	Mensual
<b>X</b>	Semestral
<b>A</b>	Anual

Para la elaboración de este calendario se han tenido en cuenta los días laborales y las particularidades de la empresa, de forma que podamos adaptar de la mejor forma posible el plan de mantenimiento a las necesidades de la misma.

Así, se tenderá a planificar las tareas semanales para los primeros días de la semana, preferiblemente el lunes, a fin de anticiparse a cualquier posible problema antes de comenzar la producción semanal. Se seguirá la misma lógica para las intervenciones mensuales, tratando de llevarlas a cabo a principios de la primera semana de cada mes, agrupadas con las diarias y semanales y evitando su programación en los días finales del mes, en los que la carga de trabajo suele ser mayor.

Las intervenciones semestrales se realizarán durante los parones de producción que efectúa la empresa a mediados de agosto y la última semana de diciembre, sirviendo esta última para planificar además las tareas anuales.

Efectivamente, a pesar de no cumplir en ocasiones exactamente con la frecuencia esperada, esta organización de los trabajos permitirá a la empresa minimizar los paros de producción debidos a mantenimiento, sin renunciar a la seguridad ya que

los posibles retrasos que se puedan producir respecto a la frecuencia original entran dentro de lo admisible al no estar planteadas de una forma tan estricta.

En el *Anexo 2* se incluye el calendario del presente año natural, indicando para cada día las rutinas planificadas.

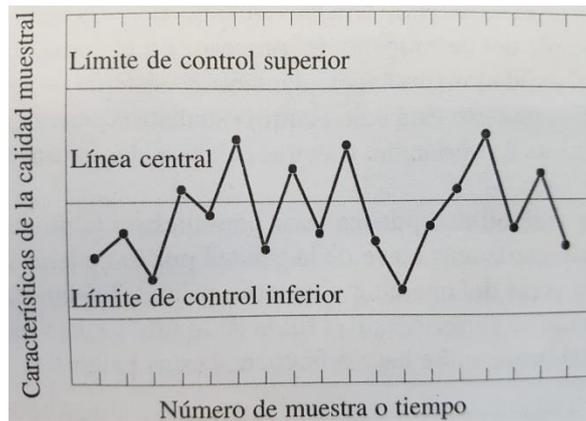
Adicionalmente, se han creado unas plantillas de registro, expuestas en el *Anexo 3*, en las que la realización de cada intervención quede reflejada junto con la fecha de la acción, el responsable y las observaciones que éste pueda aportar. Con esto, se pretende crear una base de datos mediante la cual se pueda seguir el mantenimiento de cada máquina con el fin de tener toda la información posible acerca del mismo para, por ejemplo, poder optimizar el plan progresivamente en base a los datos recopilados.

A través de este plan de mantenimiento preventivo se busca crear una rutina de revisiones, sustituciones o ajustes de las piezas cada cierto tiempo, de manera que consigamos obtener una máquina siempre a punto de la forma más eficiente posible, ya que nos es posible planificar con antelación cada intervención y, evidentemente, evitamos defectos en la producción de tochos.

#### **8.4.- Control Estadístico de Procesos (SPC).**

El control estadístico de procesos (SPC por sus siglas en inglés, *statistic process control*) se considera como un conjunto de herramientas para lograr tener estabilidad en un proceso y reducir la variabilidad del mismo. (Montgomery D. y Runger G., 2006)

De entre estas herramientas se elegirá el denominado *gráfico de control* para el monitorizado de la variabilidad imputable al desgaste del disco de corte, de forma que se tenga un método fiable que indique cuándo es el momento óptimo de cambio de disco, tratando de alargar al máximo su vida útil al tiempo que se garantice el control del proceso.



*Imagen 25: Gráfico de control típico.*

En la *imagen 25* se observa un gráfico de control típico que se usará como referencia para el que se incluirá en este proyecto. La línea central será el valor nominal de cada lote. Los límites de control superior e inferior que aparecen representados en la gráfica se escogen de tal modo que si el proceso está bajo control, todos los puntos de medida queden entre estas líneas y ordenados de una forma aleatoria propia de la variabilidad natural del proceso. Este valor suele venir dado por tres veces el valor de la dispersión base. La dispersión base se tomará como la menor de todos los ensayos que se han realizado, por ser el caso más restrictivo ( $\sigma = 0,07$ ).

Se considerará que el proceso ya no está bajo control y que, por tanto, es necesario la sustitución del disco de corte cuando existan medidas que superen dichos límites. Aun cuando todas las medidas queden dentro de los límites pero su disposición no sea aleatoria, se entenderá como una señal de que el proceso no está bajo control.

Los límites superior e inferior del gráfico vendrán dados por los propios límites de tolerancia de la pieza.

En el eje de abscisas se representará el número de piezas tras el cual se realiza cada prueba que, en este caso, será cada 5.000. Es decir, cada 5.000 piezas producidas con el mismo disco de corte, se tomará una muestra de diez tochos para medir en longitud e ir añadiendo valores a la gráfica.

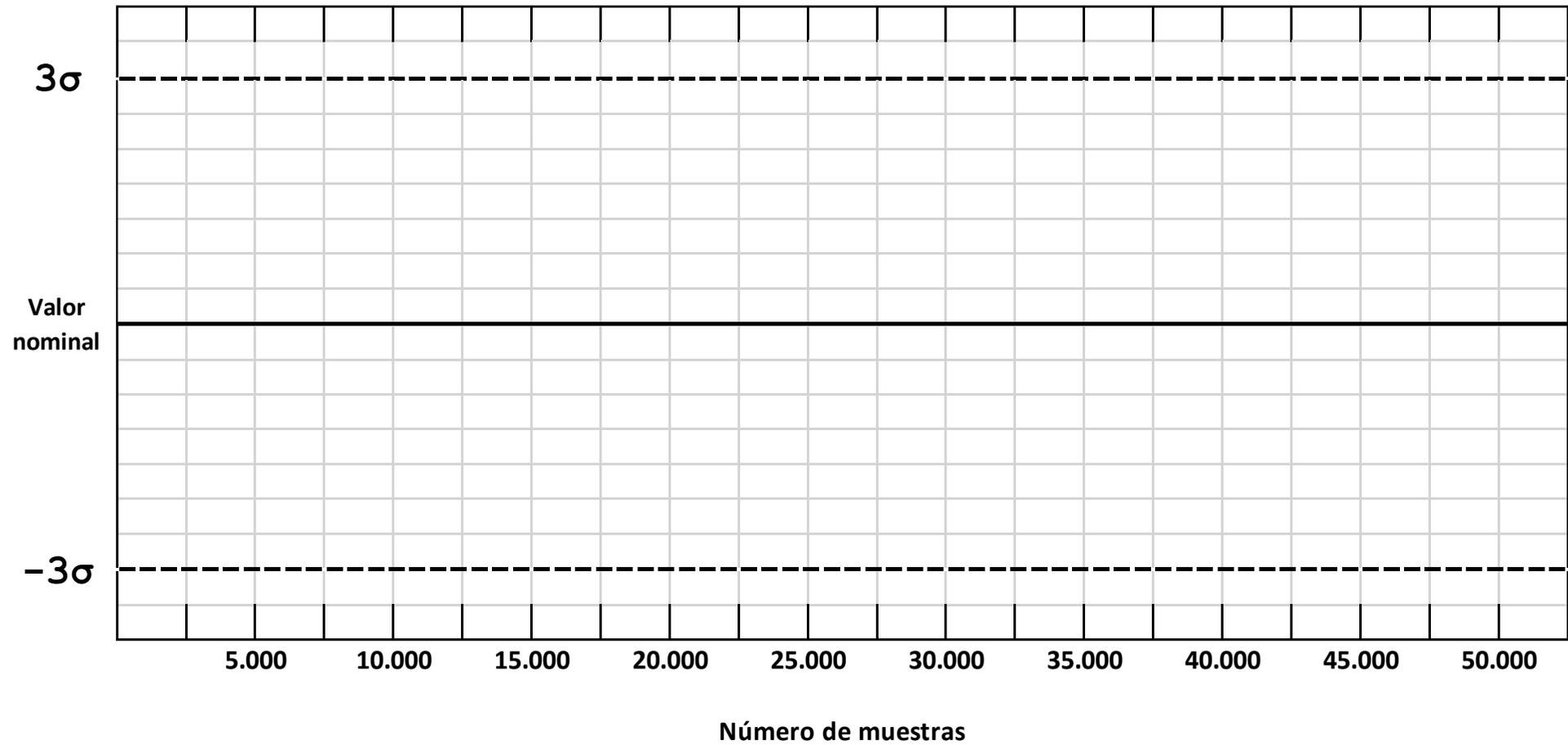
En la *imagen 26* se representa la plantilla del gráfico de control propuesto para este caso.

Este control lo realizará el mismo operario encargado de la máquina que, midiendo los tochos con un micrómetro, irá apuntando los resultados en el diagrama hasta el momento en el que se detecte que el proceso puede estar fuera de control. Llegados a este punto, el propio operario se encargará de realizar la sustitución del disco



de corte. En caso de que, tras el cambio de disco, las muestras tomadas sigan indicando que el proceso no está totalmente controlado, se daría un aviso al departamento de mantenimiento para que tome las medidas oportunas en la siguiente revisión programada o, según la gravedad, emprenda las acciones pertinentes a la mayor brevedad posible.

Imagen 26: Gráfico de control propuesto para el SPC.



## 9. PRESUPUESTOS

### 9.1.- Estimación costes actuales.

Se empezará por hacer una estimación del coste que supone mantener la situación actual, atribuible a defectos de producción.

Según las estimaciones realizadas en la empresa en base a datos estadísticos y teniendo en cuenta los ensayos realizados para este proyecto, se puede hacer una aproximación al total de los recursos que se pierden anualmente.

Para una producción media de diez millones de piezas al año, y suponiendo un 40% de tochos defectuosos se obtiene una cantidad de 400.000 tochos que no pasarían las exigencias de calidad. Para simplificar los cálculos, se estimará una masa media de 120 gramos por tocho. A partir de aquí, se distinguirá la fase del proceso de fabricación en el que se detecta el fallo para asignarle la pérdida económica correspondiente:

#### 9.1.1.- *Tronzado.*

Con el sistema actual de control, en esta fase se detectan aproximadamente el 50% de los tochos defectuosos. En este caso, los costes a asumir son el de funcionamiento de la máquina, el de trabajo de operario y el 20% del valor del latón correspondiente, ya que se puede recuperar hasta el 80% del mismo. En el cálculo se usará el precio actual de mercado del latón usado en la fábrica, cuyo valor es de 5 €/kg.

El coste atribuible a la máquina (25€/h) y al operario (25€/h) se basará en la estimación de 4.000 horas de funcionamiento anuales. De esta forma:

- 200.000 tochos defectuosos            0.12 kg/tocho            4.800 kg total perdido  
**Coste total latón: 24.000 €**
- 2.000 h/trabajo máquina + operario            50€/h            800 horas perdidas  
**Coste total máquina + operario: 40.000 €**

**Coste total fase tronzado: 64.000 €**

#### 9.1.2.- *Estampación.*

A través de las pautas de autocontrol que se realizan en esta etapa, es posible detectar hasta el 90% de las piezas defectuosas que hayan promocionado de la fase de tronzado.

Aquí, al coste del operario (25€/h) y el funcionamiento de la máquina (40€/h), es necesario añadir el coste correspondiente de máquina y operario de la fase anterior:

- 180.000 tochos defectuosos            0.12 kg/tocho            4.320 kg total perdido

**Coste total latón: 21.600 €**

- 1.800 h/prensa + operario 65€/h 720 horas perdidas

**Coste total prensa + operario: 46.800 €**

- 1.800 h/tronzadora + operario 50€/h 720 horas perdidas

**Coste total tronzadora + operario: 36.000 €**

**Coste total fase estampación: 104.400 €**

**9.1.3.- Mecanizado, montaje y fases intermedias.**

A las últimas fases del proceso de fabricación solo llegan en torno al 5% del total de producción, una cantidad que no es despreciable sobre todo si se tiene en cuenta el grueso de la producción, y que al coste de las mismas también hay que añadir el correspondiente a las fases de tronzado, estampación, recortado y demás fases intermedias.

En mecanizado, además del tiempo de trabajo de máquina y operario, se contabiliza el tiempo de preparación de la misma mientras que, en montaje, se debe tener en cuenta el tiempo de máquina y operario, piezas usadas en el montaje (mandos, juntas, ejes...) y los recursos utilizados en fases intermedias, según pieza, como el baño de cromo o tratamientos superficiales.

Por este motivo, se hace difícil establecer un coste concreto ya que, en este caso, éste depende de la pieza final afectada por el defecto (no todas reciben los mismos tratamientos) o incluso de si la consecuencia es el deshecho de la pieza o la modificación de utillajes para su correcto montaje.

Dicho esto, para estas fases se estimará un coste medio anual de **55.400 €**, dentro del cual se incluyen todas las consideraciones que se han comentado.

Así las cosas, se obtiene un coste total de pérdidas debidas a defectos en la fase de tronzado que asciende a **223.800 €**. Se trata de una cantidad estimada y que probablemente sea mayor en realidad, al no haber tenido en cuenta los costes de logística interna que también se van acumulando a lo largo del proceso. Además de este coste económico se deben tener en cuenta las mermas en producción que puedan afectar a plazos de entrega y demás consecuencias que son más variables y difíciles de cuantificar, pero no por ello menos importantes.

## 9.2.- Precios descompuestos.

Se procede aquí a desglosar el presupuesto para la aplicación de las acciones propuestas en este proyecto.

### 9.2.1.- Mano de obra.

Tabla 13: Presupuesto de la mano de obra.

<b>Intervenciones</b>	<b>Horas/intervención</b>	<b>€/hora</b>	<b>Nº Intervenciones</b>	<b>Precio</b>
<b>Diarias operario</b>	0,67	20	245	3.283,00 €
<b>Semanales operario</b>	0,17	20	52	176,80 €
<b>Mensuales operario</b>	1,08	20	12	259,20 €
<b>Mensuales mecánico</b>	0,5	25	12	150,00 €
<b>Semestrales mecánico</b>	1,5	25	2	75,00 €
<b>Anuales mecánico</b>	16,5	25	1	139,50 €
<b>Anuales electricista</b>	4,92	25	1	123,00 €
			<b>Total</b>	<b>4.479,50 €</b>

### 9.2.2.- Materiales.

Tabla 14: Presupuesto de material.

Descripción	Precio unitario	Cantidad	Unidad	Precio
Rodamientos grandes	23,00 €	7	ud	161,00 €
Rodamientos pequeños	14,00 €	10	ud	140,00 €
Rodete bomba de aceite	70,00 €	1	ud	70,00 €
Filtros sistema hidráulico	8,00 €	2	ud	16,00 €
Arandelas grupo de frenado	23,00 €	2	ud	46,00 €
Pinza grupo de frenado	52,00 €	1	ud	52,00 €
Cono grupo de frenado	47,00 €	1	ud	47,00 €
Juntas cilindros hidráulicos	6,00 €	6	ud	36,00 €
Vejiga acumulador	45,00 €	1	ud	45,00 €
Correas	20,00 €	2	ud	40,00 €
Aceite tipo Hidráulico 32	3,75 €	40	L	150,00 €
Aceite KROIL BASELA 220	0,25 €	10	L	2,50 €
Rodillos guía barras	40,00 €	16	ud	640,00 €
Total				1.445,50 €
<b>Total + IVA (21%)</b>				<b>1.749,06 €</b>

### 9.3.- Presupuesto total.

**Presupuesto total proyecto:**

**6.228,56 €**

## **10. CONCLUSIONES**

### **10.1.- Conclusión general.**

Al comienzo de este proyecto, y debido a la política de mantenimiento para el proceso de tronzado, la empresa debía convivir con una continua aparición de defectos en diferentes fases del proceso de fabricación. Efectivamente, la fase de tronzado, al ser la primera de todo el proceso, resulta crucial para el correcto funcionamiento del resto.

Por ello, se decidió emprender una serie de acciones dirigidas a mantener el proceso de tronzado estable y bajo control en aras de garantizar la calidad de las piezas producidas. Para alcanzar este objetivo, primero se identificaron los problemas que surgían y las consecuencias que podían tener en fases posteriores, para después programar una serie de ensayos con los que observar el estado de las máquinas en las condiciones anteriores al proyecto y confirmar la efectividad de las soluciones aportadas.

Tras analizar los resultados obtenidos en los ensayos y verificar la idoneidad de las soluciones aportadas, se ha procedido a elaborar un plan de mantenimiento preventivo a través del estudio de los elementos a tener en cuenta y las intervenciones a realizar, así como la frecuencia de aplicación de las mismas. Acto seguido, se ha elaborado un calendario en el que se refleja la programación de estas intervenciones.

Resultaba necesario, además, establecer un procedimiento para optimizar los cambios del disco de corte, de manera que se aprovechara al máximo su vida útil al tiempo que se mantuviera el proceso bajo control. Para tal fin, se ha hecho uso de una herramienta SPC, el gráfico de control, con el que se seguirán periódicamente las medidas de las piezas producidas, detectando el momento óptimo para realizar el cambio.

Por último, se ha calculado el presupuesto que supondría la implantación de estas medidas, el cual se ha comparado con los costes que mantenía la empresa en la situación actual. Así, se llega a la conclusión de que con aplicación de las soluciones propuestas en este proyecto, el beneficio económico para la empresa es notorio, sin menoscabo de otras ventajas como una mejor imagen, mayor seguridad, mayor producción o una mejora medioambiental al haber creado un proceso más eficiente.

### **10.2.- Líneas de investigación futuras.**

Atendiendo a los resultados obtenidos con este proyecto y a la magnitud del problema tratado, se abre claramente la posibilidad de extender actuaciones de este tipo al resto de las fases del proceso de fabricación, de manera que se logre conseguir



una fábrica lo más eficiente posible, generando grandes beneficios a la empresa y contribuyendo al buen funcionamiento de todo el proceso.





## 11. BIBLIOGRAFÍA

Montgomery D. y Runger G. (2006). *Probabilidad y Estadística aplicadas a la Ingeniería*. Limusa Wiley.

Macián, V. e. (2003). *Fundamentos de ingeniería del mantenimiento*. EDITORIAL UPV.

Martínez, N. e. (2001). *Métodos estadísticos en la ingeniería*. EDITORIAL UPV.

## 12. ANEXOS

### 12.1.- Anexo 1.

Tabla 15: Medidas de longitud [mm] del ensayo en máquina 125 estándar con disco nuevo.

n	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300
1	63,22	62,85	62,97	63,17	62,96	63,10	62,90	62,88	62,75	62,82
2	62,77	63,01	62,76	62,90	62,96	62,89	62,93	62,93	62,89	63,06
3	63,18	63,27	62,73	62,92	62,56	62,72	62,93	62,99	63,04	62,74
4	62,97	63,29	63,00	62,91	62,99	62,87	62,92	62,97	62,78	62,98
5	62,79	62,72	63,00	62,56	63,08	62,82	62,91	62,88	62,69	62,99
6	62,89	62,84	62,90	62,60	62,77	62,55	62,93	62,84	62,57	63,00
7	62,97	62,66	62,96	62,85	63,07	62,89	62,92	62,94	63,31	63,01
8	62,82	62,74	62,88	62,80	62,88	63,12	62,90	63,12	63,05	63,01
9	62,90	62,88	62,99	62,77	62,51	63,23	62,93	62,91	63,19	62,75
10	63,07	62,86	62,87	63,09	62,86	62,67	62,83	62,68	63,10	62,75
11	62,98	62,80	62,94	62,96	62,99	62,87	62,82	62,93	62,49	63,22
12	62,68	62,87	62,74	62,46	62,87	63,01	62,90	62,90	62,96	62,97
13	62,90	62,84	62,84	62,74	62,97	63,15	62,79	62,82	62,74	63,08
14	62,99	62,64	62,72	63,30	63,02	63,08	63,01	62,97	62,88	63,08
15	62,95	63,07	63,03	62,85	63,02	63,07	63,02	63,07	63,14	62,86
16	62,85	62,78	63,30	62,43	62,81	63,02	63,03	62,89	63,13	62,89
17	62,89	62,65	62,68	62,69	62,73	63,24	62,91	62,69	62,83	62,95
18	62,94	62,88	63,08	63,17	63,25	63,26	62,74	63,19	63,02	62,60
19	63,10	62,94	63,13	62,56	62,92	62,82	62,58	62,85	63,12	63,00
20	62,81	62,71	62,84	63,18	62,81	62,94	62,39	62,84	62,74	62,53
21	62,73	63,03	63,13	62,76	62,86	62,82	62,81	62,93	62,80	62,69
22	63,15	63,09	62,88	62,77	62,65	62,61	62,96	62,58	63,09	62,88
23	63,01	62,84	62,44	62,94	62,93	62,75	62,97	62,82	63,24	62,87
24	62,63	62,92	62,87	62,85	62,86	63,15	62,98	63,24	62,73	62,82
25	62,89	62,90	63,00	62,83	62,93	62,72	62,85	63,10	62,81	62,54
26	63,11	63,13	62,83	63,07	62,85	63,05	62,85	63,24	62,93	63,10
27	62,96	63,23	63,26	63,08	62,95	62,92	62,93	62,59	62,80	62,63
28	63,11	62,62	62,57	62,94	63,12	62,94	62,98	62,88	62,71	63,26
29	62,95	62,84	62,40	62,89	63,00	62,98	63,29	62,63	62,91	62,77
30	63,02	62,81	62,50	63,20	63,04	62,80	63,05	62,97	62,82	62,87

**Tabla 16: Medidas de longitud [mm] del ensayo en máquina 125 estándar con disco a 1/2 vida.**

n	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300
1	63,16	63,24	62,89	63,06	63,34	63,58	62,93	63,49	63,14	63,25
2	63,16	63,23	62,81	62,98	63,40	62,90	63,42	63,40	63,04	63,63
3	62,74	63,04	63,50	63,30	63,23	63,28	63,04	63,01	63,20	63,23
4	63,15	62,88	63,27	63,09	63,37	62,94	63,00	63,07	63,39	63,27
5	63,14	63,20	63,35	63,61	63,11	63,25	63,40	63,34	63,09	63,06
6	63,36	63,12	63,47	63,38	62,97	63,25	63,27	63,36	63,40	63,58
7	63,13	63,02	63,05	63,14	63,14	62,91	63,38	63,15	63,04	62,98
8	62,95	63,34	63,32	63,25	63,11	63,05	63,07	63,47	62,93	63,42
9	63,30	63,36	63,26	63,30	63,27	62,86	63,59	63,15	63,43	63,44
10	63,34	63,22	63,29	62,96	63,19	63,42	63,30	63,20	62,81	63,23
11	63,22	63,21	63,35	63,17	63,01	63,26	63,43	62,78	63,01	63,05
12	63,25	62,99	63,23	63,32	62,73	63,28	63,32	63,49	63,01	63,42
13	63,42	63,25	62,96	63,11	63,05	63,20	63,33	62,96	62,87	63,23
14	63,19	62,87	62,88	63,11	63,14	62,80	62,86	63,31	63,21	62,89
15	63,41	63,24	62,94	62,99	63,59	63,16	63,08	63,47	62,74	63,39
16	63,06	62,79	63,33	63,15	63,21	63,14	63,29	63,08	63,00	63,18
17	63,24	63,00	63,33	63,39	63,32	63,17	63,38	63,28	63,39	62,85
18	63,25	63,03	63,04	63,16	63,11	63,16	63,34	63,34	63,39	63,43
19	63,09	63,09	63,12	63,27	63,15	63,17	63,59	63,32	63,22	63,30
20	63,13	63,32	63,19	63,18	63,32	63,32	63,36	63,39	63,45	62,80
21	62,99	63,12	63,31	63,23	63,18	63,56	63,02	63,36	63,12	63,16
22	63,19	63,16	63,17	62,89	63,18	63,14	63,07	63,53	63,03	63,34
23	63,44	63,14	63,10	63,36	62,95	63,11	63,11	63,07	63,17	63,19
24	63,13	63,21	63,62	63,29	63,12	62,99	63,00	63,56	63,29	63,30
25	63,14	63,37	63,48	63,22	63,59	63,09	63,04	62,81	63,16	63,21
26	63,05	63,11	63,37	62,75	63,02	63,14	63,30	63,35	63,25	63,16
27	63,44	63,31	63,34	63,41	63,00	63,39	63,34	62,90	63,00	63,39
28	63,11	63,38	63,44	63,02	63,23	63,16	63,30	63,29	62,96	62,89
29	62,97	63,32	63,14	63,20	63,07	63,37	63,26	63,07	63,27	63,21
30	63,25	63,41	63,13	63,62	63,32	63,37	63,33	63,13	63,41	63,55

**Tabla 17: Medidas de longitud [mm] del ensayo en máquina 125 estándar con disco a final de vida.**

n	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300
1	62,87	63,12	63,22	63,26	63,02	62,68	63,57	63,50	63,10	63,00
2	63,25	63,15	62,83	63,07	63,50	63,51	63,52	63,22	63,54	62,96
3	62,84	62,91	62,91	63,04	63,55	63,43	63,20	63,58	63,27	62,98
4	63,18	62,94	62,56	63,37	62,83	62,94	62,93	63,52	62,77	63,02
5	63,51	63,37	63,22	63,26	63,43	62,96	62,97	63,44	63,33	62,86
6	63,17	62,84	62,53	63,16	63,25	63,18	63,45	63,46	63,25	62,83
7	62,89	63,26	63,49	62,53	63,07	63,01	63,29	62,99	62,68	63,06
8	62,94	63,60	63,43	63,07	63,42	62,90	63,04	63,46	63,14	62,93
9	63,40	62,98	63,49	63,20	63,12	62,89	62,74	63,00	62,91	63,21
10	63,17	62,58	63,53	62,89	62,98	63,34	63,36	63,41	63,33	63,63
11	62,79	63,20	63,41	63,10	63,03	63,31	62,78	63,07	63,39	63,33
12	63,02	62,53	62,98	63,09	62,95	63,53	63,02	63,32	63,64	63,08
13	63,00	63,04	63,00	63,33	62,92	63,33	63,45	63,12	63,27	63,35
14	63,42	63,39	62,95	63,16	62,53	63,43	63,58	63,31	62,97	63,02
15	63,29	63,19	63,07	63,40	62,97	62,75	62,74	63,47	62,58	62,99
16	63,28	62,90	63,12	63,59	63,04	62,93	63,08	63,08	62,97	63,11
17	63,04	63,06	63,34	63,11	63,15	63,44	63,57	63,01	63,32	63,19
18	63,30	63,50	63,01	63,45	62,92	63,19	63,24	62,76	63,44	63,10
19	63,16	63,48	62,88	63,18	63,18	63,02	62,99	63,32	63,05	63,04
20	62,95	63,01	63,12	63,04	62,82	63,13	62,76	63,23	63,17	62,80
21	63,15	63,21	62,97	63,51	63,30	63,14	63,30	63,23	63,14	63,40
22	62,92	62,67	62,99	62,77	63,03	62,77	63,27	63,48	63,15	62,97
23	63,57	62,98	63,38	63,46	63,33	62,61	63,48	63,25	62,92	62,93
24	62,44	63,03	63,31	63,35	63,13	62,92	62,94	62,75	63,13	63,13
25	63,61	63,60	63,03	63,65	63,20	62,87	62,94	62,77	63,26	63,24
26	63,39	63,17	63,07	62,87	63,01	63,23	63,37	63,29	63,04	62,69
27	62,79	63,35	63,28	63,18	63,24	63,45	63,43	62,93	62,94	63,36
28	63,32	63,34	63,03	62,82	63,33	63,47	63,22	63,45	63,00	63,25
29	63,06	63,56	63,15	62,98	63,36	62,96	63,25	63,38	63,41	62,98
30	62,75	63,06	62,88	63,06	62,80	63,25	63,40	63,27	62,74	63,12

Tabla 18: Medidas de masa [g] del ensayo en máquina 125 estándar con disco nuevo.

n	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300
1	120,5	119,8	120,1	120,4	120,0	120,3	119,9	119,9	119,6	119,8
2	119,8	120,1	119,7	119,9	120,0	119,9	120,0	120,0	119,9	120,2
3	120,4	120,6	119,6	120,0	119,3	119,6	119,9	120,1	120,2	119,6
4	120,1	120,7	120,1	119,9	120,1	119,9	120,0	120,2	119,7	120,1
5	119,7	119,6	120,1	119,3	120,3	119,8	119,9	119,9	119,5	120,1
6	119,9	119,8	119,9	119,4	119,9	119,3	120,0	119,8	119,3	120,1
7	120,1	119,5	120,0	119,8	120,3	119,8	120,1	120,0	120,7	120,2
8	119,8	119,6	119,8	119,7	119,9	120,3	119,9	120,3	120,2	120,2
9	119,9	119,9	120,1	119,7	119,2	120,6	120,0	119,9	120,5	119,6
10	120,3	119,9	119,9	120,3	119,9	119,5	119,8	119,5	120,3	119,6
11	120,1	119,7	120,0	120,0	120,1	119,9	119,7	120,0	119,1	120,5
12	119,5	119,9	119,6	119,1	119,9	120,1	119,9	119,9	120,0	120,1
13	119,9	119,8	119,8	119,6	120,1	120,4	119,7	119,8	119,6	120,3
14	120,1	119,4	119,6	120,7	120,2	120,3	120,1	120,1	119,9	120,3
15	120,0	120,3	120,2	119,8	120,2	120,3	120,2	120,3	120,3	119,9
16	119,8	119,7	120,7	119,0	119,8	120,2	120,2	119,9	120,4	119,9
17	119,9	119,5	119,5	119,5	119,6	120,6	119,9	119,5	119,8	120,0
18	120,0	119,9	120,3	120,4	120,6	120,6	119,6	120,6	120,2	119,4
19	120,3	120,0	120,4	119,3	120,0	119,8	119,3	119,8	120,3	120,2
20	119,8	119,6	119,8	120,5	119,8	120,0	119,0	119,8	119,6	119,2
21	119,6	120,2	120,4	119,7	119,9	119,8	119,8	120,0	119,7	119,5
22	120,4	120,3	119,9	119,7	119,5	119,4	120,0	119,3	120,3	119,9
23	120,1	119,8	119,1	120,0	120,0	119,6	120,1	119,8	120,6	119,9
24	119,4	120,0	119,9	119,8	119,9	120,4	120,1	120,6	119,6	119,8
25	119,9	119,9	120,1	119,8	120,0	119,6	119,8	120,3	119,8	119,2
26	120,3	120,4	119,8	120,3	119,8	120,2	119,8	120,6	120,0	120,3
27	120,0	120,6	120,6	120,3	120,0	120,0	120,0	119,3	119,7	119,4
28	120,3	119,4	119,3	120,0	120,3	120,0	120,1	119,9	119,6	120,6
29	120,0	119,8	119,0	119,9	120,1	120,1	120,6	119,4	119,9	119,7
30	120,2	119,8	119,2	120,6	120,2	119,7	120,2	120,1	119,8	119,9

Tabla 19: Medidas de masa [g] del ensayo en máquina 125 estándar con disco a 1/2 vida.

n	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300
1	120,4	120,6	119,9	120,2	120,8	121,2	120,0	121,1	120,4	120,6
2	120,4	120,6	119,8	120,1	120,9	119,9	120,9	120,9	120,2	121,3
3	119,6	120,2	121,1	120,7	120,6	120,7	120,2	120,1	120,5	120,6
4	120,4	119,9	120,6	120,3	120,8	120,0	120,1	120,3	120,8	120,6
5	120,4	120,5	120,8	121,3	120,3	120,6	120,9	120,8	120,3	120,2
6	120,8	120,3	121,0	120,8	120,1	120,6	120,6	120,8	120,9	121,2
7	120,4	120,2	120,3	120,4	120,4	119,9	120,9	120,4	120,2	120,1
8	120,0	120,8	120,7	120,6	120,3	120,2	120,3	121,0	120,1	120,9
9	120,7	120,7	120,6	120,7	120,6	119,9	121,2	120,4	120,9	121,0
10	120,8	120,5	120,7	120,0	120,5	120,9	120,7	120,5	119,8	120,6
11	120,5	120,5	120,8	120,4	120,1	120,6	120,8	119,7	120,1	120,2
12	120,7	120,1	120,6	120,7	119,6	120,7	120,7	121,1	120,1	120,9
13	120,9	120,6	120,0	120,3	120,2	120,5	120,7	120,0	119,9	120,6
14	120,5	119,9	119,9	120,3	120,3	119,7	119,9	120,7	120,5	119,9
15	120,9	120,6	120,0	120,1	121,2	120,4	120,3	121,0	119,6	120,9
16	120,2	119,7	120,7	120,4	120,5	120,4	120,7	120,3	120,1	120,5
17	120,6	120,1	120,7	120,8	120,7	120,4	120,8	120,7	120,9	119,8
18	120,6	120,2	120,2	120,4	120,3	120,4	120,8	120,8	120,9	120,9
19	120,3	120,3	120,2	120,6	120,4	120,4	121,2	120,7	120,5	120,7
20	120,4	120,7	120,5	120,5	120,8	120,7	120,8	120,9	121,0	119,7
21	120,1	120,3	120,7	120,6	120,5	121,2	120,2	120,8	120,3	120,4
22	120,5	120,4	120,4	119,9	120,5	120,4	120,3	121,1	120,2	120,8
23	121,0	120,4	120,3	120,8	120,0	120,3	120,3	120,3	120,6	120,5
24	120,4	120,5	121,3	120,7	120,3	120,1	120,1	121,2	120,7	120,7
25	120,4	120,8	121,0	120,5	121,2	120,3	120,2	119,8	120,4	120,5
26	120,2	120,3	120,8	119,6	120,2	120,4	120,7	120,8	120,6	120,4
27	121,0	120,7	120,8	120,9	120,1	120,9	120,8	119,9	120,1	120,9
28	120,3	120,8	121,0	120,2	120,6	120,4	120,7	120,7	120,0	119,9
29	120,1	120,7	120,4	120,5	120,3	120,8	120,6	120,3	120,6	120,5
30	120,6	120,9	120,4	121,3	120,7	120,8	120,7	120,4	120,9	121,2

Tabla 20: Medidas de masa [g] del ensayo en máquina 125 estándar con disco a final de vida.

n	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300
1	119,9	120,3	120,5	120,6	120,2	119,5	121,2	121,1	120,3	120,1
2	120,6	120,4	119,8	120,3	121,1	121,1	121,1	120,5	121,1	120,0
3	119,8	119,9	119,9	120,2	121,2	120,9	120,5	121,2	120,6	120,1
4	120,5	120,0	119,3	120,8	119,8	120,0	120,0	121,1	119,7	120,2
5	121,2	120,8	120,4	120,6	120,9	120,1	120,1	121,0	120,7	119,9
6	120,4	119,8	119,2	120,5	120,6	120,5	121,0	121,0	120,6	119,8
7	119,9	120,6	121,1	119,2	120,3	120,1	120,7	120,1	119,5	120,2
8	120,0	121,3	120,9	120,3	120,9	119,9	120,2	121,0	120,3	120,0
9	120,9	120,1	121,1	120,5	120,3	119,9	119,6	120,1	119,9	120,7
10	120,4	119,3	121,1	119,9	120,1	120,8	120,8	120,9	120,7	121,3
11	119,7	120,5	120,9	120,3	120,2	120,9	119,7	120,3	120,9	120,7
12	120,2	119,2	120,1	120,3	120,0	121,1	120,2	120,7	121,3	120,3
13	120,1	120,2	120,1	120,7	120,0	120,7	121,0	120,3	120,6	120,8
14	120,9	120,9	120,0	120,4	119,2	120,9	121,2	120,7	120,1	120,2
15	120,7	120,5	120,3	120,9	120,1	119,6	119,6	121,0	119,3	120,1
16	120,7	120,0	120,3	121,2	120,2	120,0	120,3	120,3	120,1	120,3
17	120,2	120,2	120,8	120,3	120,4	121,0	121,1	120,1	120,7	120,5
18	120,7	121,1	120,1	121,0	120,0	120,5	120,6	119,7	121,0	120,3
19	120,4	121,0	119,9	120,6	120,5	120,2	120,1	120,7	120,2	120,2
20	120,0	120,1	120,3	120,2	119,8	120,4	119,7	120,6	120,4	119,7
21	120,4	120,5	120,1	121,1	120,7	120,4	120,7	120,6	120,4	120,9
22	120,0	119,5	120,1	119,7	120,2	119,7	120,6	121,0	120,4	120,1
23	121,2	120,1	120,7	121,0	120,7	119,4	121,0	120,6	120,0	120,0
24	119,1	120,2	120,7	120,8	120,4	120,0	120,0	119,6	120,5	120,4
25	121,3	121,3	120,2	121,4	120,5	119,9	120,0	119,7	120,6	120,6
26	120,9	120,4	120,3	119,9	120,1	120,6	120,8	120,7	120,2	119,5
27	119,7	120,8	120,6	120,5	120,6	121,0	120,9	120,0	120,0	120,8
28	120,7	120,8	120,2	119,8	120,7	121,0	120,5	121,0	120,1	120,6
29	120,2	121,2	120,4	120,1	120,8	120,0	120,6	120,8	120,9	120,1
30	119,6	120,2	119,9	120,2	119,7	120,6	120,9	120,6	119,6	120,3

Tabla 21: Medidas de longitud [mm] del ensayo en máquina 125 a punto con disco nuevo.

n	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300
1	62,62	62,60	62,62	62,61	62,65	62,59	62,46	62,59	62,58	62,58
2	62,66	62,37	62,57	62,66	62,73	62,56	62,57	62,48	62,44	62,49
3	62,60	62,67	62,47	62,68	62,54	62,60	62,74	62,62	62,65	62,62
4	62,61	62,47	62,49	62,56	62,62	62,46	62,46	62,41	62,50	62,61
5	62,75	62,65	62,61	62,49	62,50	62,58	62,62	62,54	62,63	62,57
6	62,55	62,51	62,66	62,58	62,60	62,57	62,65	62,66	62,69	62,58
7	62,47	62,46	62,44	62,69	62,67	62,69	62,68	62,58	62,59	62,53
8	62,54	62,67	62,54	62,61	62,59	62,58	62,66	62,69	62,52	62,52
9	62,55	62,69	62,56	62,50	62,63	62,54	62,57	62,54	62,65	62,60
10	62,56	62,48	62,66	62,65	62,62	62,60	62,72	62,53	62,54	62,61
11	62,60	62,66	62,63	62,55	62,59	62,51	62,53	62,61	62,54	62,62
12	62,45	62,48	62,55	62,53	62,57	62,62	62,54	62,63	62,63	62,48
13	62,62	62,47	62,56	62,62	62,65	62,52	62,62	62,56	62,46	62,66
14	62,68	62,61	62,66	62,55	62,67	62,65	62,64	62,60	62,54	62,57
15	62,64	62,64	62,63	62,40	62,58	62,51	62,52	62,61	62,61	62,47
16	62,61	62,55	62,67	62,60	62,51	62,38	62,70	62,66	62,54	62,68
17	62,43	62,47	62,54	62,58	62,51	62,65	62,51	62,44	62,64	62,62
18	62,65	62,61	62,71	62,58	62,61	62,62	62,51	62,59	62,40	62,51
19	62,71	62,54	62,41	62,54	62,66	62,56	62,58	62,51	62,60	62,47
20	62,50	62,62	62,63	62,64	62,54	62,57	62,54	62,60	62,54	62,58
21	62,67	62,63	62,41	62,51	62,64	62,62	62,69	62,57	62,53	62,55
22	62,45	62,63	62,58	62,65	62,55	62,73	62,52	62,64	62,75	62,58
23	62,66	62,39	62,62	62,60	62,57	62,73	62,62	62,56	62,60	62,57
24	62,42	62,42	62,56	62,58	62,40	62,67	62,67	62,54	62,71	62,62
25	62,61	62,54	62,60	62,64	62,50	62,44	62,58	62,48	62,64	62,73
26	62,48	62,68	62,59	62,45	62,51	62,61	62,49	62,60	62,52	62,60
27	62,48	62,58	62,64	62,69	62,75	62,57	62,51	62,57	62,60	62,51
28	62,66	62,52	62,47	62,69	62,42	62,69	62,48	62,73	62,52	62,62
29	62,46	62,65	62,60	62,50	62,61	62,42	62,51	62,53	62,68	62,57
30	62,56	62,58	62,74	62,54	62,67	62,53	62,44	62,67	62,43	62,55

Tabla 22: Medidas de longitud [mm] del ensayo en máquina 125 a punto con disco a 1/2 vida.

n	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300
1	62,74	62,54	62,87	62,76	62,77	62,70	62,55	62,71	62,69	62,70
2	62,61	62,60	62,48	62,58	62,86	62,67	62,86	62,58	62,54	62,59
3	62,67	62,73	62,63	62,82	62,65	62,84	62,87	62,74	62,77	62,73
4	62,77	62,62	62,56	62,71	62,74	62,56	62,55	62,49	62,60	62,72
5	62,64	62,66	62,71	62,71	62,60	62,70	62,73	62,65	62,75	62,68
6	62,62	62,84	62,64	62,78	62,71	62,68	62,78	62,79	62,82	62,69
7	62,70	62,83	62,49	62,62	62,79	62,82	62,81	62,69	62,70	62,64
8	62,78	62,74	62,74	62,65	62,70	62,69	62,78	62,82	62,62	62,63
9	62,74	62,66	62,54	62,78	62,75	62,65	62,68	62,64	62,78	62,71
10	62,71	62,78	62,66	62,80	62,73	62,85	62,85	62,63	62,64	62,73
11	62,79	62,67	62,55	62,65	62,70	62,61	62,63	62,73	62,64	62,74
12	62,76	62,85	62,67	62,64	62,68	62,74	62,65	62,75	62,75	62,58
13	62,66	62,64	62,55	62,73	62,77	62,62	62,74	62,67	62,56	62,78
14	62,73	62,72	62,60	62,66	62,79	62,77	62,76	62,72	62,64	62,68
15	62,71	62,59	62,82	62,49	62,69	62,61	62,63	62,72	62,72	62,57
16	62,77	62,70	62,48	62,72	62,62	62,46	62,69	62,79	62,65	62,80
17	62,70	62,73	62,74	62,70	62,61	62,78	62,62	62,54	62,76	62,74
18	62,77	62,71	62,72	62,69	62,73	62,73	62,62	62,70	62,48	62,61
19	62,70	62,62	62,85	62,65	62,79	62,66	62,69	62,61	62,71	62,57
20	62,82	62,83	62,73	62,76	62,64	62,68	62,65	62,72	62,64	62,70
21	62,66	62,72	62,74	62,62	62,76	62,73	62,82	62,68	62,63	62,66
22	62,76	62,65	62,51	62,77	62,66	62,85	62,62	62,76	62,87	62,70
23	62,56	62,72	62,70	62,71	62,68	62,44	62,74	62,66	62,72	62,67
24	62,85	62,77	62,79	62,70	62,49	62,79	62,80	62,65	62,67	62,74
25	62,71	62,71	62,78	62,76	62,60	62,53	62,69	62,57	62,76	62,86
26	62,63	62,68	62,66	62,55	62,62	62,72	62,59	62,83	62,62	62,72
27	62,62	62,81	62,52	62,81	62,87	62,68	62,62	62,68	62,72	62,61
28	62,71	62,72	62,75	62,66	62,51	62,86	62,57	62,86	62,63	62,73
29	62,52	62,70	62,52	62,60	62,73	62,51	62,61	62,63	62,81	62,68
30	62,51	62,44	62,70	62,65	62,80	62,64	62,53	62,79	62,71	62,66

Tabla 23: Medidas de longitud [mm] del ensayo en máquina 125 a punto con disco a final de vida.

n	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300
1	62,84	62,65	62,77	62,73	62,97	62,83	62,75	62,63	62,82	62,88
2	62,72	62,69	62,64	62,79	62,73	62,77	62,89	62,93	62,71	62,76
3	62,72	62,70	62,72	62,63	62,76	62,73	62,74	62,68	62,70	62,71
4	62,71	62,97	62,86	62,67	62,49	62,69	62,65	62,69	62,64	62,69
5	62,63	62,81	62,90	62,79	62,83	62,71	62,77	62,76	62,91	62,66
6	62,73	62,63	62,73	62,88	62,93	62,72	62,76	62,66	62,87	62,76
7	62,73	62,60	62,92	62,80	62,75	62,65	62,75	62,67	62,67	62,76
8	62,62	62,90	62,89	62,67	62,61	62,81	62,71	62,66	62,92	62,82
9	62,82	62,69	62,87	62,70	62,87	62,88	62,77	62,70	62,81	62,70
10	62,77	62,82	62,57	62,53	62,71	62,69	62,71	62,97	62,65	62,73
11	62,69	62,45	62,72	62,82	62,76	62,85	62,76	62,99	62,62	62,66
12	62,72	62,71	62,64	62,67	62,77	62,79	62,88	62,75	62,78	62,75
13	62,68	62,72	62,64	62,66	62,84	62,97	62,58	62,88	62,69	62,58
14	62,60	62,74	62,81	62,81	62,76	62,76	62,68	62,88	62,70	62,60
15	62,71	62,86	62,82	62,73	62,79	62,73	62,62	62,76	62,81	62,82
16	62,96	62,80	62,83	62,72	62,88	62,76	62,82	62,71	62,65	62,73
17	62,69	62,69	62,68	62,70	62,71	62,63	62,82	62,97	62,57	62,67
18	62,83	62,77	62,92	62,63	62,54	62,64	62,61	62,76	62,53	62,71
19	62,74	62,76	62,56	62,89	62,79	62,87	62,68	62,58	62,73	62,87
20	62,98	62,70	62,67	62,84	62,94	62,69	62,78	62,74	62,76	62,71
21	62,64	62,89	62,84	62,83	62,73	62,84	62,86	62,67	62,82	62,70
22	62,81	62,74	62,58	62,68	62,91	62,77	62,81	62,66	62,80	62,77
23	62,77	62,61	62,65	62,92	62,78	62,76	62,81	62,90	62,75	62,75
24	62,65	62,72	62,85	62,68	62,76	62,70	62,76	62,82	62,75	62,63
25	62,68	62,75	62,70	62,73	62,68	62,95	62,48	62,66	62,70	62,62
26	62,60	62,93	62,62	62,50	62,83	62,73	62,85	62,78	62,88	62,60
27	62,58	62,72	62,91	62,77	62,64	62,72	62,74	62,81	62,54	62,99
28	62,70	62,99	62,80	62,75	62,74	62,82	62,64	62,86	62,83	62,79
29	62,67	62,72	62,64	62,74	62,87	62,80	62,98	62,69	62,86	62,82
30	62,73	62,72	62,66	62,93	62,53	62,66	62,68	62,77	62,69	62,72

Tabla 24: Medidas de masa [g] del ensayo en máquina 125 a punto con disco nuevo.

n	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300
1	119,3	119,2	119,3	119,4	119,5	119,3	119,1	119,3	119,3	119,3
2	119,5	118,8	119,2	119,4	119,6	119,3	119,3	119,1	119,1	119,1
3	119,3	119,4	119,2	119,4	119,2	119,4	119,5	119,4	119,5	119,4
4	119,4	119,1	119,1	119,3	119,4	119,1	119,1	119,0	119,2	119,3
5	119,6	119,4	119,3	119,0	119,2	119,3	119,4	119,2	119,4	119,3
6	119,2	119,1	119,3	119,2	119,4	119,3	119,5	119,5	119,5	119,3
7	119,1	119,1	119,0	119,4	119,5	119,5	119,6	119,3	119,3	119,2
8	119,2	119,4	119,1	119,3	119,3	119,3	119,5	119,5	119,2	119,2
9	119,2	119,5	119,2	119,1	119,4	119,2	119,3	119,2	119,5	119,4
10	119,3	119,1	119,4	119,4	119,4	119,4	119,6	119,2	119,2	119,4
11	119,3	119,5	119,3	119,3	119,3	119,2	119,2	119,4	119,2	119,4
12	119,1	119,1	119,2	119,2	119,3	119,4	119,2	119,4	119,4	119,1
13	119,4	119,1	119,2	119,4	119,5	119,2	119,4	119,3	119,1	119,5
14	119,4	119,4	119,3	119,3	119,5	119,5	119,5	119,4	119,2	119,3
15	119,3	119,3	119,3	119,0	119,3	119,2	119,2	119,4	119,4	119,2
16	119,3	119,2	119,4	119,4	119,2	118,9	119,5	119,5	119,2	119,5
17	119,0	118,8	119,2	119,3	119,2	119,5	119,2	119,1	119,4	119,4
18	119,3	119,3	119,5	119,3	119,4	119,4	119,2	119,3	119,0	119,2
19	119,5	119,1	119,0	119,2	119,5	119,3	119,3	119,2	119,4	119,1
20	119,2	119,3	119,3	119,4	119,2	119,3	119,2	119,4	119,2	119,3
21	119,4	119,3	118,9	119,2	119,4	119,4	119,5	119,3	119,3	119,3
22	118,9	119,3	119,2	119,5	119,3	119,6	119,2	119,4	119,6	119,3
23	119,4	119,3	119,3	119,4	119,3	119,6	119,4	119,3	119,4	119,3
24	119,0	119,0	119,2	119,3	119,0	119,5	119,5	119,2	119,6	119,4
25	119,3	119,2	119,3	119,4	119,2	119,1	119,3	119,1	119,4	119,6
26	119,1	119,4	119,3	119,1	119,2	119,4	119,1	119,4	119,2	119,4
27	119,0	119,2	119,4	119,5	119,6	119,3	119,2	119,3	119,4	119,2
28	119,4	119,2	119,1	119,5	119,0	119,5	119,1	119,6	119,2	119,4
29	119,1	119,3	119,3	119,2	119,4	119,0	119,2	119,2	119,5	119,3
30	119,0	119,3	119,5	119,2	119,5	119,2	119,1	119,5	119,0	119,3

Tabla 25: Medidas de masa [g] del ensayo en máquina 125 a punto con disco a 1/2 vida.

n	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300
1	119,6	119,1	119,8	119,5	119,7	119,5	119,3	119,6	119,5	119,5
2	119,4	119,4	119,1	119,3	119,9	119,5	119,9	119,3	119,2	119,3
3	119,3	119,6	119,6	119,7	119,5	119,8	119,9	119,6	119,6	119,6
4	119,5	119,4	119,2	119,5	119,6	119,3	119,3	119,1	119,4	119,6
5	119,5	119,4	119,4	119,3	119,4	119,5	119,6	119,5	119,6	119,5
6	119,3	119,7	119,4	119,6	119,6	119,5	119,7	119,7	119,8	119,5
7	119,5	119,6	119,1	119,3	119,7	119,8	119,8	119,5	119,5	119,4
8	119,5	119,5	119,5	119,3	119,5	119,5	119,7	119,8	119,3	119,4
9	119,5	119,4	119,1	119,6	119,6	119,5	119,5	119,5	119,7	119,6
10	119,5	119,6	119,4	119,6	119,6	119,8	119,8	119,4	119,4	119,6
11	119,7	119,4	119,2	119,5	119,5	119,4	119,4	119,6	119,4	119,6
12	119,5	119,6	119,4	119,4	119,5	119,6	119,5	119,6	119,6	119,3
13	119,4	119,4	119,2	119,6	119,7	119,4	119,6	119,5	119,3	119,7
14	119,5	119,6	119,1	119,5	119,7	119,7	119,7	119,6	119,4	119,5
15	119,5	119,2	119,6	119,1	119,5	119,4	119,4	119,6	119,6	119,3
16	119,7	119,5	119,1	119,6	119,4	119,1	119,5	119,7	119,5	119,7
17	119,5	119,5	119,6	119,5	119,4	119,7	119,4	119,2	119,7	119,6
18	119,6	119,5	119,5	119,5	119,6	119,6	119,5	119,5	119,1	119,4
19	119,5	119,3	119,6	119,5	119,7	119,5	119,5	119,4	119,6	119,3
20	119,7	119,7	119,5	119,7	119,6	119,5	119,5	119,6	119,4	119,5
21	119,4	119,5	119,6	119,4	119,7	119,6	119,8	119,5	119,4	119,5
22	119,5	119,4	119,1	119,7	119,5	119,8	119,4	119,7	119,9	119,6
23	119,2	119,5	119,4	119,6	119,5	119,1	119,6	119,5	119,6	119,5
24	119,6	119,5	119,6	119,5	119,1	119,6	119,7	119,5	119,5	119,6
25	119,4	119,5	119,6	119,7	119,4	119,2	119,5	119,3	119,7	119,9
26	119,4	119,5	119,2	119,3	119,4	119,6	119,3	119,8	119,4	119,6
27	119,4	119,7	119,2	119,8	119,9	119,5	119,4	119,5	119,6	119,4
28	119,4	119,5	119,6	119,5	119,2	119,9	119,3	119,9	119,4	119,6
29	119,2	119,4	119,2	119,4	119,6	119,2	119,4	119,4	119,8	119,5
30	118,9	118,9	119,4	119,5	119,7	119,4	119,2	119,7	119,6	119,5

Tabla 26: Medidas de masa [g] del ensayo en máquina 125 a punto con disco a final de vida.

n	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300
1	119,7	119,4	119,6	119,5	120,1	119,8	119,6	119,4	119,8	119,9
2	119,5	119,4	119,4	119,6	119,6	119,7	119,9	120,0	119,6	119,7
3	119,5	119,5	119,4	119,4	119,7	119,6	119,6	119,5	119,5	119,6
4	119,5	120,0	119,5	119,2	119,1	119,5	119,6	119,5	119,4	119,5
5	119,3	119,7	119,8	119,6	119,8	119,6	119,7	119,7	119,9	119,5
6	119,5	119,3	119,5	119,8	120,0	119,6	119,7	119,5	119,9	119,7
7	119,5	119,3	119,7	119,7	119,6	119,5	119,6	119,5	119,5	119,7
8	119,3	119,6	119,9	119,4	119,4	119,8	119,6	119,5	120,0	119,8
9	119,8	119,4	119,7	119,4	119,9	119,9	119,7	119,5	119,8	119,5
10	119,6	119,8	119,1	119,5	119,7	119,5	119,6	120,1	119,5	119,6
11	119,4	119,0	119,5	119,8	119,7	119,8	119,7	120,1	119,4	119,5
12	119,6	119,5	119,4	119,5	119,7	119,7	119,9	119,6	119,6	119,6
13	119,4	119,5	119,3	119,5	119,8	120,1	119,3	119,9	119,5	119,3
14	119,0	119,6	119,6	119,8	119,7	119,7	119,5	119,9	119,5	119,4
15	119,4	119,7	119,8	119,6	119,7	119,6	119,4	119,7	119,8	119,8
16	120,0	119,6	119,7	119,6	119,9	119,7	119,8	119,6	119,5	119,6
17	119,4	119,5	119,5	119,5	119,6	119,4	119,7	120,1	119,3	119,5
18	119,7	119,6	119,8	119,4	119,2	119,4	119,5	119,7	119,2	119,6
19	119,5	119,6	119,2	119,9	119,7	119,9	119,5	119,3	119,6	119,9
20	120,0	119,4	119,4	119,8	120,0	119,5	119,7	119,6	119,7	119,6
21	119,4	119,8	119,7	119,8	119,6	119,8	119,9	119,5	119,8	119,5
22	119,6	119,5	119,2	119,5	119,8	119,7	119,8	119,5	119,7	119,7
23	119,5	119,1	119,2	120,0	119,7	119,7	119,8	119,9	119,6	119,6
24	119,5	119,6	119,7	119,5	119,7	119,5	119,7	119,8	119,6	119,4
25	119,3	119,5	119,5	119,6	119,5	120,0	119,1	119,5	119,7	119,4
26	119,3	119,8	119,2	119,2	119,8	119,6	119,8	119,7	119,9	119,4
27	119,2	119,4	119,8	119,7	119,4	119,6	119,6	119,8	119,2	120,1
28	119,5	119,9	119,7	119,6	119,6	119,8	119,4	119,9	119,8	119,7
29	119,4	119,5	119,0	119,6	119,9	119,7	120,1	119,5	119,9	119,8
30	119,5	119,5	119,4	120,0	119,2	119,5	119,5	119,7	119,5	119,6

Tabla 27: Medidas de longitud [mm] del ensayo en máquina 137 estándar con disco nuevo.

n	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300
1	58,90	58,95	59,01	58,52	59,05	59,00	59,16	58,94	58,79	58,79
2	58,97	58,70	58,94	58,93	58,96	58,47	58,98	58,89	58,75	58,89
3	58,94	58,60	58,68	59,02	59,09	59,00	59,11	58,98	58,80	58,70
4	58,92	58,91	59,00	58,98	59,08	59,18	59,06	58,96	59,06	58,84
5	58,46	59,12	58,71	58,97	58,85	58,98	59,15	58,85	58,67	58,88
6	58,67	59,00	59,06	59,03	59,11	58,88	59,14	58,70	59,03	59,00
7	58,95	59,04	59,07	59,00	58,95	59,02	58,66	58,88	58,76	58,97
8	59,05	58,96	58,87	58,92	59,09	58,91	58,96	58,64	58,71	58,65
9	58,66	59,00	59,00	58,76	58,92	58,92	58,91	58,49	58,99	58,84
10	58,59	58,91	58,96	58,92	58,50	58,96	58,93	58,94	58,86	58,68
11	58,86	59,18	59,12	58,82	59,15	58,86	58,87	58,67	58,86	58,78
12	58,76	59,18	59,03	59,09	58,99	58,63	59,05	58,84	58,72	58,89
13	59,01	59,02	58,74	58,81	58,83	58,90	58,79	59,00	58,91	58,76
14	58,86	59,05	58,85	58,95	58,80	59,01	58,84	58,80	59,07	58,97
15	58,68	58,92	58,87	59,03	58,95	58,95	59,07	58,66	58,80	58,48
16	58,89	58,87	58,93	59,00	58,96	58,64	58,99	58,98	58,51	58,97
17	58,83	59,08	58,76	58,95	58,89	59,01	58,80	58,87	58,71	58,48
18	58,95	58,73	59,05	58,92	58,93	59,07	59,14	58,86	59,12	58,89
19	59,15	59,00	58,92	59,10	58,56	58,49	58,95	58,81	58,81	58,53
20	58,91	58,76	58,79	58,78	58,94	58,47	58,96	58,82	58,46	58,72
21	58,99	58,99	58,90	58,90	58,68	59,04	58,69	58,75	58,98	58,63
22	58,61	58,85	58,96	58,94	58,97	58,86	59,07	58,86	58,82	58,98
23	58,79	58,59	58,70	58,91	58,93	58,64	58,99	58,68	58,87	58,88
24	58,52	58,82	58,68	59,11	58,70	59,01	58,67	59,09	58,86	58,99
25	58,89	59,17	59,08	58,84	59,04	58,64	59,00	58,57	58,86	58,87
26	58,94	58,91	59,04	59,14	58,73	59,06	59,03	58,84	59,09	59,04
27	58,92	58,67	58,97	58,97	58,73	58,85	58,99	59,12	58,93	59,05
28	58,93	58,68	59,10	58,92	58,60	58,89	58,90	59,02	58,84	59,05
29	59,08	58,98	58,87	59,11	59,18	58,96	58,97	58,91	58,79	58,98
30	59,06	58,53	59,09	58,73	58,84	59,05	58,65	58,84	59,15	58,77

Tabla 28: Medidas de longitud [mm] del ensayo en máquina 137 estándar con disco a 1/2 vida.

n	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300
1	58,96	58,96	59,00	59,27	59,23	59,39	59,12	59,04	59,08	58,93
2	58,94	59,31	59,29	59,09	59,50	59,01	59,28	59,50	59,16	58,99
3	59,31	59,39	59,18	59,13	58,89	59,24	59,09	59,20	59,11	59,10
4	58,93	59,28	59,16	58,91	59,33	59,34	59,06	59,10	59,24	59,10
5	58,93	59,28	59,28	58,98	59,45	58,93	58,92	59,27	59,46	59,09
6	59,10	58,89	58,88	59,00	58,90	58,96	58,92	59,02	59,20	59,36
7	59,08	58,95	59,37	59,51	59,12	59,01	59,13	59,19	58,99	59,13
8	58,93	59,12	59,08	59,49	59,12	58,92	59,46	59,03	58,97	59,21
9	59,35	59,90	58,97	59,21	59,49	58,99	59,04	59,36	59,12	58,98
10	59,35	58,88	59,07	59,34	59,05	59,46	59,34	59,17	59,09	59,11
11	59,01	58,99	59,29	59,16	58,89	59,17	59,03	59,15	59,14	59,11
12	59,26	59,48	59,46	59,11	59,13	58,93	59,45	58,96	59,17	59,34
13	59,15	59,25	59,07	59,43	59,15	59,23	59,30	59,03	59,06	59,33
14	58,88	59,52	59,23	58,90	58,88	59,50	58,97	58,91	59,00	59,26
15	59,17	59,02	58,98	59,40	59,23	59,06	59,26	59,13	59,10	59,49
16	59,30	59,49	59,18	59,12	59,30	59,33	59,39	59,14	58,94	58,95
17	59,20	59,03	59,33	59,39	59,36	59,14	58,92	59,05	59,30	59,18
18	59,33	59,07	59,16	59,15	59,31	59,05	59,01	59,03	59,19	58,90
19	58,91	58,95	59,26	59,06	59,13	59,06	59,30	59,00	58,97	59,19
20	59,31	59,45	59,23	59,20	59,45	59,04	59,06	59,21	59,31	59,06
21	58,91	59,08	59,17	58,99	59,03	59,05	59,05	59,24	59,10	59,50
22	58,91	59,04	59,13	59,24	59,06	59,25	59,25	58,93	58,89	58,90
23	59,05	59,39	59,29	59,01	59,23	59,11	58,90	59,31	59,14	59,45
24	59,24	59,08	59,33	59,30	59,28	58,94	59,06	59,12	59,17	58,91
25	59,19	58,91	58,96	59,00	59,02	58,95	59,21	58,92	59,09	58,90
26	59,33	59,19	59,01	58,89	59,15	59,33	59,06	59,35	58,94	59,47
27	59,20	59,15	59,00	59,30	59,01	59,51	59,28	59,24	59,36	59,48
28	59,05	59,15	59,21	59,44	59,01	59,02	58,91	58,99	58,98	59,38
29	59,13	59,07	59,32	59,09	59,42	58,99	59,48	58,92	59,14	59,06
30	58,93	59,28	59,05	59,12	59,07	59,20	59,05	59,16	59,23	59,24

Tabla 29: Medidas de longitud [mm] del ensayo en máquina 137 estándar con disco a final de vida.

n	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300
1	58,93	59,34	58,41	58,62	58,71	58,79	58,86	58,97	59,08	59,19
2	58,92	58,68	58,41	58,63	58,71	58,79	58,87	58,98	59,08	59,21
3	58,63	59,33	58,43	58,63	58,71	58,80	58,87	58,98	59,09	59,21
4	58,71	59,05	58,44	58,63	58,73	58,80	58,87	58,98	59,09	59,21
5	59,25	59,15	58,44	58,63	58,73	58,80	58,87	58,98	59,09	59,22
6	58,97	58,82	58,45	58,64	58,74	58,80	58,88	58,99	59,09	59,24
7	59,28	59,03	58,46	58,65	58,74	58,80	58,88	58,99	59,09	59,28
8	58,61	58,69	58,48	59,17	58,74	58,80	58,88	59,00	59,09	59,29
9	58,59	59,23	58,49	58,65	58,75	58,80	58,88	59,01	59,09	59,30
10	59,35	59,32	58,49	58,65	58,75	58,80	58,88	59,01	59,10	59,31
11	59,30	58,53	58,50	58,65	58,75	58,81	58,89	59,01	59,10	59,31
12	59,29	58,71	58,51	58,65	58,75	58,81	58,89	59,02	59,11	59,33
13	58,44	59,15	58,51	58,66	58,75	58,81	58,89	59,02	59,12	59,34
14	58,65	59,33	58,51	58,66	58,76	58,81	58,90	59,02	59,12	59,34
15	58,67	59,08	58,52	58,66	58,76	58,82	58,90	59,02	59,13	59,34
16	59,32	58,61	58,52	58,67	58,76	58,82	58,91	59,02	59,13	59,35
17	59,05	58,79	58,53	58,67	58,76	58,82	58,91	59,02	59,13	59,35
18	58,61	58,92	58,54	59,24	58,76	58,83	58,92	59,03	59,13	59,35
19	59,29	59,10	58,55	58,68	58,76	58,83	58,92	59,03	59,13	59,33
20	58,97	59,19	58,55	59,31	59,13	59,26	58,93	59,03	59,13	59,33
21	58,76	58,38	58,56	58,69	58,77	58,83	58,93	59,03	59,13	59,31
22	59,33	58,38	58,56	58,69	58,78	58,83	58,94	59,04	59,14	59,31
23	59,28	58,39	58,57	59,30	58,78	58,84	58,95	59,04	59,14	59,30
24	59,33	58,39	58,57	58,69	58,78	58,84	58,95	59,05	59,14	59,30
25	59,01	58,40	58,57	58,70	58,78	58,84	58,95	59,05	59,15	59,30
26	58,62	58,40	58,59	58,70	58,78	58,85	58,95	59,06	59,15	59,30
27	58,84	58,40	59,27	58,70	58,79	58,85	58,96	59,06	59,17	59,25
28	58,38	58,42	58,59	59,32	58,79	58,85	58,96	59,06	59,19	59,26
29	58,70	58,40	58,62	58,71	58,79	58,86	58,97	59,07	59,19	59,28
30	58,77	58,41	58,62	58,71	58,79	58,86	58,97	59,07	59,19	59,29

Tabla 30: Medidas de masa [g] del ensayo en máquina 137 estándar con disco nuevo.

n	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300
1	112,3	112,2	112,5	111,6	112,6	112,5	112,8	112,4	112,1	112,1
2	112,4	111,8	112,4	112,4	112,4	111,5	112,5	112,3	112,0	112,3
3	112,3	111,8	111,9	112,5	112,7	112,5	112,7	112,5	112,1	111,9
4	112,2	112,3	112,5	112,5	112,6	112,8	112,6	112,4	112,6	112,2
5	111,3	112,7	111,9	112,4	112,2	112,5	112,8	112,2	111,9	112,3
6	111,9	112,4	112,6	112,5	112,7	112,3	112,8	111,9	112,5	112,5
7	112,1	112,4	112,6	112,5	112,4	112,5	111,9	112,3	112,0	112,4
8	112,5	112,3	112,2	112,3	112,7	112,3	112,4	111,8	111,9	111,8
9	111,9	112,5	112,5	112,0	112,3	112,3	112,3	111,5	112,7	112,2
10	112,1	112,3	112,4	112,3	111,5	112,3	112,4	112,4	112,2	111,9
11	112,1	112,8	112,7	112,1	112,8	112,2	112,2	111,9	112,2	112,1
12	112,0	112,8	112,5	112,7	112,5	111,8	112,6	112,2	112,0	112,3
13	112,5	112,5	112,0	112,1	112,2	112,3	112,1	112,5	112,3	112,0
14	112,2	112,5	112,2	112,4	112,1	112,5	112,2	112,1	112,6	112,4
15	111,9	112,3	112,2	112,5	112,4	112,4	112,6	111,8	112,1	111,5
16	111,8	112,2	112,4	112,5	112,4	111,8	112,5	112,5	111,6	112,4
17	112,2	112,6	112,0	112,4	112,3	112,5	112,1	112,2	111,9	111,5
18	112,3	112,0	112,6	112,3	112,4	112,6	112,8	112,2	112,6	112,3
19	112,7	112,4	112,3	112,7	111,7	111,5	112,4	112,1	112,1	111,6
20	112,2	112,0	112,1	112,1	112,4	111,5	112,4	112,1	111,5	112,0
21	112,3	112,5	112,3	112,3	111,9	112,6	111,9	112,0	112,5	111,8
22	111,6	112,2	112,4	112,4	112,4	112,2	112,6	112,2	112,1	112,5
23	111,8	111,7	111,9	112,3	112,4	111,8	112,5	111,9	112,2	112,3
24	111,5	112,1	111,9	112,7	111,9	112,5	111,9	112,7	112,2	112,5
25	112,2	112,8	112,6	112,2	112,6	111,8	112,5	111,7	112,2	112,2
26	112,4	112,3	112,6	112,8	112,0	112,6	112,5	112,2	112,7	112,6
27	112,3	111,9	112,4	112,4	112,0	112,2	112,5	112,7	112,4	112,6
28	112,2	111,9	112,7	112,3	111,7	112,3	112,3	112,5	112,2	112,6
29	112,2	112,5	112,2	112,7	112,8	112,4	112,4	112,3	112,1	112,5
30	112,6	111,6	112,7	112,0	112,2	112,6	111,8	112,2	112,8	112,1

Tabla 31: Medidas de masa [g] del ensayo en máquina 137 estándar con disco a 1/2 vida.

n	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300
1	112,3	112,4	112,5	113,0	112,9	113,2	112,7	112,6	112,6	112,4
2	112,3	113,0	113,0	112,7	113,4	112,5	113,0	113,4	112,8	112,5
3	113,0	113,1	112,8	112,7	112,3	112,9	112,7	112,9	112,7	112,7
4	112,3	113,0	112,8	112,3	113,1	113,1	112,6	112,7	112,9	112,7
5	112,3	113,0	113,0	112,5	113,3	112,4	112,3	113,0	113,4	112,9
6	112,6	112,2	112,3	112,5	112,3	112,5	112,2	112,5	112,8	113,2
7	112,6	112,7	113,2	113,5	112,7	112,5	112,7	112,9	112,5	112,7
8	113,0	112,6	112,8	113,4	112,7	112,3	113,4	112,5	112,4	112,9
9	113,0	112,5	112,4	112,9	113,4	112,5	112,6	113,2	112,7	112,5
10	113,0	112,2	112,6	113,1	112,6	113,4	113,1	112,7	112,7	112,7
11	112,4	112,5	113,0	112,8	112,3	112,8	112,5	112,8	112,9	112,7
12	112,8	113,3	113,4	112,7	112,7	112,4	113,3	112,4	112,8	113,1
13	112,7	112,9	112,6	113,3	112,8	112,9	113,1	112,5	112,6	113,2
14	112,3	113,5	112,9	112,3	112,3	113,4	112,4	112,3	112,5	113,0
15	112,8	112,5	112,5	113,3	112,8	112,6	113,0	112,7	112,7	113,4
16	113,0	112,7	112,8	112,7	113,1	113,1	113,2	112,8	112,4	112,4
17	113,3	112,5	113,1	113,2	113,2	112,8	112,3	112,6	113,1	112,8
18	113,0	112,6	112,8	112,8	113,1	112,6	112,5	112,5	112,9	112,3
19	112,3	112,3	113,0	112,6	112,7	112,6	113,1	112,5	112,4	112,9
20	113,0	113,3	112,9	112,9	113,3	112,6	112,6	112,9	113,1	112,6
21	112,3	112,6	112,8	112,5	112,5	112,6	112,6	112,9	112,7	113,4
22	112,3	112,6	112,7	112,9	112,6	113,0	113,0	112,4	112,3	112,3
23	112,6	113,2	113,0	112,5	112,9	112,7	112,3	113,1	112,8	113,3
24	112,9	112,6	113,1	113,1	113,0	112,4	112,6	112,7	112,8	112,3
25	112,8	112,3	112,4	112,5	112,5	112,4	112,9	112,3	112,7	112,3
26	113,1	112,9	112,5	112,3	112,8	113,1	112,6	113,2	112,4	113,4
27	112,9	112,8	112,5	113,1	112,5	113,4	113,0	112,9	113,2	113,4
28	112,4	112,8	112,9	113,3	112,5	112,5	112,3	112,5	112,5	113,2
29	112,7	112,6	113,1	112,7	113,3	112,5	113,4	112,3	112,8	112,6
30	112,3	113,0	112,6	112,7	112,6	112,9	112,6	112,8	112,9	112,9

Tabla 32: Medidas de masa [g] del ensayo en máquina 137 estándar con disco a final de vida.

n	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300
1	112,5	113,1	111,4	111,8	111,9	112,1	112,2	112,4	112,6	112,9
2	112,4	111,8	111,5	111,8	111,8	112,1	112,2	112,5	112,6	112,9
3	111,8	113,1	111,4	111,8	111,9	112,0	112,2	112,5	112,7	112,9
4	111,8	112,7	111,6	111,7	112,0	112,1	112,2	112,5	112,7	112,8
5	112,1	112,9	111,4	111,8	112,0	112,1	112,2	112,5	112,7	112,9
6	112,5	112,3	111,4	111,8	112,1	112,2	112,3	112,5	112,7	112,9
7	112,0	112,5	111,5	111,8	112,0	112,1	112,4	112,4	112,7	113,0
8	111,8	111,9	111,5	112,7	112,2	112,1	112,3	112,5	112,7	113,0
9	111,7	113,1	111,5	111,8	112,0	112,1	112,3	112,5	112,8	113,1
10	113,3	113,2	111,5	111,8	112,0	112,1	112,3	112,5	112,7	113,1
11	112,3	111,6	111,5	111,8	112,0	112,1	112,3	112,5	112,7	113,2
12	113,3	111,9	111,6	111,9	112,0	112,1	112,3	112,5	112,7	113,1
13	111,3	112,2	111,6	111,9	112,0	112,1	112,3	112,5	112,8	113,1
14	111,7	112,3	111,6	111,8	112,0	112,1	112,3	112,5	112,7	113,1
15	111,8	112,7	111,6	111,8	112,0	112,1	112,3	112,5	112,7	113,1
16	113,3	111,9	111,6	111,9	112,0	112,1	112,3	112,5	112,7	113,2
17	112,8	112,1	111,6	111,9	112,0	112,1	112,3	112,5	112,7	113,2
18	112,0	112,4	111,6	112,9	112,0	112,2	112,3	112,5	112,7	113,1
19	112,2	112,6	111,6	111,9	112,0	112,2	112,3	112,5	112,7	113,1
20	112,4	112,9	111,6	113,1	112,7	113,0	112,4	112,5	112,7	113,0
21	112,0	111,3	111,7	111,9	112,1	112,2	112,4	112,5	112,7	113,1
22	113,1	111,3	111,7	111,9	112,1	112,2	112,4	112,6	112,8	113,1
23	111,9	111,3	111,7	113,1	112,1	112,2	112,4	112,6	112,8	113,1
24	113,1	111,3	111,7	111,9	112,1	112,2	112,4	112,6	112,8	113,1
25	112,7	111,3	111,7	111,9	112,1	112,2	112,4	112,6	112,8	113,1
26	112,0	111,3	111,7	111,9	112,1	112,4	112,4	112,6	112,8	113,1
27	112,2	111,3	113,0	111,9	112,1	112,2	112,4	112,6	112,8	113,0
28	111,3	111,4	111,7	113,1	112,1	112,2	112,4	112,6	112,9	113,0
29	112,0	111,3	111,8	111,9	112,1	112,2	112,4	112,6	112,9	113,0
30	112,2	111,4	111,8	111,9	112,1	112,2	112,4	112,6	112,9	113,0

Tabla 33: Medidas de longitud [mm] del ensayo en máquina 137 a punto con disco nuevo.

n	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300
1	58,53	58,57	58,49	58,51	58,59	58,52	58,60	58,54	58,69	58,50
2	58,52	58,55	58,60	58,52	58,60	58,60	58,47	58,54	58,39	58,72
3	58,59	58,62	58,50	58,59	58,55	58,46	58,63	58,56	58,43	58,47
4	58,53	58,64	58,62	58,61	58,58	58,52	58,55	58,57	58,59	58,65
5	58,40	58,56	58,50	58,51	58,58	58,58	58,46	58,53	58,62	58,56
6	58,58	58,50	58,38	58,56	58,63	58,52	58,47	58,48	58,43	58,58
7	58,56	58,50	58,77	58,50	58,44	58,62	58,60	58,65	58,42	58,56
8	58,56	58,59	58,59	58,50	58,57	58,40	58,50	58,49	58,66	58,47
9	58,53	58,63	58,54	58,56	58,49	58,58	58,46	58,56	58,52	58,53
10	58,61	58,52	58,55	58,53	58,58	58,52	58,56	58,66	58,60	58,51
11	58,50	58,61	58,59	58,66	58,55	58,52	58,53	58,66	58,67	58,49
12	58,62	58,54	58,70	58,50	58,61	58,71	58,56	58,62	58,37	58,56
13	58,57	58,55	58,45	58,60	58,54	58,58	58,55	58,54	58,60	58,66
14	58,56	58,40	58,64	58,64	58,52	58,54	58,60	58,54	58,54	58,69
15	58,61	58,49	58,44	58,56	58,47	58,61	58,69	58,53	58,51	58,54
16	58,45	58,50	58,58	58,48	58,57	58,51	58,58	58,65	58,56	58,42
17	58,65	58,73	58,55	58,50	58,55	58,58	58,49	58,55	58,58	58,46
18	58,53	58,42	58,55	58,47	58,69	58,51	58,59	58,59	58,51	58,63
19	58,49	58,59	58,42	58,49	58,51	58,65	58,55	58,49	58,49	58,68
20	58,53	58,64	58,52	58,43	58,64	58,57	58,54	58,54	58,59	58,51
21	58,62	58,57	58,45	58,57	58,56	58,56	58,56	58,54	58,55	58,48
22	58,69	58,55	58,55	58,47	58,44	58,48	58,69	58,64	58,55	58,60
23	58,53	58,58	58,70	58,60	58,62	58,59	58,52	58,63	58,64	58,47
24	58,59	58,46	58,45	58,41	58,49	58,58	58,50	58,61	58,73	58,68
25	58,49	58,56	58,59	58,52	58,61	58,55	58,54	58,42	58,51	58,57
26	58,57	58,55	58,62	58,63	58,66	58,56	58,47	58,48	58,49	58,56
27	58,64	58,66	58,65	58,56	58,57	58,52	58,62	58,58	58,45	58,75
28	58,57	58,56	58,63	58,66	58,50	58,51	58,58	58,39	58,69	58,51
29	58,61	58,52	58,55	58,52	58,62	58,57	58,49	58,58	58,55	58,76
30	58,59	58,58	58,69	58,51	58,52	58,59	58,63	58,52	58,67	58,57

**Tabla 34: Medidas de longitud [mm] del ensayo en máquina 137 a punto con disco a 1/2 vida.**

n	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300
1	58,70	58,58	58,64	58,72	58,63	58,69	58,68	58,75	58,83	58,69
2	58,86	58,66	58,61	58,70	58,66	58,72	58,57	58,63	58,45	58,73
3	58,45	58,62	58,68	58,55	58,89	58,62	58,61	58,63	58,44	58,56
4	58,70	58,65	58,77	58,75	58,66	58,74	58,72	58,49	58,70	58,54
5	58,61	58,67	58,64	58,63	58,68	58,79	58,68	58,75	58,63	58,43
6	58,60	58,73	58,67	58,78	58,66	58,72	58,65	58,63	58,68	58,70
7	58,72	58,71	58,68	58,62	58,65	58,72	58,66	58,77	58,70	58,69
8	58,53	58,61	58,68	58,73	58,55	58,64	58,73	58,69	58,75	58,60
9	58,64	58,62	58,64	58,74	58,60	58,75	58,66	58,70	58,69	58,82
10	58,68	58,81	58,63	58,81	58,61	58,72	58,85	58,61	58,69	58,62
11	58,61	58,50	58,69	58,82	58,62	58,59	58,65	58,46	58,82	58,80
12	58,63	58,65	58,65	58,53	58,66	58,68	58,59	58,67	58,77	58,68
13	58,61	58,49	58,83	58,58	58,61	58,73	58,56	58,61	58,69	58,63
14	58,68	58,65	58,67	58,60	58,65	58,61	58,65	58,64	58,70	58,72
15	58,80	58,62	58,64	58,51	58,49	58,60	58,73	58,73	58,59	58,61
16	58,70	58,61	58,65	58,68	58,73	58,68	58,69	58,48	58,47	58,69
17	58,66	58,64	58,78	58,66	58,73	58,68	58,69	58,68	58,64	58,72
18	58,73	58,75	58,57	58,51	58,70	58,59	58,65	58,59	58,57	58,71
19	58,65	58,72	58,72	58,64	58,69	58,76	58,79	58,69	58,70	58,62
20	58,77	58,64	58,84	58,66	58,66	58,56	58,43	58,63	58,58	58,42
21	58,74	58,65	58,69	58,46	58,71	58,65	58,61	58,66	58,87	58,73
22	58,62	58,54	58,58	58,71	58,66	58,68	58,58	58,65	58,68	58,71
23	58,64	58,75	58,60	58,68	58,81	58,59	58,64	58,61	58,65	58,68
24	58,72	58,75	58,59	58,60	58,61	58,77	58,73	58,70	58,70	58,67
25	58,65	58,68	58,64	58,64	58,64	58,67	58,66	58,62	58,69	58,69
26	58,60	58,62	58,72	58,57	58,77	58,61	58,65	58,55	58,58	58,81
27	58,64	58,60	58,60	58,59	58,60	58,65	58,62	58,68	58,56	58,72
28	58,65	58,67	58,58	58,62	58,59	58,61	58,68	58,63	58,66	58,66
29	58,64	58,60	58,60	58,61	58,68	58,67	58,61	58,55	58,80	58,73
30	58,69	58,57	58,70	58,71	58,64	58,58	58,75	58,66	58,70	58,62

**Tabla 35: Medidas de longitud [mm] del ensayo en máquina 137 a punto con disco a final de vida.**

n	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300
1	58,72	58,76	58,73	58,68	58,56	58,56	58,67	58,68	58,83	58,82
2	58,77	58,72	58,91	58,65	58,60	58,66	58,67	58,63	58,57	58,67
3	58,94	58,74	58,65	58,60	58,65	58,66	58,57	58,59	58,67	58,64
4	58,47	58,76	58,84	58,59	58,63	58,71	58,70	58,60	58,70	58,66
5	58,85	58,82	58,69	58,93	58,73	58,46	58,41	58,87	58,76	58,67
6	58,77	58,72	58,75	58,76	58,92	58,73	58,77	58,76	58,54	58,68
7	58,88	58,74	58,78	58,78	58,51	58,94	58,76	58,76	58,64	58,76
8	58,58	58,63	58,66	58,62	58,68	58,69	58,63	58,57	58,74	58,66
9	58,65	58,79	58,78	58,92	58,76	58,74	58,59	58,84	58,76	58,68
10	58,67	58,72	58,64	58,69	58,70	58,73	58,74	58,77	58,67	58,54
11	58,50	58,52	58,77	58,43	58,69	58,68	58,72	58,66	58,73	58,76
12	58,84	58,62	58,64	58,93	58,77	58,62	58,65	58,67	58,72	58,78
13	58,49	58,71	58,68	58,75	58,70	58,64	58,63	58,79	58,75	58,54
14	58,86	58,73	58,85	58,73	58,91	58,81	58,72	58,78	58,75	58,80
15	58,66	58,79	58,71	58,73	58,72	58,49	58,53	58,76	58,64	58,80
16	58,74	58,75	58,75	58,83	58,61	58,48	58,62	58,65	58,72	58,76
17	58,72	58,65	58,73	58,80	58,58	58,61	58,64	58,83	58,70	58,77
18	58,68	58,75	58,89	58,89	58,47	58,80	58,75	58,88	58,76	58,68
19	58,63	58,52	58,72	58,89	58,69	58,72	58,62	58,79	58,61	58,66
20	58,54	58,82	58,66	58,68	58,63	58,77	58,78	58,74	58,59	58,72
21	58,80	58,65	58,96	58,92	58,63	58,64	58,75	58,63	58,89	58,77
22	58,79	58,73	58,57	58,66	58,67	58,81	58,93	58,68	58,63	58,69
23	58,61	58,76	58,77	58,69	58,66	58,62	58,74	58,68	58,79	58,79
24	58,72	58,86	58,66	58,69	58,77	58,70	58,56	58,66	58,70	58,75
25	58,71	58,62	58,82	59,00	58,67	58,61	58,70	58,66	58,77	58,65
26	58,88	58,74	58,67	58,63	58,78	58,84	58,64	58,85	58,77	58,92
27	58,73	58,74	58,85	58,77	58,73	58,58	58,57	58,65	58,70	58,99
28	58,64	58,79	58,65	58,60	58,49	58,73	58,69	58,67	58,62	58,80
29	58,70	58,73	58,62	58,65	58,66	58,68	58,57	58,72	58,71	58,75
30	58,62	58,77	58,87	58,84	58,69	58,64	58,82	58,62	58,67	58,69

**Tabla 36: Medidas de masa [g] del ensayo en máquina 137 a punto con disco nuevo.**

n	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300
1	111,6	111,7	111,5	111,6	111,7	111,6	111,7	111,6	111,9	111,5
2	111,5	111,6	111,7	111,6	111,7	111,7	111,5	111,6	111,3	112,0
3	111,7	111,8	111,5	111,7	111,6	111,5	111,8	111,7	111,5	111,5
4	111,6	111,8	111,8	111,7	111,7	111,6	111,6	111,7	111,7	111,8
5	111,3	111,7	111,5	111,6	111,7	111,7	111,4	111,6	111,8	111,7
6	111,7	111,5	111,3	111,7	111,8	111,6	111,5	111,5	111,4	111,7
7	111,7	111,5	112,1	111,5	111,4	111,8	111,7	111,8	111,4	111,7
8	111,7	111,7	111,7	111,5	111,7	111,3	111,5	111,5	111,8	111,5
9	111,6	111,8	111,6	111,7	111,5	111,7	111,5	111,7	111,6	111,6
10	111,7	111,6	111,6	111,7	111,7	111,6	111,7	111,8	111,7	111,6
11	111,5	111,7	111,7	111,8	111,6	111,6	111,6	111,8	111,9	111,5
12	111,8	111,6	111,9	111,5	111,7	111,9	111,7	111,8	111,3	111,8
13	111,7	111,6	111,4	111,7	111,6	111,7	111,6	111,6	111,7	111,8
14	111,7	111,3	111,8	111,8	111,6	111,6	111,8	111,6	111,6	111,9
15	111,7	111,5	111,4	111,7	111,5	111,7	111,9	111,6	111,6	111,6
16	111,4	111,5	111,7	111,5	111,7	111,6	111,7	111,8	111,7	111,4
17	111,8	112,0	111,6	111,5	111,6	111,7	111,5	111,6	111,7	111,5
18	111,6	111,4	111,6	111,5	111,9	111,6	111,7	111,7	111,6	111,8
19	111,5	111,7	111,4	111,5	111,6	111,8	111,6	111,5	111,5	111,9
20	111,6	111,8	111,6	111,4	111,9	111,7	111,6	111,6	111,7	111,6
21	111,8	111,7	111,4	111,7	111,7	111,7	111,7	111,6	111,6	111,5
22	111,9	111,5	111,6	111,6	111,4	111,5	111,9	111,8	111,6	111,7
23	111,6	111,7	111,9	111,7	111,8	111,7	111,6	111,8	111,8	111,5
24	111,7	111,5	111,4	111,4	111,5	111,7	111,6	111,7	112,0	111,9
25	111,5	111,7	111,7	111,6	111,7	111,6	111,6	111,4	111,6	111,7
26	111,7	111,6	111,8	111,8	111,8	111,7	111,5	111,5	111,5	111,7
27	111,8	111,8	111,8	111,7	111,7	111,6	111,8	111,7	111,4	112,0
28	111,7	111,7	111,8	111,8	111,5	111,6	111,7	111,3	111,9	111,6
29	111,7	111,6	111,6	111,6	111,8	111,7	111,5	111,7	111,6	112,0
30	111,7	111,7	111,9	111,6	111,6	111,7	111,8	111,6	111,9	111,7

**Tabla 37: Medidas de masa [g] del ensayo en máquina 137 a punto con disco a 1/2 vida.**

n	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300
1	111,9	111,7	111,8	112,0	111,8	111,9	111,9	112,0	112,2	111,9
2	112,2	111,8	111,7	111,9	111,8	112,0	111,7	111,8	111,4	112,0
3	111,4	111,8	111,9	111,6	112,3	111,8	111,7	111,8	111,4	111,7
4	111,9	111,8	112,1	112,0	111,8	112,0	112,0	111,5	111,9	111,6
5	111,7	111,9	111,8	111,8	111,8	112,1	111,9	112,1	111,8	111,4
6	111,7	112,0	111,9	112,1	111,8	112,0	111,8	111,8	111,8	111,9
7	112,0	111,9	111,9	111,8	111,8	112,0	111,8	112,1	111,9	111,9
8	111,6	111,7	111,9	112,0	111,6	111,8	112,0	111,9	112,0	111,7
9	111,8	111,8	111,8	112,1	111,7	112,0	111,8	111,9	111,9	112,3
10	111,9	112,1	111,8	112,1	111,7	112,0	112,3	111,7	111,9	111,8
11	111,7	111,6	111,9	112,1	111,8	111,7	111,8	111,5	112,1	112,1
12	111,8	111,8	111,8	111,6	111,8	111,9	111,7	111,9	112,1	111,9
13	111,7	111,5	112,2	111,7	111,7	112,0	111,6	111,7	111,9	111,8
14	111,9	111,8	111,9	111,7	111,8	111,7	111,8	111,8	111,9	112,0
15	112,1	111,8	111,8	111,6	111,5	111,7	112,0	112,0	111,7	111,7
16	111,9	111,7	111,8	111,9	112,0	111,9	111,9	111,5	111,5	111,9
17	111,8	111,8	112,1	111,8	112,0	111,9	111,9	111,9	111,8	112,0
18	112,0	112,0	111,7	111,6	111,9	111,7	111,8	111,7	111,7	111,9
19	111,8	112,0	112,0	111,8	111,9	112,0	112,1	111,9	111,9	111,8
20	112,1	111,8	112,2	111,8	111,8	111,7	111,4	111,8	111,7	111,5
21	112,0	111,8	111,9	111,5	111,8	111,8	111,7	111,8	112,2	112,0
22	111,8	111,6	111,7	111,9	111,8	111,9	111,7	111,8	111,9	111,9
23	111,8	112,0	111,7	111,9	112,1	111,7	111,8	111,7	111,8	111,9
24	112,0	112,0	111,7	111,7	111,7	112,1	112,0	111,9	111,8	111,9
25	111,8	111,9	111,8	111,8	111,8	111,9	111,8	111,8	111,9	111,9
26	111,7	111,8	112,0	111,7	112,1	111,7	111,8	111,6	111,7	112,0
27	111,8	111,7	111,7	111,7	111,7	111,8	111,8	111,9	111,7	112,0
28	111,8	111,9	111,7	111,8	111,7	111,7	111,9	111,8	111,8	111,8
29	111,8	111,7	111,7	111,7	111,9	111,9	111,7	111,6	112,1	112,0
30	111,9	111,7	111,9	111,9	111,8	111,7	112,0	111,8	111,9	111,8

Tabla 38: Medidas de masa [g] del ensayo en máquina 137 a punto con disco a final de vida.

n	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300
1	112,0	112,0	112,0	111,9	111,7	111,7	111,9	111,9	112,2	112,1
2	112,1	112,0	112,3	111,8	111,7	111,8	111,9	111,8	111,7	111,9
3	112,4	112,0	111,8	111,7	111,8	111,8	111,7	111,7	111,9	111,8
4	111,5	112,0	112,2	111,8	111,8	111,9	111,9	111,7	111,9	111,8
5	112,2	112,1	111,9	112,3	112,0	111,5	111,4	112,2	112,0	111,8
6	112,1	112,1	112,0	112,0	112,3	112,0	112,1	112,0	111,6	111,9
7	112,3	112,0	112,1	112,1	111,6	112,4	112,0	112,0	111,8	112,0
8	111,7	111,8	111,8	111,9	111,9	111,9	111,8	111,7	112,0	111,8
9	111,8	112,1	112,1	112,3	112,0	112,0	111,8	112,2	112,0	111,9
10	111,9	112,0	111,8	111,9	111,9	112,0	112,0	112,1	111,9	111,6
11	111,5	111,6	112,1	111,4	111,9	111,9	112,0	111,8	112,0	112,0
12	112,2	111,8	111,8	112,4	112,1	111,8	111,8	111,9	111,9	112,1
13	111,5	111,9	111,9	112,0	111,9	111,8	111,8	112,1	112,0	111,6
14	112,2	112,0	112,2	112,0	112,3	112,1	112,0	112,1	112,0	112,1
15	111,8	112,1	111,9	112,0	112,0	111,5	111,6	112,0	111,8	112,1
16	112,0	112,0	112,0	112,2	111,7	111,5	111,8	111,8	112,0	112,0
17	112,0	111,8	112,0	112,1	111,7	111,7	111,8	112,2	111,9	112,1
18	111,9	112,0	112,3	112,3	111,5	112,1	112,0	112,3	112,0	111,9
19	111,8	111,6	112,0	112,3	111,9	112,0	111,8	112,1	111,8	111,8
20	111,6	112,1	111,8	111,9	111,8	112,1	112,1	112,0	111,7	112,0
21	112,1	111,8	112,4	112,3	111,8	111,8	112,0	111,8	112,3	112,1
22	112,1	112,0	111,7	111,8	111,9	112,1	112,4	111,9	111,8	111,9
23	111,7	112,0	112,1	111,9	111,8	111,8	112,0	111,9	112,1	112,1
24	112,0	112,2	111,8	111,9	112,1	111,9	111,7	111,8	111,9	112,0
25	111,9	111,8	112,1	112,5	111,9	111,7	111,9	111,8	112,1	111,8
26	112,3	112,0	111,9	111,8	112,1	112,2	111,8	112,2	112,1	112,3
27	112,0	112,0	112,2	112,0	112,0	111,7	111,7	111,8	111,9	112,5
28	111,8	112,1	111,8	111,7	111,5	112,1	111,9	111,9	111,8	112,1
29	111,9	112,0	111,8	111,8	111,8	111,9	111,7	112,0	111,9	112,0
30	111,8	112,1	112,2	112,2	111,9	111,8	112,1	111,8	111,9	111,9

Tabla 39: Medidas de longitud [mm] del ensayo en máquina 166 con disco nuevo.

n	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300
1	58,46	58,60	58,52	58,42	58,44	58,48	58,58	58,56	58,79	58,56
2	58,56	58,50	58,53	58,46	58,50	58,48	58,55	58,48	58,51	58,49
3	58,44	58,53	58,58	58,51	58,53	58,70	58,60	58,64	58,54	58,68
4	58,60	58,51	58,53	58,53	58,38	58,31	58,64	58,44	58,68	58,38
5	58,48	58,55	58,58	58,53	58,53	58,65	58,38	58,49	58,43	58,56
6	58,60	58,54	58,61	58,49	58,63	58,40	58,51	58,52	58,61	58,44
7	58,59	58,44	58,43	58,54	58,54	58,47	58,74	58,66	58,58	58,48
8	58,50	58,45	58,50	58,65	58,43	58,56	58,50	58,51	58,47	58,51
9	58,73	58,57	58,54	58,45	58,52	58,54	58,59	58,50	58,51	58,37
10	58,67	58,36	58,45	58,51	58,59	58,78	58,55	58,45	58,56	58,39
11	58,52	58,49	58,30	58,48	58,38	58,55	58,57	58,56	58,60	58,50
12	58,51	58,36	58,60	58,48	58,36	58,35	58,57	58,71	58,44	58,66
13	58,62	58,71	58,58	58,39	58,52	58,65	58,54	58,78	58,52	58,52
14	58,35	58,45	58,50	58,58	58,58	58,66	58,59	58,55	58,52	58,44
15	58,67	58,55	58,53	58,36	58,58	58,46	58,60	58,63	58,60	58,53
16	58,50	58,57	58,46	58,40	58,57	58,40	58,35	58,38	58,68	58,52
17	58,37	58,36	58,35	58,43	58,38	58,42	58,71	58,59	58,51	58,39
18	58,50	58,62	58,79	58,67	58,46	58,48	58,56	58,55	58,50	58,39
19	58,49	58,57	58,50	58,50	58,58	58,42	58,67	58,41	58,57	58,38
20	58,40	58,48	58,58	58,48	58,60	58,36	58,37	58,41	58,45	58,65
21	58,44	58,46	58,37	58,44	58,41	58,33	58,48	58,41	58,50	58,50
22	58,46	58,56	58,60	58,74	58,55	58,57	58,55	58,36	58,61	58,57
23	58,41	58,45	58,59	58,57	58,65	58,63	58,58	58,46	58,43	58,55
24	58,55	58,66	58,34	58,44	58,46	58,46	58,63	58,45	58,46	58,52
25	58,52	58,48	58,39	58,56	58,64	58,51	58,48	58,51	58,47	58,63
26	58,35	58,36	58,48	58,42	58,42	58,34	58,46	58,58	58,40	58,52
27	58,61	58,57	58,61	58,57	58,57	58,52	58,44	58,51	58,59	58,50
28	58,55	58,35	58,36	58,64	58,55	58,41	58,52	58,41	58,73	58,52
29	58,49	58,64	58,41	58,55	58,42	58,52	58,41	58,64	58,48	58,48
30	58,42	58,67	58,51	58,54	58,52	58,43	58,57	58,57	58,62	58,56

Tabla 40: Medidas de longitud [mm] del ensayo en máquina 166 con disco a 1/2 vida.

n	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300
1	58,57	58,37	58,72	58,72	58,55	58,72	58,70	58,65	58,91	58,74
2	58,38	58,51	58,29	58,65	58,72	58,71	58,47	58,70	58,59	58,62
3	58,46	58,65	58,84	58,71	58,30	58,59	58,47	58,65	58,58	58,57
4	58,77	58,79	58,49	58,51	58,69	58,58	58,63	58,68	58,55	58,77
5	58,69	58,62	58,43	58,65	58,31	58,70	58,60	58,71	58,87	58,57
6	58,75	58,54	58,35	58,55	58,52	58,39	58,61	58,79	58,74	58,47
7	58,54	58,74	58,70	58,62	58,48	58,48	58,50	58,45	58,60	58,67
8	58,32	58,72	58,60	58,67	58,33	58,55	58,46	58,55	58,62	58,44
9	58,68	58,58	58,69	58,42	58,49	58,45	58,44	58,66	58,76	58,72
10	58,42	58,61	58,80	58,55	58,49	58,66	58,50	58,70	58,69	58,75
11	58,63	58,67	58,29	58,59	58,92	58,42	58,56	58,74	58,37	58,65
12	58,69	58,85	58,55	58,57	58,53	58,29	58,46	58,51	58,77	58,41
13	58,44	58,59	58,27	58,71	58,50	58,63	58,75	58,49	58,55	58,58
14	58,42	58,62	58,57	58,75	58,31	58,33	58,57	58,90	58,50	58,75
15	58,59	58,41	58,57	58,44	58,69	58,54	58,84	58,67	58,56	58,39
16	58,62	58,51	58,53	58,58	58,95	58,38	58,54	58,75	58,43	58,64
17	58,60	58,80	58,57	58,82	58,45	58,55	58,52	58,44	58,62	58,89
18	58,75	58,58	58,49	58,71	58,85	58,66	58,44	58,62	58,69	58,61
19	58,72	58,56	58,55	58,55	58,57	58,75	58,64	58,68	58,40	58,40
20	58,63	58,77	58,46	58,56	58,91	58,84	58,59	58,71	58,38	58,62
21	58,75	58,70	58,39	58,69	58,69	58,45	58,63	58,68	58,56	58,64
22	58,90	58,77	58,73	58,53	58,72	58,51	58,57	58,72	58,68	58,68
23	58,52	59,00	58,47	58,30	58,53	58,44	58,55	58,58	58,55	58,52
24	58,76	58,48	58,74	58,59	58,49	58,81	58,51	58,58	58,72	58,55
25	58,75	58,72	58,64	58,26	58,55	58,73	58,32	58,46	58,45	58,43
26	58,43	58,35	58,83	58,44	58,68	58,41	58,74	58,79	58,40	58,58
27	58,53	58,44	58,62	58,69	58,83	58,78	58,53	58,87	58,64	58,43
28	58,70	58,38	58,52	58,40	58,59	58,54	58,75	58,40	58,52	58,58
29	58,63	58,68	58,36	58,89	58,66	58,65	58,36	58,54	58,65	58,63
30	58,74	58,64	58,80	58,80	58,46	58,47	58,52	58,44	58,75	58,81

Tabla 41: Medidas de longitud [mm] del ensayo en máquina 166 con disco a final de vida.

n	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300
1	58,72	58,62	58,69	58,71	58,52	58,67	58,87	58,84	58,47	58,61
2	58,88	58,84	58,77	58,69	58,61	58,74	58,77	58,39	58,56	58,80
3	58,50	58,82	58,46	58,54	58,85	58,55	58,80	58,66	58,49	58,80
4	58,85	58,78	58,80	58,61	58,90	58,45	58,58	58,68	58,77	58,79
5	58,79	58,68	58,69	58,61	58,82	58,73	58,65	58,72	58,66	58,42
6	58,61	58,73	58,77	58,84	58,42	58,89	58,67	58,83	58,67	58,67
7	58,53	58,69	58,90	58,52	58,88	58,84	58,63	58,61	58,55	58,72
8	58,66	58,82	59,03	58,77	58,46	58,56	58,47	59,08	58,76	58,83
9	58,85	58,86	58,72	58,82	58,87	58,55	58,88	58,43	58,49	58,81
10	58,64	58,61	58,69	58,56	58,73	58,63	58,46	58,56	58,65	58,96
11	58,81	58,89	58,69	58,83	58,43	58,68	58,86	58,82	58,79	58,78
12	58,43	58,51	58,80	58,52	58,74	58,61	58,57	58,87	58,79	58,58
13	58,78	58,69	58,56	58,80	58,53	58,83	58,63	58,38	58,69	58,70
14	59,02	58,77	58,60	58,48	58,43	58,95	58,80	58,47	58,94	58,33
15	58,84	58,65	58,67	58,40	58,84	58,82	58,67	58,73	58,81	58,45
16	58,56	58,76	58,58	58,62	58,67	58,41	58,55	58,93	58,40	58,50
17	58,53	58,71	58,82	58,67	58,61	58,78	59,03	58,61	58,99	58,43
18	58,70	58,74	58,61	58,73	58,82	58,77	58,68	58,74	58,86	58,60
19	58,84	58,67	58,60	58,59	58,54	58,72	58,86	58,57	58,74	58,89
20	58,62	58,76	58,62	58,89	58,84	58,55	58,69	58,56	58,79	58,71
21	58,68	58,74	58,75	58,60	58,49	58,59	58,35	58,86	58,49	58,70
22	58,79	58,69	58,88	58,95	59,02	58,64	58,49	58,62	58,76	58,65
23	58,69	58,78	58,90	59,00	58,50	58,90	58,58	58,74	58,79	58,65
24	58,50	58,73	58,86	58,72	58,96	58,77	58,87	58,53	58,67	58,83
25	58,56	58,76	58,41	58,86	58,83	58,84	58,88	58,71	58,83	58,86
26	58,57	58,81	58,79	58,55	58,48	58,72	58,71	58,62	58,98	58,85
27	58,69	58,72	58,55	58,47	58,71	58,78	58,83	58,85	58,69	58,86
28	58,79	58,65	58,82	58,76	58,72	58,98	58,80	58,81	58,93	58,57
29	58,86	59,08	58,99	58,80	58,56	58,89	58,92	58,88	59,00	58,63
30	58,47	58,80	58,73	58,65	58,68	58,61	58,67	58,61	59,01	58,59

Tabla 42: Medidas de masa [g] del ensayo en máquina 166 con disco nuevo.

n	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300
1	111,5	111,7	111,6	111,4	111,4	111,5	111,7	111,7	112,1	111,7
2	111,8	111,5	111,6	111,5	111,5	111,5	111,6	111,5	111,6	111,5
3	111,4	111,6	111,7	111,6	111,6	111,9	111,7	111,8	111,6	111,9
4	111,7	111,6	111,6	111,6	111,3	111,2	111,8	111,4	111,9	111,3
5	111,5	111,6	111,7	111,6	111,7	111,8	111,3	111,5	111,4	111,7
6	111,7	111,6	111,7	111,5	111,8	111,3	111,6	111,6	111,7	111,4
7	111,7	111,4	111,4	111,6	111,6	111,5	112,2	111,8	111,7	111,5
8	111,5	111,4	111,5	111,8	111,4	111,7	111,5	111,6	111,5	111,6
9	112,0	111,7	111,6	111,4	111,6	111,6	111,7	111,5	111,6	111,2
10	111,9	111,3	111,4	111,6	111,7	112,1	111,6	111,3	111,7	111,3
11	111,6	111,5	111,2	111,5	111,3	111,6	111,7	111,7	111,7	111,5
12	111,7	111,3	111,7	111,5	111,3	111,3	111,7	111,9	111,4	111,8
13	111,8	111,9	111,7	111,3	111,6	111,8	111,6	112,1	111,6	111,6
14	111,3	111,4	111,5	111,7	111,7	111,8	111,7	111,6	111,6	111,4
15	111,9	111,7	111,6	111,5	111,8	111,5	111,7	111,8	111,7	111,6
16	111,5	111,7	111,5	111,3	111,7	111,3	111,3	111,3	111,9	111,6
17	111,3	111,3	111,3	111,4	111,3	111,4	111,9	111,7	111,6	111,3
18	111,4	111,8	112,1	111,9	111,5	111,5	111,7	111,6	111,5	111,3
19	111,5	111,7	111,5	111,5	111,7	111,4	111,9	111,4	111,7	111,3
20	111,3	111,5	111,7	111,5	111,7	111,3	111,3	111,4	111,4	111,8
21	111,4	111,5	111,2	111,4	111,4	111,2	111,5	111,4	111,5	111,5
22	111,5	111,7	111,7	112,0	111,6	111,7	111,6	111,3	111,7	111,7
23	111,4	111,4	111,7	111,7	111,8	111,8	111,7	111,5	111,4	111,6
24	111,6	111,8	111,2	111,4	111,5	111,5	111,8	111,4	111,5	111,5
25	111,6	111,5	111,3	111,7	111,8	111,6	111,5	111,6	111,5	111,8
26	111,3	111,4	111,5	111,4	111,4	111,2	111,5	111,7	111,3	111,6
27	111,7	111,7	111,7	111,7	111,7	111,6	111,4	111,6	111,7	111,5
28	111,6	111,3	111,3	111,8	111,6	111,4	111,6	111,4	112,0	111,6
29	111,5	111,8	111,4	111,6	111,4	111,6	111,4	111,8	111,4	111,5
30	111,4	111,9	111,6	111,6	111,6	111,4	111,7	111,7	111,8	111,7

Tabla 43: Medidas de masa [g] del ensayo en máquina 166 con disco a 1/2 vida.

n	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300
1	111,7	111,3	112,0	112,0	111,6	112,0	111,9	111,8	112,3	112,0
2	111,3	111,6	111,1	111,8	112,0	111,9	111,5	111,9	111,7	111,8
3	111,5	111,8	112,2	111,7	111,2	111,7	111,5	111,8	111,6	111,7
4	112,1	112,1	111,5	111,6	111,9	111,7	111,8	111,9	111,6	112,1
5	111,8	111,8	111,4	111,8	111,2	111,9	111,7	111,9	112,2	111,7
6	112,0	111,6	111,3	111,6	111,6	111,3	111,7	112,1	112,0	111,5
7	111,6	112,0	111,9	111,7	111,7	111,5	111,5	111,4	111,7	111,9
8	111,2	112,0	111,7	111,9	111,2	111,6	111,5	111,6	111,8	111,3
9	111,9	111,7	111,9	111,4	111,5	111,4	111,4	111,9	112,0	112,0
10	111,4	111,7	112,1	111,6	111,5	111,8	111,5	111,9	111,9	112,0
11	111,7	111,9	111,1	111,7	112,3	111,4	111,7	112,0	111,3	111,8
12	111,9	112,2	111,6	111,7	111,6	111,1	111,5	111,7	112,1	111,4
13	111,4	111,7	111,1	111,9	111,5	111,8	112,1	111,5	111,6	111,7
14	111,4	111,8	111,7	112,0	111,2	111,2	111,7	112,3	111,5	112,0
15	111,7	111,5	111,7	111,4	111,9	111,6	112,2	111,9	111,7	111,3
16	111,8	111,6	111,6	111,7	112,4	111,3	111,6	112,0	111,4	111,8
17	111,7	112,1	111,7	112,1	111,4	111,6	111,6	111,4	111,8	112,3
18	112,1	111,7	111,5	111,9	112,2	111,8	111,4	111,8	111,9	111,7
19	112,1	111,7	111,6	111,6	111,7	112,0	111,8	111,9	111,3	111,3
20	111,8	112,1	111,5	111,7	112,3	112,2	111,7	111,9	111,3	111,8
21	112,0	111,9	111,3	111,9	111,9	111,4	111,8	111,9	111,7	111,9
22	112,3	112,1	112,0	111,6	112,0	111,6	111,7	112,0	111,9	111,9
23	111,6	112,5	111,5	111,2	111,6	111,4	111,6	111,7	111,6	111,6
24	112,0	111,5	112,0	111,7	111,5	112,1	111,6	111,7	112,0	111,6
25	112,0	112,0	111,8	111,1	111,6	112,0	111,2	111,5	111,4	111,4
26	111,4	111,3	112,2	111,5	111,9	111,4	112,0	112,1	111,4	111,7
27	111,6	111,4	111,8	111,8	112,2	112,1	111,6	112,2	111,8	111,4
28	111,9	111,3	111,6	111,3	111,7	111,6	112,0	111,3	111,6	111,7
29	111,8	111,9	111,3	112,3	111,8	111,8	111,3	111,6	111,8	111,8
30	112,0	111,8	112,1	112,1	111,5	111,5	111,6	111,4	112,0	112,1



Tabla 44: Medidas de masa [g] del ensayo en máquina 166 con disco a final de vida.

n	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300
1	112,0	111,8	111,9	111,8	111,6	111,9	112,2	112,2	111,5	111,7
2	112,4	112,2	112,1	111,9	111,7	112,0	112,1	111,3	111,7	112,1
3	111,5	112,1	111,5	111,6	112,2	111,6	112,1	111,8	111,5	112,1
4	112,2	112,1	112,1	111,7	112,3	111,4	111,7	111,9	112,1	112,1
5	112,3	111,9	111,9	111,7	112,1	112,0	111,9	112,0	111,8	111,4
6	111,7	112,0	112,1	112,2	111,4	112,3	111,9	112,2	111,9	111,9
7	111,6	111,9	112,3	111,6	112,3	112,2	111,8	111,7	111,7	112,0
8	111,8	112,1	112,5	112,1	111,5	111,7	111,5	112,6	112,0	112,2
9	112,1	112,2	112,0	112,1	112,2	111,6	112,3	111,4	111,5	112,1
10	111,7	111,7	111,9	111,7	112,1	111,8	111,5	111,7	111,8	112,5
11	112,2	112,3	111,9	112,3	111,4	111,9	112,2	112,1	112,1	112,1
12	111,4	111,6	112,1	111,6	112,0	111,7	111,7	112,2	112,1	111,7
13	112,1	111,9	111,7	112,1	111,6	112,2	111,8	111,3	111,9	111,9
14	112,5	112,1	111,7	111,5	111,4	112,4	112,1	111,5	112,4	111,2
15	112,2	111,8	111,9	111,3	112,2	112,1	111,9	112,0	112,1	111,4
16	111,7	112,0	111,7	111,8	111,9	111,4	111,6	112,4	111,3	111,5
17	111,6	111,9	112,1	111,9	111,7	112,1	112,5	111,7	112,5	111,4
18	111,9	112,0	111,7	112,0	112,1	112,1	111,9	112,0	112,2	111,7
19	112,2	111,9	111,7	111,7	111,6	112,0	112,2	111,7	112,0	112,3
20	111,8	112,0	111,8	112,3	112,2	111,6	111,9	111,7	112,1	111,9
21	111,9	112,0	112,0	111,7	111,5	111,7	111,3	112,2	111,6	111,9
22	112,1	111,9	112,3	112,4	112,5	111,8	111,5	111,8	112,0	111,8
23	111,9	112,1	112,3	112,4	111,4	112,3	111,8	112,0	112,1	111,8
24	111,5	112,0	112,2	112,0	112,4	112,1	112,2	111,6	111,9	112,2
25	111,7	112,0	111,4	112,2	112,2	112,2	112,3	111,9	112,2	112,2
26	111,7	112,1	112,1	111,6	111,5	112,0	111,9	111,8	112,5	112,2
27	111,9	112,0	111,6	111,5	111,8	112,1	112,1	112,2	111,9	112,2
28	112,1	111,8	112,1	112,0	112,0	112,5	112,1	112,1	112,4	111,7
29	112,2	112,6	112,5	112,1	111,7	112,3	112,3	112,3	112,5	111,8
30	111,5	112,1	112,0	111,8	111,9	111,7	111,9	111,7	112,5	111,7

## 12.2.- Anexo 2.

Imagen 27: Calendario de intervenciones.

enero - 2018						
Lun	Mar	Mié	Jue	Vie	Sáb	Dom
1	2	3	4	5	6	7
D-S-M	D	D	D	D		
8	9	10	11	12	13	14
D-S	D	D	D	D		
15	16	17	18	19	20	21
D-S	D	D	D	D		
22	23	24	25	26	27	28
	D-S	D	D	D		
29	30	31				
D-S	D	D				

febrero - 2018						
Lun	Mar	Mié	Jue	Vie	Sáb	Dom
				1	2	3
				D	D	
5	6	7	8	9	10	11
D-S-M	D	D	D	D		
12	13	14	15	16	17	18
D-S	D	D	D	D		
19	20	21	22	23	24	25
D-S	D	D	D	D		
26	27	28				
D-S	D	D				

marzo - 2018						
Lun	Mar	Mié	Jue	Vie	Sáb	Dom
			1	2	3	4
			D	D		
5	6	7	8	9	10	11
D-S-M	D	D	D	D		
12	13	14	15	16	17	18
D-S	D	D	D	D		
19	20	21	22	23	24	25
	D-S	D	D	D		
26	27	28	29	30	31	
D-S	D	D				

abril - 2018						
Lun	Mar	Mié	Jue	Vie	Sáb	Dom
						1
2	3	4	5	6	7	8
	D	D-S-M	D	D		
9	10	11	12	13	14	15
	D	D-S	D	D		
16	17	18	19	20	21	22
D	D-S	D	D	D		
23	24	25	26	27	28	29
D-S	D	D	D	D		
30						
D						

mayo - 2018						
Lun	Mar	Mié	Jue	Vie	Sáb	Dom
	1	2	3	4	5	6
		D-S-M	D	D		
7	8	9	10	11	12	13
D	D-S	D	D	D		
14	15	16	17	18	19	20
D-S	D	D	D	D		
21	22	23	24	25	26	27
D-S	D	D	D	D		
28	29	30	31			
D-S	D	D	D			

junio - 2018						
Lun	Mar	Mié	Jue	Vie	Sáb	Dom
				1	2	3
				D		
4	5	6	7	8	9	10
D-S-M	D	D	D	D		
11	12	13	14	15	16	17
D-S	D	D	D	D		
18	19	20	21	22	23	24
D-S	D	D	D	D		
25	26	27	28	29	30	
D-S	D	D	D	D		



julio - 2018						
Lun	Mar	Mié	Jue	Vie	Sáb	Dom
						1
2	3	4	5	6	7	8
D-S-M	D	D	D	D		
9	10	11	12	13	14	15
D-S	D	D	D	D		
16	17	18	19	20	21	22
D-S	D	D	D	D		
23	24	25	26	27	28	29
D-S	D	D	D	D		
30	31					
D-S	D					

agosto - 2018						
Lun	Mar	Mié	Jue	Vie	Sáb	Dom
		1	2	3	4	5
		D	D	D		
6	7	8	9	10	11	12
D-S	D	D	D	D		
13	14	15	16	17	18	19
			D-S-M-X			
20	21	22	23	24	25	26
D	D	D-S	D	D		
27	28	29	30	31		
D	D-S	D	D	D		

septiembre - 2018						
Lun	Mar	Mié	Jue	Vie	Sáb	Dom
					1	2
3	4	5	6	7	8	9
D-S	D	D	D	D		
10	11	12	13	14	15	16
D-S-M	D	D	D	D		
17	18	19	20	21	22	23
D-S	D	D	D	D		
24	25	26	27	28	29	30
D-S	D	D	D	D		

octubre - 2018						
Lun	Mar	Mié	Jue	Vie	Sáb	Dom
1	2	3	4	5	6	7
D-S-M	D	D	D	D		
8	9	10	11	12	13	14
D-S		D	D			
15	16	17	18	19	20	21
D	D-S	D	D	D		
22	23	24	25	26	27	28
D-S	D	D	D	D		
29	30	31				
D-S	D	D				

noviembre - 2018						
Lun	Mar	Mié	Jue	Vie	Sáb	Dom
			1	2	3	4
				D		
5	6	7	8	9	10	11
D	D-S-M	D	D	D		
12	13	14	15	16	17	18
D-S	D	D	D	D		
19	20	21	22	23	24	25
D-S	D	D	D	D		
26	27	28	29	30		
D-S	D	D	D	D		

diciembre - 2018						
Lun	Mar	Mié	Jue	Vie	Sáb	Dom
					1	2
3	4	5	6	7	8	9
D-S-M	D	D		D		
10	11	12	13	14	15	16
D	D-S	D	D	D		
17	18	19	20	21	22	23
D-S	D	D	D	D		
24	25	26	27	28	29	30
		D-S-X-A				
31						



Iván Romero Díaz

Trabajo Final de Grado

Imagen 29: Tabla de registro mecánico.

Máquina:							MES _____
CÓD.	OPERACIÓN	Frec	Res	OPERARIO	FECHA	TIEMPO EMPLEADO	OBSERVACIONES
TMM1	<b>CONEXIONES HIDRÁULICAS</b> Revisar fugas.	M	Mec				
TMM2	<b>REGULADORES</b> Verificar estado reguladores de motores hidráulicos.	M	Mec				
TMM3	<b>EMPUJADOR DE BARRAS</b> Comprobar estado de los topes de lanzas.	M	Mec				
TMM4	<b>ALIMENTADOR</b> Reapretar tornillos de amarre.	M	Mec				
TMM5	<b>ALIMENTADOR</b> Revisar desgaste de guías y separador de barras.	M	Mec				
TMM6	<b>CARGADOR</b> Revisar estado de piñones del elevador y alimentador de barras.	M	Mec				
TMM7	<b>CARGADOR</b> Revisar cadena de elevador y alimentador de barras.	M	Mec				
TXM1	<b>VEJIGA ACUMULADOR</b> Revisar estado	X	Mec				
TXM2	<b>ACUMULADOR</b> Comprobar presión del nitrógeno	X	Mec				
TXM3	<b>MOTOR ELÉCTRICO</b> Reapretar tornillos de amarre motor y de bloqueo.	X	Mec				
TXM4	<b>TOPES DE MEDIDA</b> Revisar el balancín y topes.	X	Mec				
TXM5	<b>TOPES DE MEDIDA</b> Revisar detectores de topes.	X	Mec				
TXM6	<b>GRUPO DE FRENADO</b> Revisar estado y tensión de pinza y arandelas.	X	Mec				
TXM7	<b>GRUPO DE FRENADO</b> Revisar holguras del grupo motor-husillo-encoder.	X	Mec				
TXM8	<b>MORDAZAS</b> Revisar holguras y desgaste.	X	Mec				

Iván Romero Díaz

Trabajo Final de Grado

Imagen 29 (cont.): Tabla de registro mecánico.

TAM1	<b>SISTEMA HIDRÁULICO</b> Revisión mecánica del motor eléctrico.	A	Mec				
TAM2	<b>SISTEMA HIDRÁULICO</b> Revisión bomba hidráulica principal.	A	Mec				
TAM3	<b>SISTEMA HIDRÁULICO</b> Sustituir rodete de la bomba.	A	Mec				
TAM4	<b>SISTEMA HIDRÁULICO</b> Revisar acoplamiento motor y bomba.	A	Mec				
TAM5	<b>SISTEMA HIDRÁULICO</b> Sustituir filtro hidráulico.	A	Mec				
TAM6	<b>SISTEMA HIDRÁULICO</b> Limpiar tanque.	A	Mec				
TAM7	<b>SISTEMA HIDRÁULICO</b> Cambiar aceite hidráulico.	A	Mec				
TAM8	<b>SISTEMA HIDRÁULICO</b> Cambiar aceite de engrase.	A	Mec				
TAM9	<b>SISTEMA HIDRÁULICO</b> Revisar intercambiador.	A	Mec				
TAM10	<b>SISTEMA HIDRÁULICO</b> Comprobar estado y regulación de la válvula termostática.	A	Mec				
TAM11	<b>SISTEMA HIDRÁULICO</b> Cambiar juntas cilindros hidráulicos.	A	Mec				
TAM12	<b>SISTEMA HIDRÁULICO</b> Cambiar vejiga acumulador.	A	Mec				
TAM13	<b>PUNTOS DE ENGRASE</b> Revisar puntos de engrase.	A	Mec				
TAM14	<b>RODAMIENTOS</b> Cambiar rodamientos.	A	Mec				
TAM15	<b>GRUPO DE FRENADO</b> Sustituir elementos grupo de frenado.	A	Mec				
TAM16	<b>CABEZAL DE CORTE</b> Cambiar correas.	A	Mec				
TAM17	<b>ALIMENTADOR</b> Cambiar rodillos.	A	Mec				

D Diario M Mensual X Semestral A Anual

Iván Romero Díaz

Trabajo Final de Grado

Imagen 30: Tabla de registro electricista.

Máquina:							MES _____
	OPERACIÓN	Frec	Res	OPERARIO	FECHA	TIEMPO EMPLEADO	OBSERVACIONES
TAE1	<b>CUADRO ELÉCTRICO</b> Comprobar estado acometida y cableado.	A	Elec				
TAE2	<b>CUADRO ELÉCTRICO</b> Comprobar estado señalización.	A	Elec				
TAE3	<b>CUADRO ELÉCTRICO</b> Comprobar estado interruptores, contactores, relés, panel operador, etc.	A	Elec				
TAE4	<b>CUADRO ELÉCTRICO</b> Comprobar estado mandos y pilotos.	A	Elec				
TAE5	<b>CUADRO ELÉCTRICO</b> Reapretar bornas y conexiones.	A	Elec				
TAE6	<b>CUADRO ELÉCTRICO</b> Probar disparo diferenciales y puesta a tierra.	A	Elec				
TAE7	<b>CUADRO ELÉCTRICO</b> Comprobar funcionamiento ventilación forzada.	A	Elec				
TAE8	<b>CUADRO ELÉCTRICO</b> Limpiar cuadro eléctrico.	A	Elec				
TAE9	<b>ELEMENTOS ELÉCTRICOS EXTERNOS</b> Comprobar cableado y conectores.	A	Elec				
TAE10	<b>ELEMENTOS ELÉCTRICOS EXTERNOS</b> Comprobar identificación de detectores, electroválvulas, etc.	A	Elec				
TAE11	<b>ELEMENTOS DE SEGURIDAD</b> Comprobar funcionamiento setas de emergencia.	A	Elec				
TAE12	<b>ELEMENTOS DE SEGURIDAD</b> Comprobar funcionamiento FC puertas.	A	Elec				
TAE13	<b>PLC</b> Comprobar estado cableado y conexiones.	A	Elec				
TAE14	<b>PLC</b> Comprobar estado identificación de tarjetas / módulos.	A	Elec				
TAE15	<b>PLC</b> Reapretar bornas y conexiones.	A	Elec				
TAE16	<b>MOTORES ELÉCTRICOS</b> Revisar motores eléctricos.	A	Elec				
TAE17	<b>MOTORES ELÉCTRICOS</b> Limpiar paletas de ventilación y tapa.	A	Elec				

A Anual