

## Resumen

En el mercado, la oferta de máquinas para bobinar alambre es muy extensa, tanto si se trata de alambre de cobre como de acero.

Cubren toda clase de diámetros de hilo y tamaños de carrete, ofrecen la posibilidad de variar la velocidad de giro mediante trenes de engranajes y ajuste electrónico dentro del rango definido por la transmisión de engranajes, además de sistemas de medición de la cantidad de hilo, tanto sea por metraje como por número de vueltas,

Sin embargo, no es normal encontrar una plataforma, base de trabajo, que pueda ser incorporada a bobinadoras existentes para su completa automatización, añadiendo operaciones como:

- Corte y retención de hilo
- Carga y descarga de carrete
- Fijación automática del hilo al carrete
- Comienzo de bobinado

Cada fábrica adopta el sistema de automatización que, para su organización, parece más oportuno en cada situación.

La propuesta que desde aquí se hace es la de desarrollar una plataforma base, con un diseño universal, que mediante pequeñas modificaciones dimensionales (Principalmente de tamaño) pueda llegar a cubrir las necesidades más comunes en esta aplicación.

Las ventajas de este concepto son meridianamente claras:

- Sinergia que se genera de todo el aprendizaje.
- Normalmente los trabajos de puesta a punto cuestan mucho dinero, puesto que los paros para mejoras afectan no sólo al rendimiento de las bobinadoras si no a las trefiladoras asociadas.
- La repercusión de los gastos de desarrollo a largo plazo se minimizan, pues básicamente se reducen a cambios geométricos, minimizando riesgos.
- Así mismo, mediante la valoración económica de los sistemas de trabajo y equilibrado de las líneas de producción, se concluirá con una recomendación sobre el sistema propuesto en base a su rentabilidad, teniendo en cuenta:
  - Gastos e inversión del proyecto
  - Aumento de productividad de las máquinas
  - Optimización de los recursos humanos necesarios.





## Sumario

<b>RESUMEN</b>	<b>1</b>
<b>SUMARIO</b>	<b>3</b>
<b>1. GLOSARIO</b>	<b>7</b>
<b>2. PREFACIO</b>	<b>9</b>
2.1. Origen del proyecto	9
2.2. Motivación	9
2.3. Requerimientos previos	9
<b>3. INTRODUCCIÓN</b>	<b>11</b>
3.1. Objetivos del proyecto	11
3.2. Alcance del proyecto	11
<b>4. SITUACIÓN DEL SECTOR</b>	<b>12</b>
4.1. Oferta de máquinas	12
4.2. Equipos integrales	12
<b>5. SOLUCIÓN TÉCNICA</b>	<b>15</b>
5.1. Máquina existente	15
5.2. Proceso actual	16
5.3. Carretes existentes	17
5.4. Solución propuesta	17
5.5. Proceso automático	20
5.6. Módulos principales	21
5.6.1. Conjunto alimentador	21
5.6.2. Conjunto elevador alimentador	22
5.6.3. Conjunto brazo	23
5.6.4. Conjunto mordaza	25
5.6.5. Conjunto de carga y evacuación de carretes y bobinas	27
5.7. Acabados	28
<b>6. CÁLCULOS TÉCNICOS</b>	<b>29</b>
6.1. Cizalla de corte de hilo	29
6.1.1. Datos	29
6.1.2. Cálculo de la fuerza de cizallamiento máxima	29
6.1.3. Representacon del calcilo de elementos finitos	30



6.1.4.	Cálculo de la acción mínima del cilindro neumático de accionamiento del cortador.....	31
6.2.	Cilindro basculante del elevador C2.....	32
6.2.1.	Hipótesis de partida: .....	32
6.2.2.	Cálculo de las dimensiones del triángulo de fuerzas.....	33
6.2.3.	Cálculo de la acción sobre el vástago del cilindro. ....	33
6.3.	Guía y el accionamiento del elevador .....	35
6.3.1.	Hipótesis de partida: .....	35
6.3.2.	Equilibrio de fuerzas en el plano X-Z.....	35
6.3.3.	Equilibrio de fuerzas en el plano Y-Z.....	37
6.3.4.	Cálculo de los cilindros neumáticos.....	40
<b>7.</b>	<b>CÁLCULO DE PROCESOS</b> .....	<b>41</b>
7.1.	Tiempos de bobinado .....	41
7.2.	Proceso manual.....	42
7.3.	Proceso automático.....	42
<b>8.</b>	<b>ESTUDIO ECONÓMICO</b> .....	<b>43</b>
8.1.	Ahorro debido al proceso automático.....	43
8.2.	Inversión del proceso automático para 20 máquinas.....	44
8.3.	Cálculo de la rentabilidad .....	45
<b>9.</b>	<b>MANTENIMIENTO Y TRANSPORTE</b> .....	<b>46</b>
9.1.	Montaje y desmontaje .....	46
9.2.	Transporte .....	46
<b>10.</b>	<b>SEGURIDAD</b> .....	<b>47</b>
10.1.	Protecciones.....	47
10.2.	Normativa armonizada aplicable. ....	47
<b>11.</b>	<b>MEDIO AMBIENTE</b> .....	<b>49</b>
11.1.	Materiales y procesos de construcción .....	49
11.2.	Reciclabilidad y fin de vida útil.....	49
<b>12.</b>	<b>ALTERNATIVAS CONSIDERADAS</b> .....	<b>50</b>
	<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>51</b>
	<b>BIBLIOGRAFIA</b> .....	<b>53</b>
	Referencias bibliográficas .....	53
	Bibliografía complementaria.....	53







## 1. Glosario

Pínoles.- Son los platos que sujetan en carrete, y le confieren el sistema de giro.

Carrete.- Es el soporte donde se bobina el hilo, cuando está vacío

Bobina.- Es el carrete una vez bobinado

Calibre.- Diámetro del hilo de acero

T €.- Miles de Euros

MTM 2.- Sistema de medición de tiempos tipo, según valores predeterminados







## 2. Prefacio

### 2.1. Origen del proyecto

El cable de acero, formado por una trenza de hilos de acero, está presente en prácticamente todas las actividades del mundo en que vivimos, desde los aparejos para la pesca, las grúas que vemos en los edificios en construcción de nuestras ciudades, inclusive el acto diario de tomar un ascensor, gravita sobre el hilo de acero.

### 2.2. Motivación

La perdida de competitividad en los países avanzados está siendo objeto de cambio de localización de muchas empresas, buscando mano de obra barata.

Una de las oportunidades de supervivencia es la de minimizar el impacto del recurso abundante y barato de otros países “músculo” y cambiarlo por el “talento”.

Cuanta menos mano de obra integre un proceso, más estrecho será el diferencial de ahorro, pudiendo primar otros aspectos fundamentales como la calidad del producto y del servicio.

### 2.3. Requerimientos previos

Debido a la gran variedad de tamaño de carretes que se requieren en el sistema, y a los distintos calibres de hilo, para la realización del estudio de los procesos se ha tomado el carrete que corresponde a la moda,(Carrete D, hilo diámetro 1,4 mm) esto es, aquella unidad que más frecuentemente se usa en fabricación.

No obstante, para el diseño y los cálculos técnicos se han tomado, obviamente, los casos más desfavorables, como el carrete más pesado para dimensionar los cilindros neumáticos y el hilo mas grueso para el accionamiento del cortador.





## **3. Introducción**

### **3.1. Objetivos del proyecto**

El principal objetivo del proyecto consiste en diseñar una plataforma sobre la que soportar un proyecto de automatización de un parque de máquinas para la realización de bobinas de hilo de acero, incluyendo funciones como, el corte y retención del hilo, descarga automática del carrete acabado (bobina), carga de un carrete vacío, enganche del hilo, y comienzo del nuevo ciclo de bobinado.

### **3.2. Alcance del proyecto**

El presente proyecto se centra en la solución técnica de todos los elementos mecánicos para la automatización de las mencionadas máquinas, así como el diseño de la nueva distribución en planta analizando los aumentos de productividad obtenidos, así como la optimización de recursos humanos, hasta llegar a la conclusión de la ventaja que se obtiene de la mencionada automatización.

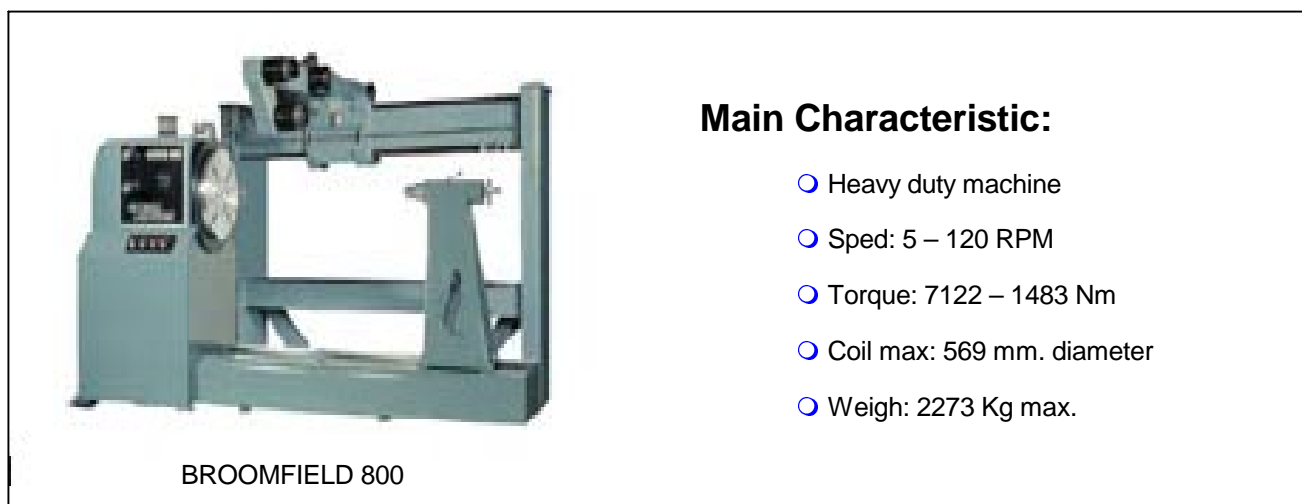
No forma parte de este proyecto el sistema de control de los nuevos elementos de automatización.



## 4. Situación del sector

### 4.1. Oferta de máquinas

La oferta de máquinas es muy extensa, sirva solo de ejemplo la imagen que se muestra a continuación:



**Fig. 4.1** Bobinadora Broomfiel

### 4.2. Equipos integrales

La oferta de equipos automáticos integrados no es tan completa como la de máquinas, sin embargo, la oferta de equipos adaptables a máquinas existente es muy limitada, la mayoría de los equipos de automatización han sido desarrollados por las propias empresas con ayuda, o no, de ingeniería externa.

No es corriente encontrarlos en el mercado de maquinaria del sector, por que los fabricantes están mucho más interesados en suministrar un equipo integral sobre el que pueden ofrecer una garantía completa y obtener una rentabilidad más elevada.







## 5. Solución técnica

### 5.1. Máquina existente

La máquina existente consiste en la propia máquina con su motorización, platos de enganche del carrete (en adelante pínolas), polea guía hilos, plataforma elevadora de carretes y bobinas y sistema de control.

La máquina se pone en marcha con la intervención del operario, mediante el accionamiento del interruptor. En estas condiciones, al arrancar la bobinadora, arranca sincronizadamente la trefiladora asociada.

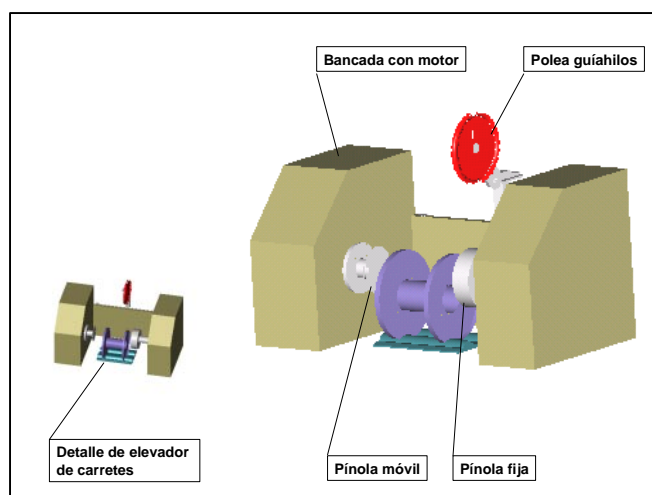
La sujeción del carrete se efectúa mediante el accionamiento del cilindro de una de las pínolas que es móvil, la otra se ajusta en función del carrete, cuando se hace un lanzamiento de un tipo de carrete es necesario ajustar su longitud mediante calzos suplementarios.

El final del babinado se efectúa por metraje, en este momento se para toda la línea, se pone en marcha una señal acústica y luminosa advirtiendo que la línea está parada.

El operario acude, abre la protección, mediante un pulsador sitúa el elevador hasta la altura de la bobina (no existe punto de parada automático por lo que se requiere cierta pericia), corta el hilo de acero, acciona el pulsador de apertura de pínolas y la bobina cae sobre el elevador, acciona el pulsador de descenso del elevador y una vez abajo empuja la bobina fuera de la máquina.

El operario realiza las anteriores operaciones en sentido inverso para colocar un carrete y fija el hilo en un agujero de enganche del carrete.

Seguidamente cierra la protección y acciona el interruptor de puesta en marcha.



**Fig. 5.1.** Máquina existente

## 5.2. Proceso actual

En el siguiente cuadro se pueden ver las actividades del proceso manual, o existente de una manera ordenada.

nº	Actividad
1	Fin del bobinado por llegada al metraje pre-seleccionado
2	Apertura de puerta de seguridad
3	Corte del hilo
4	Anudado del extremo del hilo bobina
5	Subir plataforma y aproximar mediante actuador manual
6	Liberación carrete mediante apertura de pínolas
7	Bajada de plataforma hasta nivel inferior
8	Rodadura de la bobina
9	Rodadura de un carrete nuevo hasta la plataforma
10	Subir plataforma y aproximar mediante actuador manual
11	Sujección carrete mediante cierre de pínolas
12	Anudar punta de hilo en extremo carrete
13	Soltar hilo hasta poción polea para facilitar inicio de bobinado
14	Bajada plataforma hasta nivel inferior
15	Cierre de puerta de seguridad
16	Actuar palanca de puesta en marcha
17	bobinado (Variable dependiendo del carrete y del hilo)

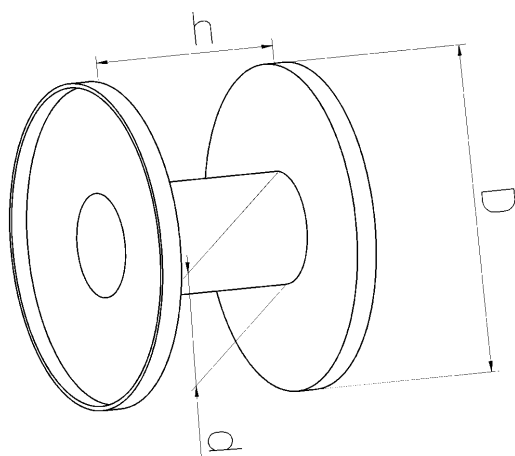
Este proceso es a la vez el camino crítico puesto que para realizar una actividad tiene que haber acabado la anterior.





### 5.3. Carretes existentes

Los carretes existentes, como ya se ha mencionado previamente, cubren una amplia gama de dimensiones tanto en diámetro como altura, manejando hilos de diferentes diámetros, que a partir de ahora denominaremos calibre.



Dimensiones de los carretes en mm.			
Carrete	D	d	h
Carrete C	210	108	20
Carrete D	300	140	150
Carrete V	350	140	200
Carrete EN	450	216	276

Las bobinas, esto es, los carretes una vez bobinados se montan sobre las trenzadoras de cables, como existen diferentes modelos de trenzadoras también existen diferentes modelos de carretes.

### 5.4. Solución propuesta

Al enfocar el estudio de las posibles soluciones, se observa que existen dos áreas cuya solución técnica es crítica. Una es la manipulación del hilo, esto es corte, retención y fijación sobre el nuevo carrete. Y la otra es la manipulación de los carretes que debe cumplir con los requerimientos de tener un pequeño pulmón de almacenamiento de carretes vacíos, un dispositivo de entrega sobre el elevador, todo ello adaptable a los diferentes tamaños de carretes y que no interfiera con la salida de bobinas terminadas.

Para determinar la solución técnica en la manipulación del hilo se ha tenido en cuenta que es primordial evitar cualquier posibilidad de escape o pérdida del mismo lo que conduciría necesariamente a un paro de máquina.

Se han considerado dos enfoques:

- Sistema de rastreo del hilo que lo localice y lo sujete cuando haya de realizar las operaciones de corte y fijación.
- Sistema de hilo cautivo que lo mantenga libre mientras bobina y lo sujete para realizar su manipulación.

Se ha optado por este último, ya que se ha estimado como la solución más fácil y barata aunque también la más invasiva y que la ocupa mayor espacio interno.

Básicamente se ha diseñado un brazo con un ojal en su extremo a través de este pasa el hilo. Alrededor del ojal se han colocado los elementos de manipulación que se describen con detalle más adelante. Se ha dotado a este brazo de un sistema de guía solidaria con el guíahilos y que puede ser liberado y reenganchado. De esta forma no interfiere en absoluto durante el bobinado.

Para el área de la manipulación de carretes se han considerado dos alternativas fundamentales:

- Un manipulador con una morfología de brazo articulado o de pórtico de ejes cartesianos.
- Un pulmón alimentador lo mas cercano posible a la máquina con un elemento que regule la alimentación de carretes por gravedad y que no ocupe la vía de salida de las bobinas terminadas.

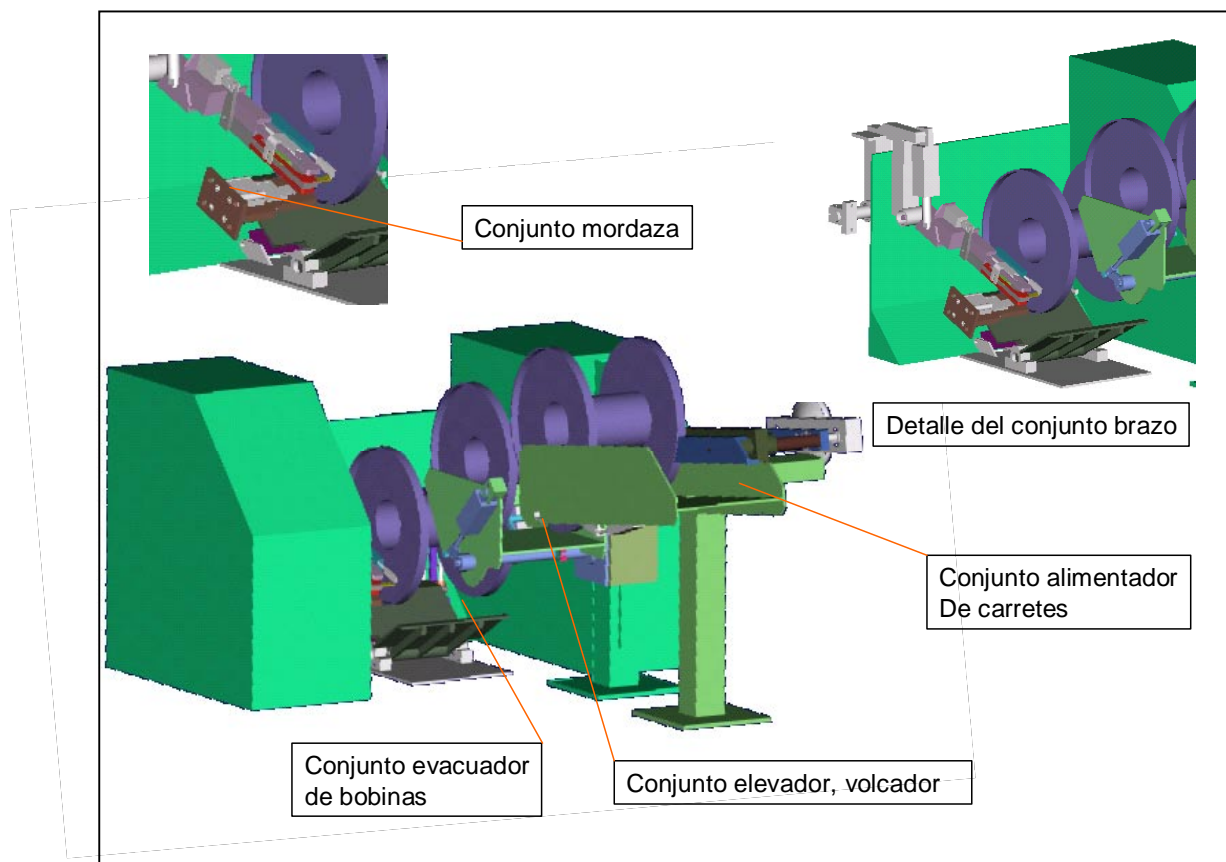
Se ha optado por esta última solución por ser la mas barata aunque suponga una mayor concentración de elementos cerca la máquina.

Concretamente se ha optado por dos elementos; un pulmón consistente en una plataforma inclinada para facilitar la alimentación por gravedad con una barandilla fija en un lado y desplazable por el otro para adaptarse a los distintos tamaños. Este elemento era necesario que estuviera elevado para no ocupar la vía de salida. Dado que no era admisible alimentar los carretes desde esta altura se ha diseñado un elevador que recoge un solo carrete y lo entregue en la posición de recepción.

Aunque en los planos y diagramas adjuntos se ofrece toda la explicación técnica y constructiva del proyecto, para una mejor comprensión, se ofrece a continuación una breve descripción de los aspectos y módulos más importantes.


En la parte inferior izquierda, de la fig. 5.4, se puede observar la máquina completa, en la parte superior derecha se ofrece un corte en sección para poder observar el conjunto brazo y en la parte superior izquierda se ofrece un detalle de la mordaza.





**Fig. 5.4** Máquina completa

## 5.5. Proceso automático

nº	Actividad
1	Fin del bobinado por llegada al metraje pre-seleccionado
2	Desembrague correa transmisión desplazamiento brazo guíahilos
3	Corredera bloquea hilo (Cilindro C6 ) pinza deslizante
4	Cizalla se separa del brazo (Cilindro C8)
5	Corte del hilo (Cilindro C7)
6	Recuperación cilindro corte (C7)
7	Plataforma sube (Cilindro existente)
8	Liberación del carrete (Cilindro existente)
9	Traslado del brazo hacia la posición de la mordaza (Cilindro C1)
10	Bajada de plataforma hasta posición inferior (Cilindro existente)
11	Expulsión del carrete (Cilindro C10)
12	Aproximación del brazo hasta tope con la mordaza (Cilindro C5)
13	Presa por la mordaza de la punta del hilo (Cilindro C9)
14	Subida del brazo hasta posición superior
15	Bajada del elevador hasta posición de alimentación (Cilindro C12)
16	Vuelco del elevador (Alimentación) (Cilindro C2)
17	Subida de la plataforma hasta centro de bobinado
18	Presa del carrete por la pínola móvil (Retención hilo)
19	Embrague correa guíahilos, liberación cilindro mordaza (Cilindro C5)
20	Retorno del brazo guíahilos hasta posición de inicio de bobinado (C)
21	Liberación brazo, y retorno cilindro (C1) hasta la posición de reposo
22	Inicio de bobinado
23	bobinado (Variable dependiendo del carrete y del calibre del hilo)
24	Recuperación de la posición horizontal del elevador (Cilindro C2)
25	Subida del elevador a posición de recepción carrete (Cilindro C12)
26	Apertura del retenedor alimentador (Cilindro C11)
27	Bajada del carrete por gravedad
28	Cierre de retenedor alimentador (Cilindro C11)
29	Fin de bobinado
	 Camino crítico
30	Cargar carretes en alimentador
31	Anudar punta de hilo en bobina
32	Rodar bobina

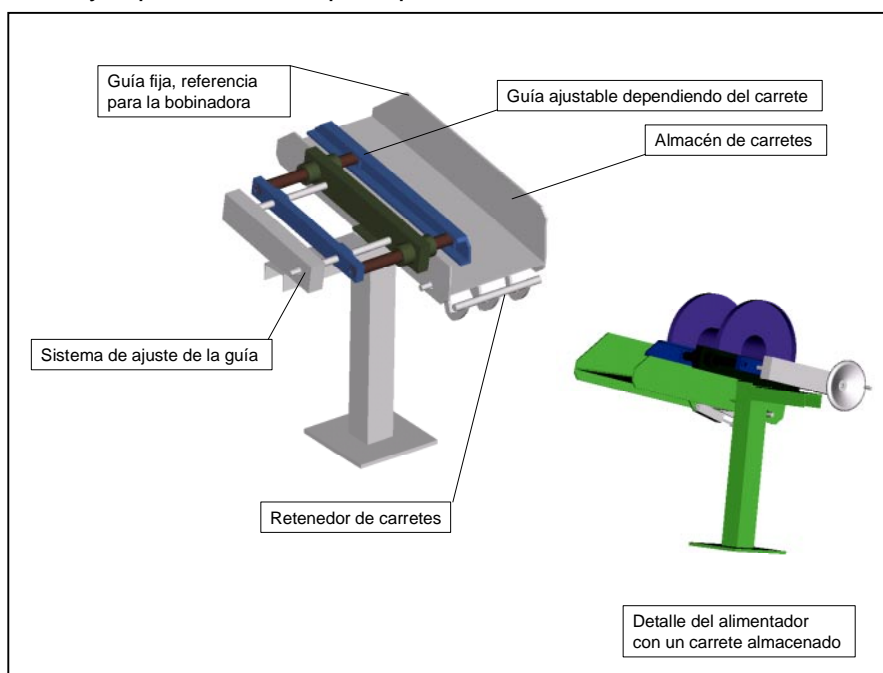


## 5.6. Módulos principales

Como ya se ha mencionado anteriormente, a continuación se ofrece una explicación de los módulos más importantes

### 5.6.1. Conjunto alimentador

Este módulo es el encargado de proveer de carretes al sistema, con lo que el operario que está al cargo de la máquina queda liberado, hasta cierto punto, de la atención de la misma, ya que su función principal es la de abastecer de carretes a este módulo.



**Fig. 5.5.** Conjunto alimentador

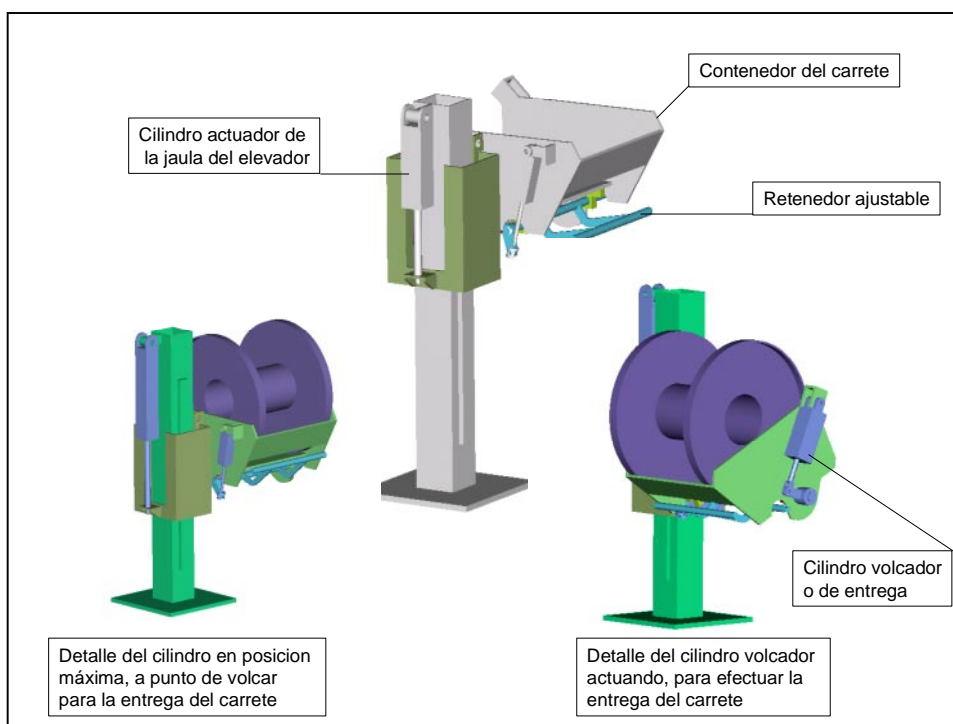
El sistema de ajuste de la guía debe actuarse para acondicionar el sistema a las dimensiones del carrete que recibe.

El retenedor de carretes funciona sincronizado con el conjunto elevador alimentador, proporcionando la parada justa del carrete para que el retenedor actúe sobre el toque tangencial de dos carretes. Su función es retener los carretes del alimentador mientras el elevador realiza el desplazamiento de alimentación.

### 5.6.2. Conjunto elevador alimentador

Este módulo es el encargado del trasiego de los carretes desde el conjunto alimentador hasta la plataforma de elevación.

Las maniobras fundamentales son las de llevar un carrete hasta el nivel de la plataforma y entrega del mismo mediante el vuelco del elevador.



**Fig. 5.6** Módulo elevador alimentador

El retenedor ajustable tiene por misión limitar la posición del carrete para permitir la entrada de un único carrete.

El tope del final de su carrera debe ser ajustado en función del diámetro del carrete, de manera, que el punto de tangencia entre el carrete del elevador y el primero del alimentador esté aproximadamente siempre en la misma posición, cualquiera que sea el tamaño del carrete.

El recipiente que contiene el carrete bascula sobre un eje horizontal mediante un cilindro neumático. Este eje está soportado por una carcasa prismática que envuelve una columna



fijada al pavimento. Entre la columna y la carcasa se han dispuesto dos guías lineales fijadas sobre la columna. A lo largo de ella se mueven 4 unidades de rodadura fijadas a su vez sobre la carcasa. Un cilindro neumático de eje vertical acciona el movimiento de elevación. Para evitar que al fallar la alimentación de aire caiga el elevador lo cual podría provocar un accidente, se ha dispuesto un mecanismo de seguro consistente en un pasador que bloquea el movimiento de elevación en su posición superior. Este seguro está accionado por un cilindro neumático de simple efecto de manera que para liberar el elevador es necesario disponer de presión de aire.

### 5.6.3. Conjunto brazo

Aquí se representa el elemento responsable de guiar el hilo, efectuar el corte, entregar el extremo del mismo a la mordaza para sujetarlo, y de posicionar el brazo en el inicio del bobinado.

El brazo va montado sobre unas guías lineales cilíndricas y es mecánicamente solidario con la polea del guíahilos de manera que durante el bobinado el brazo sigue al guíahilos.

El movimiento de la polea guíahilos se produce mediante el embrague de la misma a una correa dentada que tiene un movimiento de vaivén sincronizado con la rotación de la máquina. Su amplitud se ajusta mediante unos finales de carrera.

Este embrague, se controla mediante un pequeño cilindro neumático.

Cuando el motor, que suministra el giro a las pínolas, está en marcha, la correa del guíahilos está embragada, y cuando éste se detiene, la correa queda desembragada.

Como el paro del bobinado se efectúa por metraje, la polea guíahilos puede quedar en cualquier posición a lo largo del eje del carrete, al realizarse la sujeción del hilo por cierre de la pínola móvil contra el carrete, la polea guíahilos debe quedar enfrentada en esta posición, lo que se realiza mediante un cilindro, según se muestra en la fig. 5.7

Cuando se cierra la máquina y se inicia el bobinado, el cilindro mencionado anteriormente, se retrae hasta la primera posición, que enfrenta el hilo al centro del carrete aproximadamente, de manera que al empezar a bobinar el hilo caiga dentro del carrete, de otra forma se bobinaría unas vueltas el exterior junto a la pínola. En esta posición se embraga de nuevo el guíahilos. Seguidamente se desacopla el cilindro mediante el cilindro desacoplador y el cilindro actuador se retira totalmente. La máquina ya se puede poner en marcha, según se refleja en fig. 5.7.



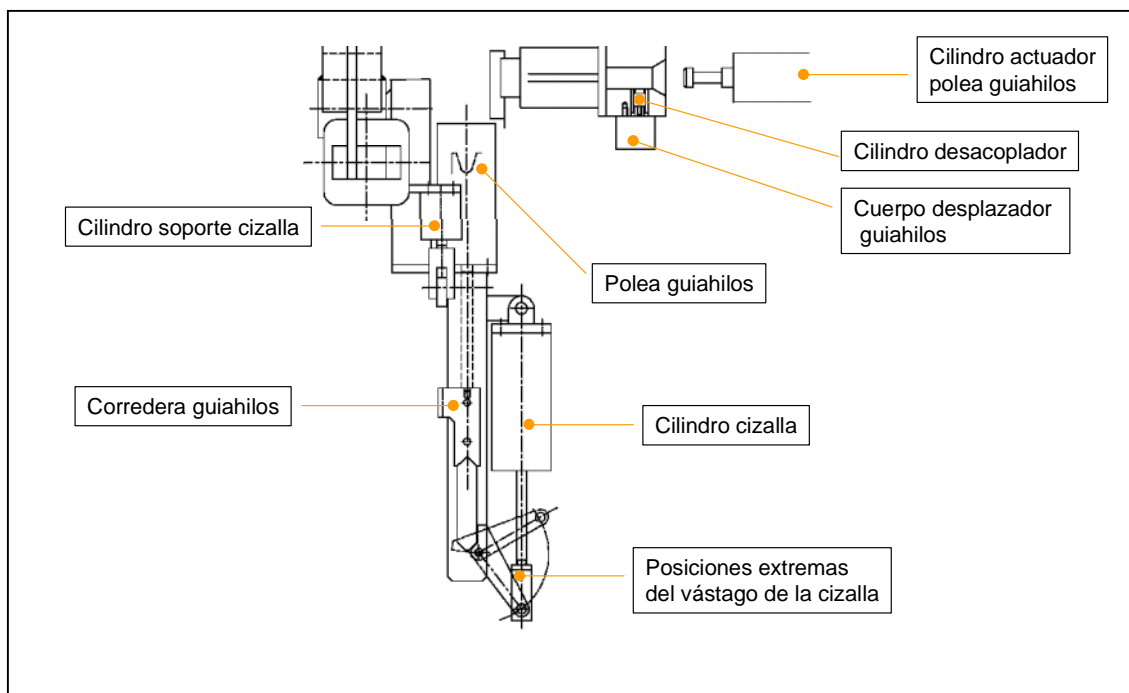


Fig. 5.7. Detalle del mecanismo posicionador del brazo guiahilos

Entretanto y después de que el cilindro haya desplazado el brazo a su posición más alejada se realizan las siguiente operaciones según pueden verse en las figuras.5.7 y 5.8

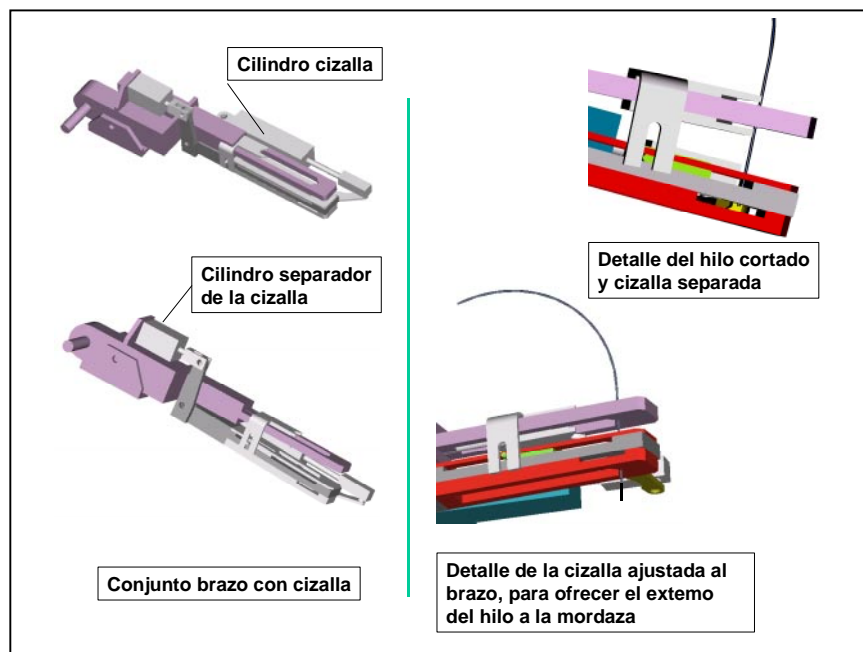


Fig. 5.8 Detalle de la maniobra de corte y entrega de hilo

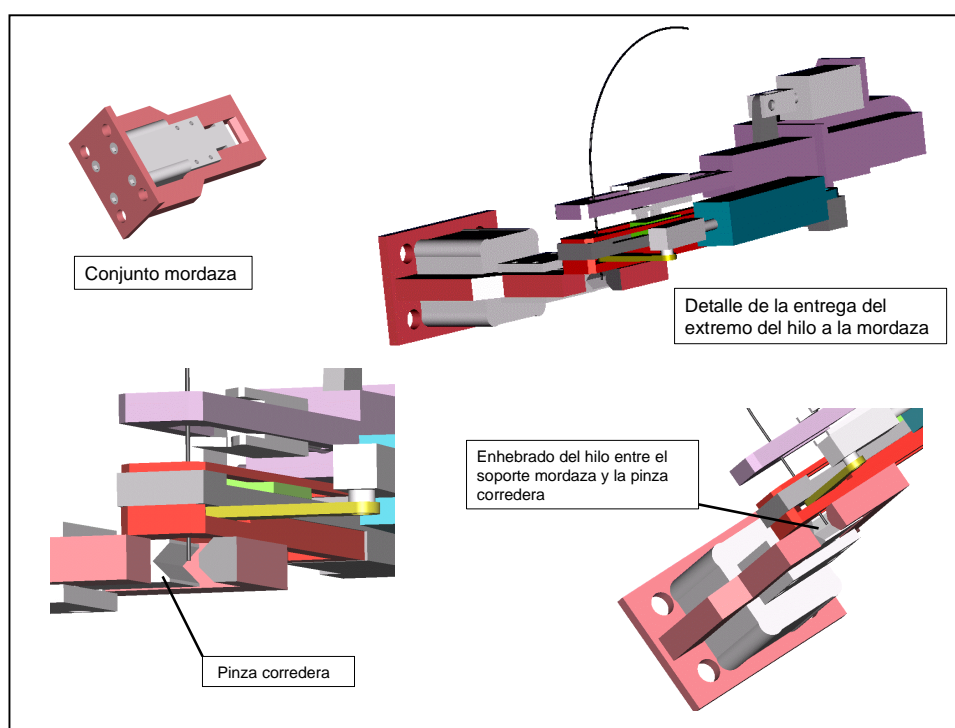




- La corredera guíahilos pinza el hilo de manera que queda totalmente sujeto
- La cizalla se separa del punto de pinzamiento para generar un sobrante de hilo, mediante la acción del cilindro soporte cizalla.
- Se produce el corte del hilo por la acción del cilindro cizalla.

En la fig.5.8 se puede observar la separación que se genera entre el brazo y la cizalla antes de cortar, este sobrante de hilo es el que posteriormente sujetará la mordaza al retraerse la cizalla.

#### 5.6.4. Conjunto mordaza



**Fig. 5.9** Detalle de la sujeción del extremo del hilo por la mordaza

En la fig 5.9 se observa la entrega del extremo del hilo a la mordaza, el brazo bascula y desciende hasta tocar con la mordaza abierta. La mordaza obliga a retroceder el basculante de la cizalla de manera que el hilo sobrante es entregado que mediante el cierre de la pinza corredera se asegura la fijación del hilo .

A continuación se realizan los siguientes pasos para finalizar el ciclo

- Se libera el pinzamiento del cable, mediante la retracción del cilindro de la corredera guiahilos.
- Se retrae el brazo hasta su posición mas elevada, hasta ahora el extremo del hilo esta sujeto por la mordaza, y al retraerse la corredera guiahilos ha generado el espacio para que el hilo circule sin dificultades a través del ojal del brazo en el que queda confinado.
- En este momento se produce la carga de un nuevo carrete sobre la plataforma elevadora.
- La plataforma eleva el carrete hasta enfrentarlo con el eje de las pínolas.
- En este momento se produce el cierre de las pínolas, dejando el hilo atrapado contra el carrete lo que asegura el arrastre al inicio del bobinado.
- En este momento la mordaza libera el extremo del hilo

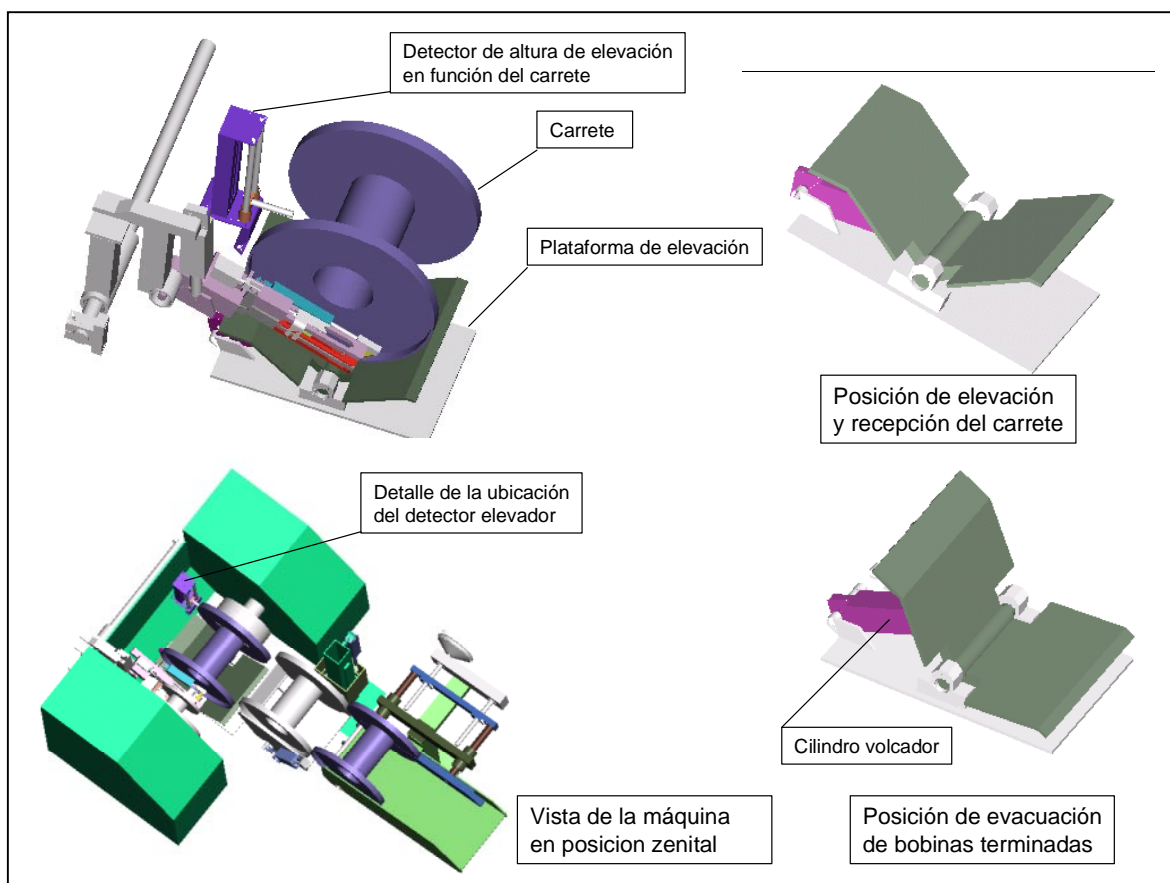
En este momento el brazo realiza los posicionamientos necesarios según se ha comentado en el punto 5.6.3 para el inicio de un nuevo proceso de bobinado.

Se hace especial hincapié, en este punto, a que durante todo el proceso, aquí descrito, no ha sido necesaria la intervención de ningún operario, quedando reducido su cometido a alimentar el sistema de carretes y a anudar el extremo del hilo de la bobina evacuada.



### 5.6.5. Conjunto de carga y evacuación de carretes y bobinas

Este modulo tiene por misión recibir el carrete por parte del módulo elevador alimentador, posicionarlo enfrente de los platos de la bobinadora, mediante un sensor de posición ajustable dependiendo del diámetro del carrete, así como la recepción de la bobina terminada y su posterior evacuación mediante un vuelco.



**Fig. 6.1** Detalle del sistema de carga, posicionado de carretes y evacuación de bobinas

En la parte inferior izquierda de la fig. 6.1 se observa la máquina completa donde puede verse la solución adoptada, que aún siendo invasora, el espacio que necesita es adecuado para su integración dentro de la máquina existente.

## 5.7. Acabados

El entorno a que va destinado esta máquina si bien es muy sucio no es en absoluto corrosivo, ya que para el trefilado del cable se usan grasas en abundancia y jabones que protegen muy eficazmente del óxido.

Las piezas de construcción soldada se protegerán con una capa de pintura de imprimación y otra de esmalte.

Las piezas con superficie mecanizada se tratarán con un pavonado de color gris oscuro.



## 6. Cálculos técnicos

### 6.1. Cizalla de corte de hilo

#### 6.1.1. Datos

Diámetro máximo del hilo (Calibre):	D	2,0 mm
Sección máxima del hilo:	A	3,14 mm <sup>2</sup>
Resistencia máxima a la rotura:	R <sub>m</sub>	2200 GPa

#### 6.1.2. Cálculo de la fuerza de cizallamiento máxima

No se consideran efectos de entalla ni concentración de tensiones.

El punto donde esta tensión es máxima es el centro de la sección circular

$$\tau_{\max} = \frac{3F_t}{2A} = \frac{3}{2} \frac{F_t}{3,14} = 0,478F_t$$

$$F_t = 2,09\tau_{\max} \quad (\text{Ec. 6.1.2})$$

Aplicando la teoría de falla del esfuerzo cortante máximo, el corte se producirá cuando la tensión de cizalladura alcanza 0,5 veces la resistencia a la tracción.

$$F_t \geq 2,09\tau_{\max}$$

$$\tau_{\max} = 0,5 \cdot R_m = 0,5 \cdot 2200 = 1100N \quad (\text{Ec. 6.1.3})$$

El valor mínimo de  $F_t$  será

$$F_t = 2,09 \cdot 1100 = 2299N \quad (\text{Ec. 6.1.4})$$



### 6.1.3. Representacion del calcilo de elementos finitos

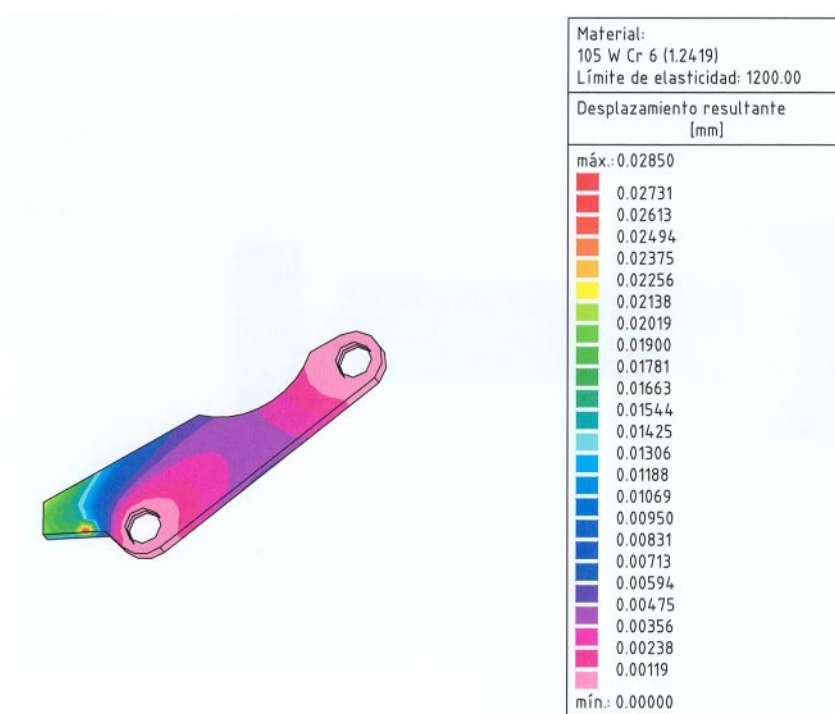


Fig. 6.1.2. Cálculo de deformaciones

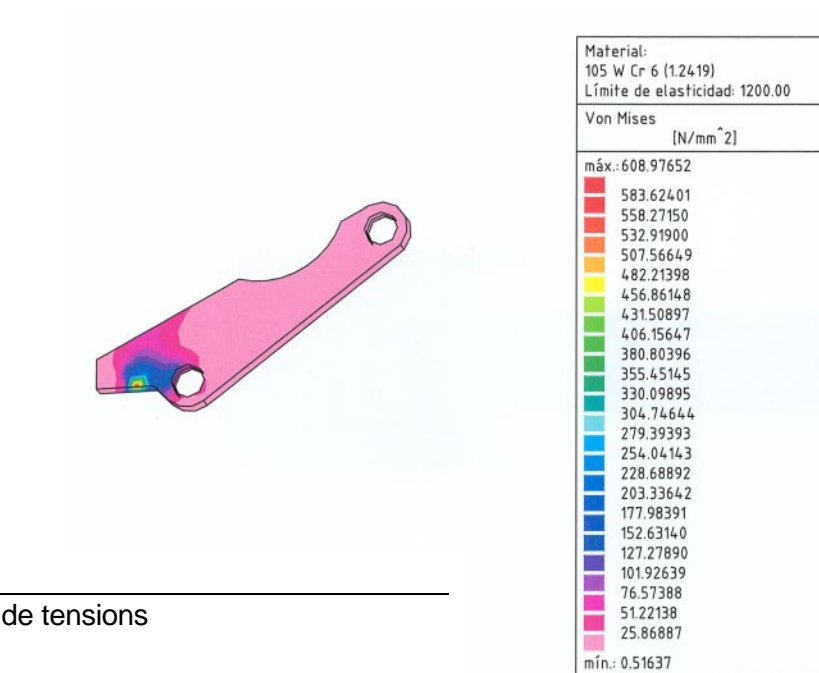


Fig. 6.1.3. Cálculo de tensiones



#### 6.1.4. Cálculo de la acción mínima del cilindro neumático de accionamiento del cortador

Fuerza del cilindro  $F_c$

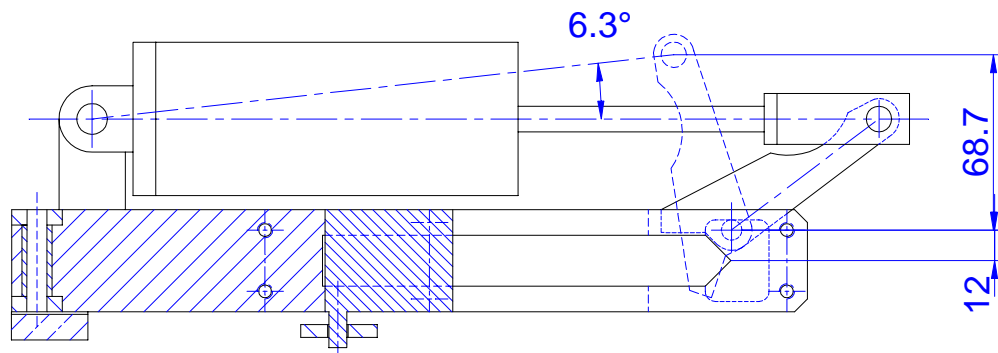
Planteando el equilibrio de momentos respecto al eje de pivotamiento cuando la cuchilla está en posición de corte, fig 6.2

$$F_c \cdot \cos 6,3 \cdot 68,7 = 12 F_t$$

$$F_c = \frac{12 \cdot F_t}{68,7 \cdot \cos 6,3} = 0,176 \cdot F_t = 0,176 \cdot 2299 = 405 N \quad (\text{Ec. 6.1.5})$$

Se estima que la fuerza de rozamiento interno del cilindro equivale al 20% de la fuerza neta. Por tanto la fuerza para el dimensionado del cilindro será:

$$F = F_t \cdot 1,2 = 405 \cdot 1,2 = 486 N \quad (\text{Ec. 6.1.6})$$



**Fig. 6.2.** Detalle del sistema de corte

## 6.2. Cilindro basculante del elevador C2

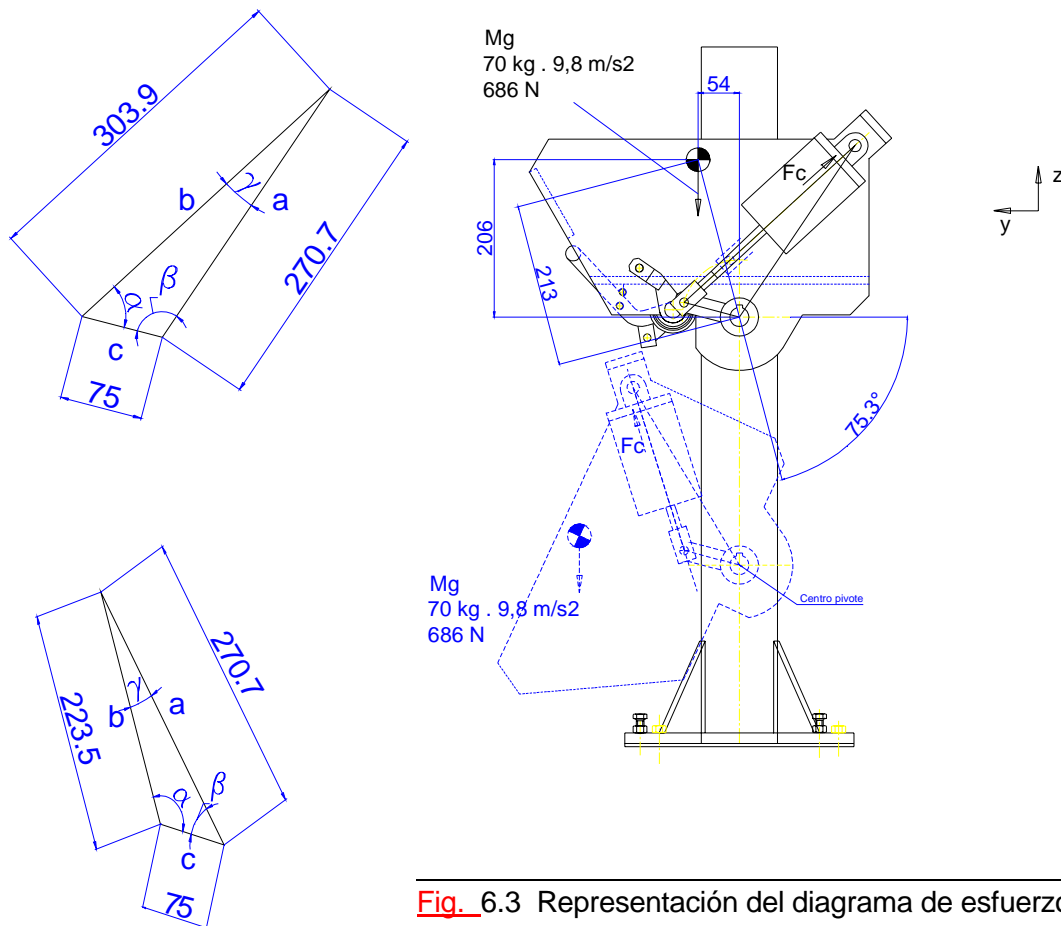
### 6.2.1. Hipótesis de partida:

Se supone el elevador cargado con el carrito de mayor peso. Todos los movimientos se suponen con esta carga.

Se supone el elevador cargado con el carrito de mayor peso. El peso del conjunto se ha aumentado en un 10% para tener en cuenta posibles sobrecargas.

Se desprecia la fricción de los cojinetes del pivote.

Para el dimensionado del cilindro se aplicará un coeficiente de aumento del 20% del esfuerzo calculado de cizallamiento para tener en cuenta la fricción interna del cilindro.



**Fig. 6.3** Representación del diagrama de esfuerzos del conjunto elevador alimentador





En la fig. 6.3 se aprecia el movimiento del basculante. Para el cálculo se considera el triángulo de fuerzas que va variando la longitud de uno de sus lados (El que contiene el cilindro),

$$\cos \beta = \frac{a^2 + c^2 - b^2}{2ac} =$$

$$\cos \gamma = \frac{a^2 + b^2 - c^2}{2ab} = \quad (\text{Ec. 6.2})$$

### 6.2.2. Cálculo de las dimensiones del triángulo de fuerzas

a = 270,7 mm.

b = 223,9 + carrera del cilindro C2 (80 mm)

c = 75 mm.

### 6.2.3. Cálculo de la acción sobre el vástago del cilindro.

Se plantea la ecuación de equilibrio de momentos respecto al pivote.

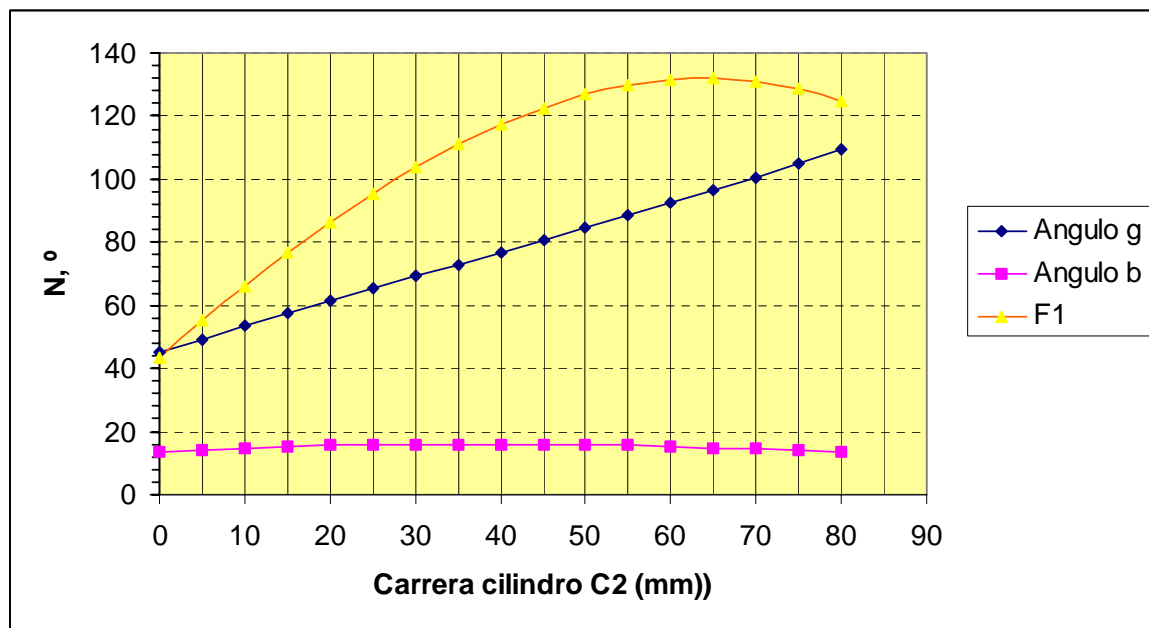
$$\sum M_x = M_g \cdot 213 \cdot \cos(75,3 - \Delta\beta) + F_1 \cdot 270,7 \cdot \text{sen} \gamma = 0$$

$$F_1 = \frac{M_g \cdot 213 \cdot \cos(75,3 - \Delta\beta)}{270,7 \text{sen} \gamma} \quad (\text{Ec. 6.3})$$

En la siguiente tabla figura la resolución de las ecuaciones anteriores en distintas posiciones correspondientes a intervalos de carrera del cilindro de 5 mm.



Carrera mm	b mm	b <sup>2</sup> mm <sup>2</sup>	cos b	b rad	b °	cos g	g rad	g °	D b rad	D b °	75,3 - Db °	F <sub>1</sub> N
80	304	92416	-0.332779	1.910	109.438	0.972561	0.235	13.453	0.000	0.000	75.3	125
75	299	89401	-0.258528	1.832	104.983	0.970199	0.245	14.023	0.078	4.455	75.2	129
70	294	86436	-0.185507	1.757	100.691	0.968072	0.253	14.517	0.075	4.292	75.1	131
65	289	83521	-0.113718	1.685	96.530	0.96619	0.261	14.941	0.073	4.161	75.1	132
60	284	80656	-0.04316	1.614	92.474	0.964567	0.267	15.298	0.071	4.056	75.0	131
55	279	77841	0.026166	1.545	88.501	0.963217	0.272	15.588	0.069	3.973	74.9	130
50	274	75076	0.094262	1.476	84.591	0.962155	0.276	15.813	0.068	3.909	74.9	127
45	269	72361	0.161125	1.409	80.728	0.961396	0.279	15.972	0.067	3.863	74.8	123
40	264	69696	0.226758	1.342	76.894	0.960959	0.280	16.063	0.067	3.834	74.7	117
35	259	67081	0.291158	1.275	73.073	0.960861	0.281	16.083	0.067	3.821	74.7	111
30	254	64516	0.354328	1.209	69.248	0.961124	0.280	16.029	0.067	3.825	74.6	104
25	249	62001	0.416266	1.141	65.401	0.961767	0.277	15.895	0.067	3.847	74.5	96
20	244	59536	0.476973	1.074	61.512	0.962816	0.274	15.674	0.068	3.889	74.5	87
15	239	57121	0.536448	1.005	57.558	0.964294	0.268	15.357	0.069	3.954	74.4	77
10	234	54756	0.594693	0.934	53.509	0.966231	0.261	14.932	0.071	4.049	74.3	66
5	229	52441	0.651705	0.861	49.330	0.968655	0.251	14.383	0.073	4.180	74.3	55
0	224	50176	0.707487	0.785	44.969	0.9716	0.239	13.688	0.076	4.360	74.2	43



El valor máximo de la acción sobre el vástago del cilindro es 132N

Aplicando un factor de mayoración de 1,2 para compensar las pérdidas por rozamiento interno del cilindro, el valor de cálculo para dimensionarlo es 132·1,2 = 158 N



## 6.3. Guía y el accionamiento del elevador

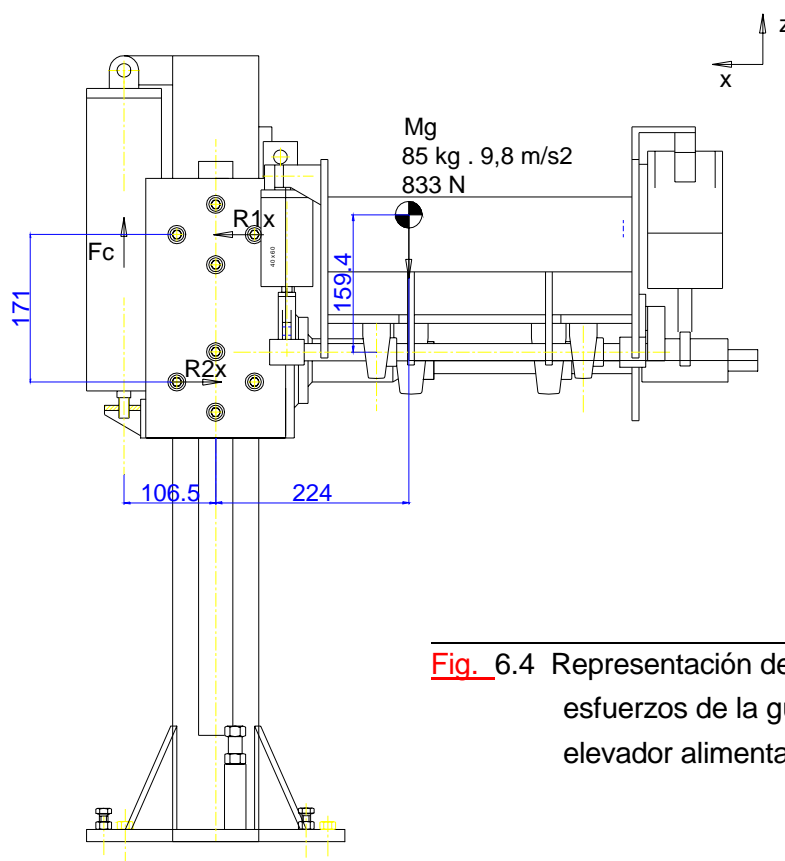
### 6.3.1. Hipótesis de partida:

Se supone el elevador cargado con el carrete de mayor peso.

El sistema de guía con 4 unidades es hiperestático. Se supondrá que las cargas se reparten por igual entre parejas de unidades de rodamiento.

Para el dimensionado del cilindro se aplicará un coeficiente de mayoración de 1,2 al esfuerzo calculado para tener en cuenta las fuerzas de fricción internas.

### 6.3.2. Equilibrio de fuerzas en el plano X-Z



**Fig. 6.4** Representación del diagrama de esfuerzos de la guía del conjunto elevador alimentador, plano X-Z

La fuerza de accionamiento del cilindro  $F_c$  se supone igual a la suma de:

- Peso del conjunto a elevar que se supondrá con el carrete de mayor peso incluido. ( $M_g = 85 \text{ Kg} \cdot 9,8 \text{ m/s}^2 = 833 \text{ N}$ )
- Fuerzas de fricción se estiman en un 10% del peso ( $F_f = 0,1 \cdot 833 = 83 \text{ N}$ )

- Fuerzas de inercia debidas a la aceleración que se estima  $1 \text{ m/s}^2$   
( $F_a = 85 \text{ kg} \cdot 1,0 \text{ m/s}^2 = 85 \text{ N}$ )

Por tanto  $F_c = 833 \text{ N} + 83 \text{ N} + 85 \text{ N} = 1001 \text{ N}$

Planteando la ecuación de equilibrio de fuerzas y de momentos respecto al centro de la unidad de rodamiento 2:

$$F_c = M_g + \sum F_f + F_a = 85 \cdot 9,8 + 83 + 85 = 1001 \text{ N}$$

$$M_2 = 1001 \cdot 106,5 + 833 \cdot 224 - (R_1 + R_3) \cdot 171 = 0$$

$$R_1 = R_3 = -R_2 = -R_4 \quad (\text{Ec. 6.4})$$

De donde se obtiene el resultado:

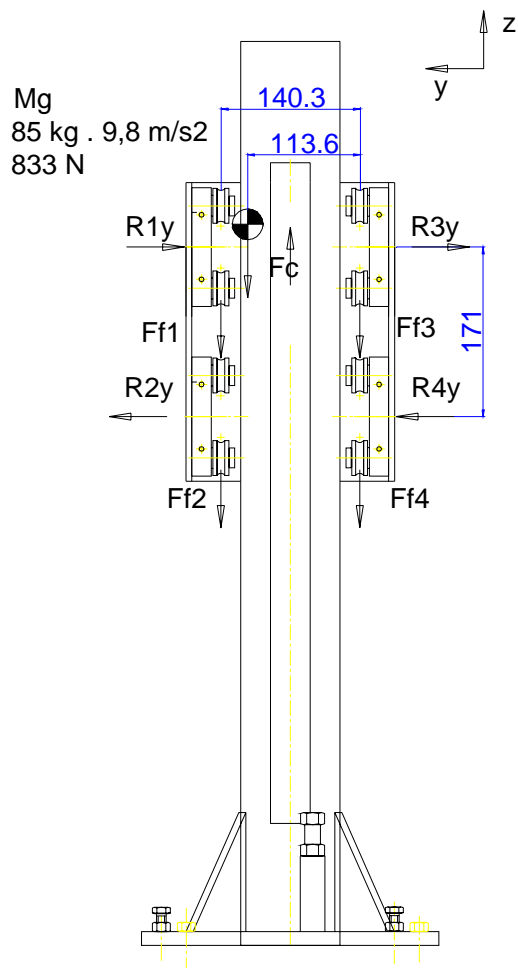
$$R_1 = R_3 = -R_2 = -R_4 = 1715 \text{ N}$$

Esta reacción se reparte por igual entre las dos unidades de rodamientos situadas en ambos lados de la columna. Por tanto sobre cada unidad la reacción es de:

$$R_1 = R_3 = -R_2 = -R_4 = 857 \text{ N}$$



### 6.3.3. Equilibrio de fuerzas en el plano Y-Z



**Fig. 6.5** Representación del diagrama de esfuerzos de la guía del conjunto elevador alimentador, plano Y-Z

Planteando la ecuación del equilibrio de fuerzas y de momentos respecto al centro de la unidad de rodamiento 2

De la resolución del sistema de ecuaciones se obtienen los valores:

$$R_{1Y} + R_{3Y} = -224 \text{ N}$$

$$R_{2Y} + R_{4Y} = -224 \text{ N}$$

$$\sum F_Y = 0 = R_{1Y} = R_{3Y} = -R_{2Y} = -R_{4Y}$$

$$\sum F_f = 0 = \sum F_{fi} + F_{aa} + M_g + F_c$$

$$\sum M_x = 0 = (R_{1Y} = R_{3Y}) \cdot 171 - F_c \cdot 70,1 + 2F_{fi} \cdot 140 + F_a \cdot 26,7 - 833 \cdot 26,7 \quad (\text{Ec. 6.6})$$

El estado de cargas sobre cada unidad de rodamientos es:

Unidad de rodamiento 1

$$R_{1x} = 857 \text{ N}$$

$$R_{1Y} = -112 \text{ N}$$

$$R_{1z} = -27 \text{ N}$$

Unidad de rodamiento 2

$$R_{2x} = -857 \text{ N}$$

$$R_{2Y} = 112 \text{ N}$$

$$R_{2z} = -27 \text{ N}$$

Unidad de rodamiento 3

$$R_{3x} = 857 \text{ N}$$

$$R_{3Y} = -112 \text{ N}$$

$$R_{3z} = -27 \text{ N}$$

Unidad de rodamiento 4

$$R_{4x} = -857 \text{ N}$$

$$R_{4Y} = 112 \text{ N}$$

$$R_{4z} = -27 \text{ N}$$

Las cargas admisibles para la unidad de rodamientos son:

$$F_z = 2500 \text{ N}$$

$$F_{Oz} = 2500 \text{ N}$$

$$F_Y = 1500 \text{ N}$$

$$F_{OY} = 2500 \text{ N}$$

No es posible calcular la vida de las unidades de rodadura. El fabricante dispone de un programa de cálculo para ello, pero solamente contempla una disposición de las cuatro unidades en el mismo plano, por lo que no es aplicable en este caso.

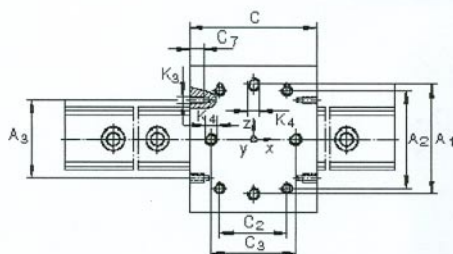
Las cargas sobre las unidades son muy inferiores a su capacidad de carga dinámica y estática, por lo que se considera que el diseño y el dimensionado son correctos.



19/11/04 13:27



LFL 52 SF  
Open carriage LFL..SF



- $M_A$
- $M_A$
- $G_W$
- 
- 

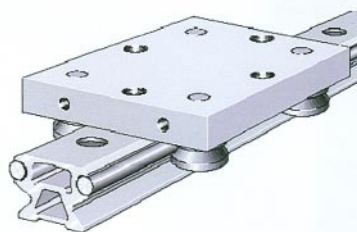
40	Nm
23	Nm
1000	g

C	100	mm
<input type="checkbox"/> $A_1$	90	mm
$A_2$	83	mm
$A_3$	65	mm
$C_2$	60	mm
<input type="checkbox"/> $C_3$	70	mm
$C_7$	12	mm
$K_3$	M6	
$K_4$	M10	
$F_y$	1500	N
$F_{0y}$	2500	N
<input type="checkbox"/> $F_z$	2500	N
<input type="checkbox"/> $F_{0z}$	2500	N
$M_x$	33	Nm
$M_{0x}$	52	Nm
<input type="checkbox"/> $M_y$		Nm
<input type="checkbox"/> $M_{0y}$		Nm
$M_z$	47	Nm
$M_{0z}$	78	Nm

19/11/04 20:15



LFL 52 SF  
Open carriage LFL..SF



- $M_A$
- $M_A$
- $G_W$
- 
- 

40	Nm
23	Nm
1000	g

**Fig. 6.6** Representación de las cargas estáticas y dinámicas admisibles



#### **6.3.4. Cálculo de los cilindros neumáticos**

El cálculo de los cilindros se ha realizado con el software de cálculo de ProPneu 4.2.2.3 de FESTO.

En soporte informático se adjuntas las hojas de datos y de resultados de todos los cilindros, tanto desde el punto de vista de esfuerzos, como para el cálculo de velocidades y Tiempos de desplazamiento

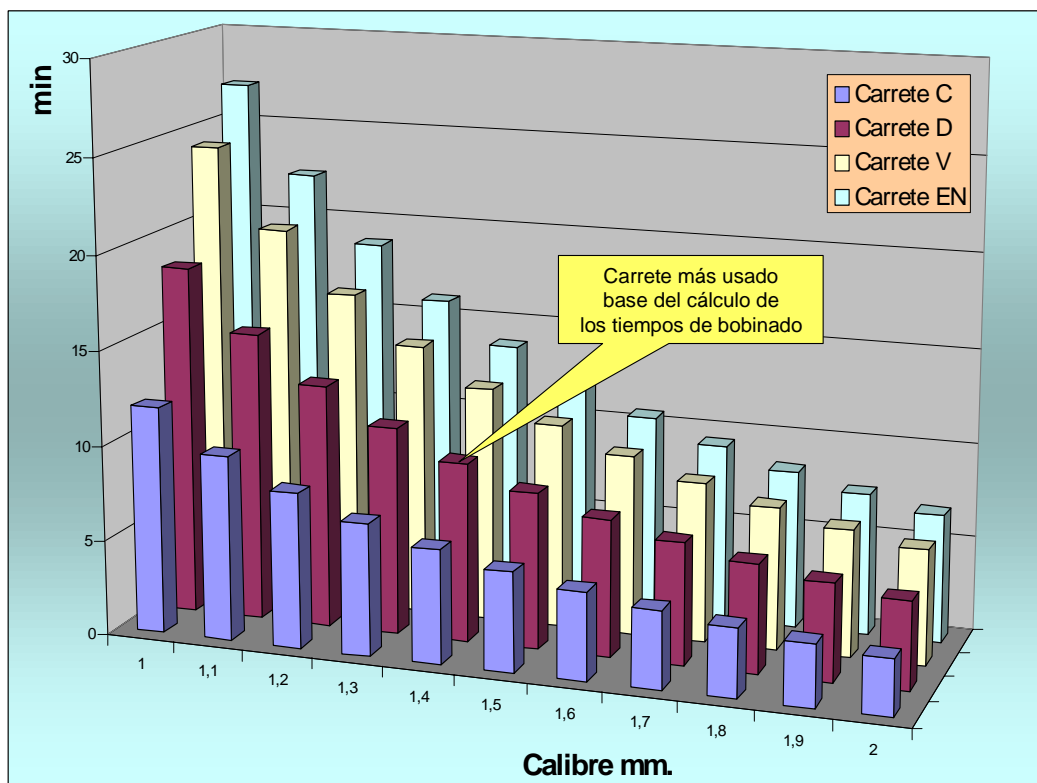




## 7. Cálculo de procesos

### 7.1. Tiempos de bobinado

Los cálculos de los tiempos de bobinado se pueden observar en los diagramas adjuntos.



**Fig. 7.1** Representación de los tiempos de bobinado

Hay que tener en cuenta que para el número total de espiras se ha contemplado un factor de empaquetado del 85 % ya que la máquina no proporciona un perfecto plegado, es decir, el número de espiras que entran dentro del carrete son el 85% de las teóricas calculadas.

## 7.2. Proceso manual

El proceso existente requiere de la presencia del operario para evacuar la bobina terminada y cargar un carrete nuevo, para el inicio del nuevo ciclo.

En la fig. 7.3 se representa gráficamente dicho proceso, donde se observa que el tiempo de mano de obra está ligado al proceso de máquina.

En la fig. 8.1 se ofrecen los tiempos reales en minutos centesimales

Los tiempos operativos han sido calculados por MTM-2 (Methods Time Measurement) que como se explica en el glosario, es un sistema de medición de tiempos tipos según valores predeterminados.

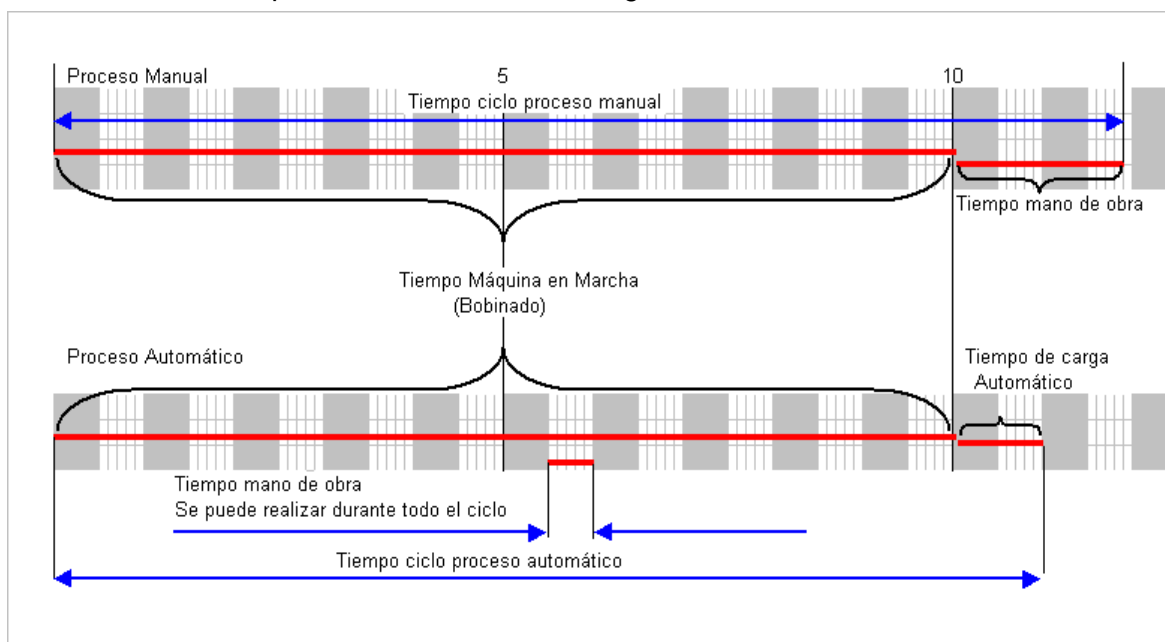
En los diagramas adjuntos se pueden encontrar el estudio con todo detalle.

## 7.3. Proceso automático

La ventaja de este proceso radica en que el tiempo de mano de obra no está ligado al proceso de la máquina, pudiendo realizarse en cualquier momento dentro del ciclo de trabajo como se pone de manifiesto en la fig. 7.3

El tiempo de carga en automático está calculado a través del tiempo de actuación de los cilindros según programa de cálculo de FESTO (Mencionado en el punto 6.3.4), y teniendo en cuenta el camino crítico,

El detalle de los tiempos reales se ofrece en la fig. 8.1.



**Fig. 7.3.** comparación entre proceso manual y automático



## 8. Estudio económico

### 8.1. Ahorro debido al proceso automático

Equilibrado de las líneas para los dos procesos							
	Tiempo de bobinado	Tiempo de Carga de carrete	Mano de obra proceso Automático	Tiempo Ciclo	Número de Máquinas por Operario	Número de Operarios para 20 máquinas	Número de operarios ajustado
<b>Proceso Manual</b>	10,027	1,868		11,8950	6,36777	3,1408155	4
<b>Proceso Automático</b>	10,027	1,046	0,529	11,0730	20,93195	0,9554773	1
						Ahorro de operarios por turno	3
						Ahorro de operarios en tres turnos	9
						Ahorro en mano de obra en 000 (T €)	<b>270</b>
						Coste operario/año	30000 €/h
		Producción anual	Produccion			Ahorro por productividad	<b>20</b>
		Nº de bobinas	por hombre			<b>Total ahorro anual (T €)</b>	<b>290</b>
		Produccion proceso manual	631929,38	70214,38			
		Produccion proceso automatico	678840,42	226280,14			
		Aumento de producción	46911,04				
		Hombres adicionales por productividad		<b>0,668111623</b>			
		Días de trabajo	261				



## 8.2. Inversión del proceso automático para 20 máquinas

Presupuesto para la construcción de 20 máquinas		€	€	€
<b>PROYECTO</b>				<b>16.500</b>
	Recepción encargo, recogida de datos, preparación proyecto y otros gastos de inicio	1.500		
	Análisis y diseño de soluciones	9.000		
	Finalización y presentación documentos	3.600		
	Asistencia a la construcción y solución de incidencias	2.400		
<b>CONSTRUCCIÓN</b>				<b>18.500</b>
<b>Material de comercio</b>			<b>6.300</b>	
	Material neumático	4.200		
	Rodamientos y similares	1.800		
	Ferretería y tornillería	300		
<b>Subcontratación</b>			<b>400</b>	
	Tratamientos térmicos y superficiales	200		
	Rectificadora	200		
<b>Materiales</b>			<b>1.060</b>	
	Acero de construcción	160		
	Aceros especiales y otros materiales	300		
	Acero de oxicorte y similares	600		
<b>Mano de obra</b>			<b>10.740</b>	
	Construcción y mecanización	6.000		
	Montaje	2.500		
	Puesta en marcha	2.240		
<b>CONSTRUCCIÓN DE PROTOTIPOS</b>				<b>3.700</b>
<b>Contingencias en la construcción de los prototipos</b>			<b>3.700</b>	
	Materiales	1.552		
	Mano de obra	2.148		
<b>COSTE UNITARIO DE CADA APARATO PARA UNA SERIE DE 20 UNIDADES</b>				<b>19.510</b>



### 8.3. Cálculo de la rentabilidad

La inversión en 20 máquinas es :  $20 \times 19,51 = 390,2$  (Ec. 8.1)

Valores en miles de Euros (T €)

El coste de cada máquina es de 19.510 €

$$C_{\text{coste-máquinas}} = N_{\text{número-de-máquinas}} * I_{\text{Inversion-po-máquinatrans}} \quad (\text{Ec. 8.1})$$

**Retorno de la inversión =  $390,2 / 290 = 1,34$  años**

**En otras palabras un año y 4 meses**



## 9. Mantenimiento y transporte

### 9.1. Montaje y desmontaje

El sistema de montaje se efectúa mediante uniones roscadas mediante tornillos y tuercas, por lo que las operaciones de mantenimiento y reposición de cualquier órgano deteriorado se realiza con absoluta facilidad.

En todas las imágenes anteriores se ha podido observar la facilidad de acceso a todos los dispositivos, con lo que los paros productivos por casos de mantenimiento son mínimos.

Se recomienda al cliente disponer de al menos 4 juegos de cuchillas de la cizalla que pueden sufrir roturas accidentales y son piezas que tienen un tiempo de suministro largo.

Los demás componentes se recomienda mantener un stock de repuestos mínimo ya que o bien son piezas que pueden adquirirse fácilmente en el comercio o difícilmente pueden presentar un fallo repentino.

### 9.2. Transporte

El sistema modular del proyecto así como el montaje mediante uniones atornilladas, facilita el transporte, no siendo necesario el uso de vehículos pesados. Dadas las dimensiones del equipo es fácil de embalar en tres cajas de madera totalmente cerradas o un material de similar resistencia. Si el transporte es de larga distancia o debe permanecer mucho tiempo en el almacén será conveniente proteger los componentes dentro de las cajas con film de polietileno y colocar un absorbente de humedad.



## 10. Seguridad

El proyecto se ha desarrollado siguiendo las normas y regulaciones existentes en la Unión Europea..

### 10.1. Protecciones

Alrededor de la máquina se colocará una estructura de protección de manera que solamente queden dos aberturas; una abertura para la carga de carretes al alimentador y otra de salida o evacuación de las bobinas terminadas.

El resto se ajustará a la máquina de manera que no sea accesible ninguna parte en movimiento.

Esta estructura será de tubo de acero electrosoldado y las superficies se cubrirán con malla metálica de la dimensión adecuada para impedir el `paso de las extremidades. Se ha optado por malla en lugar de policarbonato transparente o cristal blindado por su peso y facilidad de limpieza.

La protección se podrá abrir cerca de la zona de bobinado para acceso de mantenimiento y preparación de la máquina. Esta aberturas estarán protegidas con un interruptor de seguridad con bloqueo de manera que sea necesario parar la máquina antes de poder abrirla

### 10.2. Normativa armonizada aplicable.

Directiva 98/37 CE sobre máquinas. Transpuesta en el RD 1435/1992

EN ISO 12100-1; 2003 Seguridad de máquinas. Conceptos básicos. Principios generales de diseño. Parte 1. Terminología básica. Metodología.

EN ISO 12100-2; 2003 Seguridad de máquinas. Conceptos básicos. Principios generales de diseño. Parte 2. Principios y especificaciones técnicas.

UNE EN 1050; 1997 Seguridad de máquinas. Principios para la evaluación del riesgo.

UNE EN 294; 1993 Seguridad de máquinas. Distancia de seguridad para impedir que se alcancen zonas peligrosas con los miembros superiores.



UNE EN 811; 1997 Seguridad de máquinas. Distancia de seguridad para impedir que se alcancen zonas peligrosas con los miembros inferiores

UNE EN 953; 1998 Seguridad de máquinas. Resguardos. Requisitos generales para el diseño y la construcción de resguardos fijos y móviles.





## **11. Medio ambiente**

### **11.1. Materiales y procesos de construcción**

Los materiales de construcción son aceros de mayor o menor dureza y latón.

Estos materiales no comportan ningún riesgo medioambiental, si se utilizan procesos de fabricación y retirada de chatarras de manera adecuada.

La pinturas de embellecimiento y protección de la máquina son solubles al agua por lo que no comportan emisiones al ambiente

### **11.2. Reciclabilidad y fin de vida útil.**

Como se describe en el apartados anteriores el hecho de emplear materiales metálicos comporta su reutilización mediante procesos de fundición, tanto de las partes deterioradas, como cuando los equipos acaben su vida útil, bien por obsolescencia tecnológica o por cese de actividad.



## 12. Alternativas consideradas

Además de el estudio aquí propuesto se ha planteado la posibilidad de adquirir líneas completas.

Esta propuesta planteaba dos aspectos fundamentales:

Por una parte la rentabilidad económica es inferior a la de la solución propuesta.

Por otro lado la empresa no dispone de presupuesto para cubrir la inversión necesaria.

Sólo como referencia, la adquisición de equipos nuevos hubiese supuesto una inversión del orden de 700 T€, ya que si bien son algo más eficientes y por números absolutos hubiese bastado con 18 máquinas al tratarse de un sistema esclavo, esto es cada trefiladora sirve a una bobinadora las necesidades reales siguen siendo de 20 unidades.



## Conclusiones

- a) El trabajo aquí expuesto cumple con los objetivos de productividad y de presupuesto de la empresa.
- b) De la valoración económica, se desprende un **retorno de la inversión de un año y cuatro meses**, que se puede considerar como adecuada, teniendo en cuenta que se aumenta también la productividad de las máquinas de trefilar unidas al sistema en un 7% .
- c) El riesgo puede considerarse como bajo ya que antes de producir las 20 maquinas, el sistema se habrá optimizado con tres prototipos
- d) La recomendación el clara en el sentido de proceder a la ejecución y puesta en marcha del proyecto





## Bibliografía

### Referencias bibliográficas

- [1] <http://catalog.festo.com/enu/asp/DefaultBAResult.asp?ID=163302&L=001> (18.11.04)
- [2] <http://www.broomfieldusa.com/pdt1020.php> (18.11.04)

Aquest apartat si s'escau s'ha de presentar de la mateixa forma que la llista de referències anterior, però amb la diferència que en ell poden figurar referències bibliogràfiques consultades o relatives a la temàtica objecte del PFC, i que no hagin estat citats al llarg del mateix. Haurien d'indicar-se els criteris amb els que s'han seleccionat els documents.

### Bibliografía complementaria

- [3] <http://www.gestiopolis.com/recursos/documentos/fulldocs/ger/estudiemtrab.pdf> (18.11.04)
- [4] <http://www.ie.psu.edu/courses/ie327/MTMcheck.pdf> . (18.11.04)
- [5] <http://insiste.industrial.uson.mx/materias/m0902/t5.htm> (18.11.04)
- [6] Mize/White/Brooks/*Planificación y control de operaciones*/ 1973
- [7] Falk, Krause, Tiedl *Metalltechnik Tabelle* Westermann 2002
- [8] G. Niemann *Elementos de maquinas* Editorial Labor 1987

