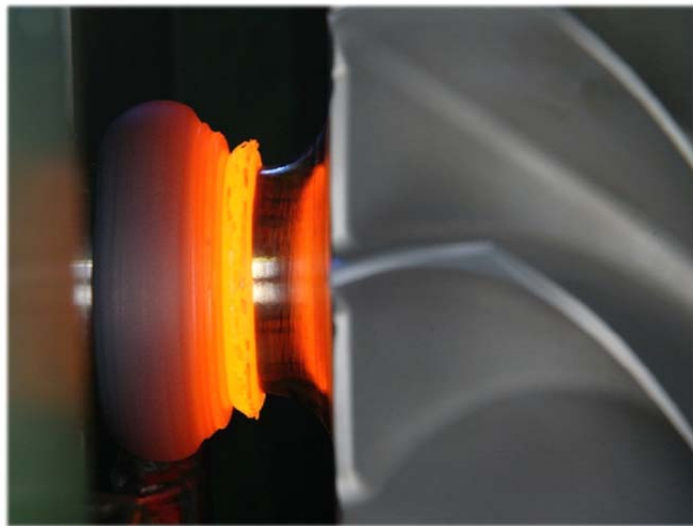


Escuela Politécnica de San Sebastián

Trabajo de Fin de Grado

# **SOLDADURA POR FRICCIÓN ROTATIVA**

## **En GKN Driveline Zumaia**



Realizado por: **Roke Bueno Zabalo**

Alumno de la Escuela Politécnica de San Sebastián

Dirigido por: **Dr. Faustino Mujika Garitano**

Profesor de la Escuela Politécnica de San Sebastián y

Autor de varios libros de Ingeniería

Fecha: 29 de junio de 2015

Agradecimientos del autor:

- Al Dr. Faustino Mujika Garitano, que ha dirigido este Trabajo, aportando desde el principio su experiencia tanto en la forma como en el contenido
- A los compañeros de GKN Driveline Zumaia, por haberme enseñado todo lo que sé sobre este tema
- A Marikris Irastorza, que me ha apoyado durante todo este curso

## RESUMEN

En el presente trabajo, se ha tratado de recoger la información relevante sobre el proceso de soldadura por fricción rotativa, aplicado a la automoción, desde la experiencia adquirida por el autor en GKN Driveline Zumaia.

En el primer capítulo se realiza el planteamiento del trabajo con sus objetivos.

En el segundo capítulo se explica el proceso de soldadura de fricción desde diferentes enfoques.

El tercer capítulo describe brevemente GKN Driveline Zumaia, que cumple en Junio del 2015 su 75 Aniversario y su producto estrella la tulipa soldada, componentes para transmisiones homocinéticas para todo tipo de vehículos de automoción.

El cuarto capítulo se describe dos temas claves del proceso de soldadura, las etapas o fases del ciclo de soldadura y los parámetros que lo gestionan.

A continuación vienen tres capítulos ordenados desde el punto de vista del flujo del proceso, que serían:

En el quinto capítulo, se enfatiza sobre la importancia de la materia prima, tema clave para poder asegurar la calidad del producto final.

El sexto capítulo, se centra en la máquina de soldadura, en concreto en las partes que le diferencian de otras máquinas y que afectan directamente al proceso de soldadura.

En el siguiente capítulo, séptimo, se da un repaso a los distintos controles que han de pasar las piezas una vez estén fabricadas.

En el posterior capítulo y octavo, se mencionan algunos objetivos que se pretenden alcanzar durante el 2015 en GKN Driveline Zumaia, con el propósito de seguir mejorando el proceso.

En el penúltimo capítulo y noveno, aparecen las conclusiones de este trabajo.

Finalmente en el último la bibliografía utilizada.



## Índice

1.- INTRODUCCIÓN.....	1
1.1.- Planteamiento.....	1
1.2.- Objetivos.....	1
2.- SOLDADURA POR FRICCIÓN .....	2
2.1.- Definición de soldadura por fricción rotativa .....	2
2.2.- Conceptos básicos sobre la soldadura por fricción .....	2
2.3.- Datos históricos.....	2
2.4.- Etapas de la soldadura por fricción.....	3
2.5.- Parámetros principales.....	4
2.6.- Soldadura desde el punto de vista atómico .....	5
2.7.- Grietas de soldadura.....	6
3.- GKN DRIVELINE .....	7
3.1.- GKN Driveline Zumaia.....	7
3.2.- Proceso de fabricación de tulipa .....	8
3.3.- Distintos tipos de soldadura .....	9
4.- FASES Y PARÁMETROS DEL PROCESO .....	10
4.1.- Fases y propósitos de la soldadura por fricción rotativa .....	10
4.2.- Parámetros de Soldadura.....	11
5.- MATERIAL.....	14
5.1.- Limpieza .....	14
5.1.1.- Criterios de limpieza pieza.....	14
5.1.2.- Criterios de limpieza cestones .....	15
5.2.- Dimensiones.....	16
5.2.1.- Longitud.....	16
5.2.2.- Salto .....	16
5.3.- Superficie de fricción.....	17
5.4.- Dureza, estructura, composición, etc. ....	17
5.5.- Temperatura .....	18
5.6.- Nuevos materiales .....	18
5.7.- Combinación de causas.....	19
6.- MÁQUINA .....	21
6.1.- Elementos de máquina .....	21
6.2.- Variantes de Ciclo.....	22

6.2.1.- Fricción por carreras absolutas vs. relativas .....	22
6.2.2.- Con / Sin presión diferencial.....	24
6.2.3.- Ejemplos de cálculo de presión hidráulica a aplicar .....	26
6.3.- Ciclo de Soldadura.....	27
6.3.1.- Arranque y avance rápido .....	28
6.3.2.- Avance lento .....	28
6.3.3.- Determinación de la posición del “cero pieza” .....	29
6.3.4.- Fases de la soldadura .....	29
6.4.- Control de Parámetros.....	32
6.4.1.- Magnitudes de Medición.....	33
6.4.2.- Parámetros de Soldadura Controlados .....	34
6.4.3.- Mensajes de Error .....	36
6.5.- Tolerancias de Aceptación.....	37
7.- CONTROL.....	38
7.1.- Flexión .....	38
7.2.- Ultrasonidos .....	40
7.3.- Torsión .....	45
8.- MEJORA DEL PROCESO.....	46
9.- CONCLUSIONES .....	47
10.- BIBLIOGRAFÍA .....	48

# **1.- INTRODUCCIÓN**

## **1.1.- Planteamiento**

El planteamiento de este trabajo ha sido el de tratar de ordenar y resumir una información inicialmente demasiado extensa, recogida durante varios años en GKN Driveline Zumaia, sobre el proceso de unión de la soldadura por fricción rotativa.

En un primer intento de reunir los distintos capítulos, el autor realiza un trabajo en forma de presentación en PowerPoint, útil por otro lado para impartir una breve formación sobre este proceso, a distintas Escuelas que visitan la planta de GKN Driveline Zumaia o a la propia gente que se incorpora a la plantilla. Este primer documento es traducido por Elhuyar al euskera.

Partiendo del documento anterior, se van ordenando los distintos conceptos. Primero se explica el proceso en sí y después los capítulos tratan de seguir el flujo natural del proceso de fabricación, empezando por la importancia de la calidad de la materia prima, siguiendo por la máquina que realiza la propia soldadura terminando por los controles finales que se le hacen al producto acabado.

Para ello se han tenido que resumir, ordenar o eliminar algunos elementos que aparecían en el primer documento y sobre todo se intentado explicar bien cada uno de ellos.

## **1.2.- Objetivos**

El objetivo principal de este proyecto ha sido el de tratar de crear un documento, integro en su conjunto, sobre el proceso de fabricación de la soldadura por fricción rotativa.

Para ello se ha tenido que ordenar la información técnica relativa al proceso de soldadura fricción, partiendo de la experiencia del autor, responsable de este proceso en su planta de producción.

El compromiso que se pretende es de alcanzar a ser un documento útil para obtener una breve introducción sobre el proceso de la soldadura por fricción rotativa, en una empresa de automoción puntera guipuzcoana.

Por otra parte, en este trabajo se enfatiza en los aspectos que tienen que ver más quizás con la Calidad del producto final. Es cierto que en automoción, también prima la productividad.

Finalmente, el aprendizaje continuo, abre nuevas oportunidades a GKN Driveline Zumaia de vías de investigación y desarrollo, en este trabajo se tratará de dar una pincelada a estos temas.

## 2.- SOLDADURA POR FRICCIÓN

### 2.1.- Definición de soldadura por fricción rotativa

La soldadura por fricción rotativa aplicada al acero, es un método de soldadura que aprovecha el calor generado por la fricción mecánica entre dos piezas de acero en movimiento relativo, girando un componente con respecto a otro.

### 2.2.- Conceptos básicos sobre la soldadura por fricción

- Requerimiento básico: Conseguir generar de forma rápida el calor suficiente para que la temperatura de las superficies a unir aumente lo suficiente para poder desplazar y unir el material.
- Este proceso de soldadura se da en estado sólido
- ¿Cómo se genera el calor? Una pieza gira (o se mueve) con respecto a otra y ambas son mantenidas en contacto a unas presiones determinadas, produciendo calor y un desplazamiento plástico del material de las superficies a unir.
- Existen varios tipos de soldadura por fricción, la del tipo rotativa es solo uno de ellos. Por otro lado la soldadura por fricción, es aplicable a muy distintos materiales.
- Este trabajo trata de explicar únicamente la soldadura por fricción rotativa aplicada al acero.

### 2.3.- Datos históricos

La soldadura por fricción rotativa es una técnica, inventada hace más de un siglo, si bien no se comienza a implantar hasta los años 70-s.

Se podrían resaltar los siguientes hitos:

- 1891: 1ª patente (USA)
- 1957: 1ª aplicación industrial (USSR)
- A partir de los años 70-s: Implantado en Europa y USA

En la viñeta inferior del fabricante alemán KUKA, aparecen 2 personas soldando en una máquina manual y otra realizando el ensayo de control a flexión.

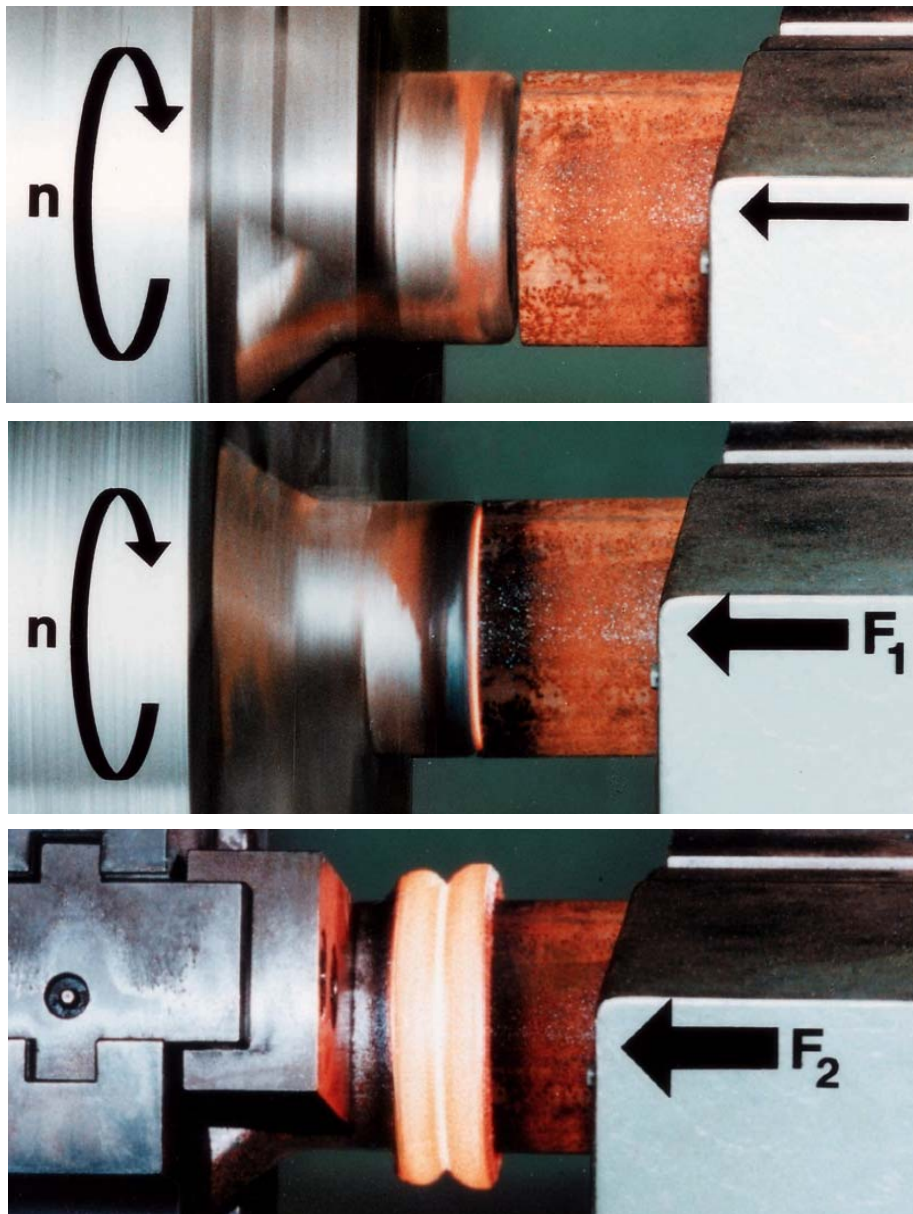




## 2.4.- Etapas de la soldadura por fricción

En las siguientes tres imágenes, se muestran las tres etapas de la soldadura por fricción:

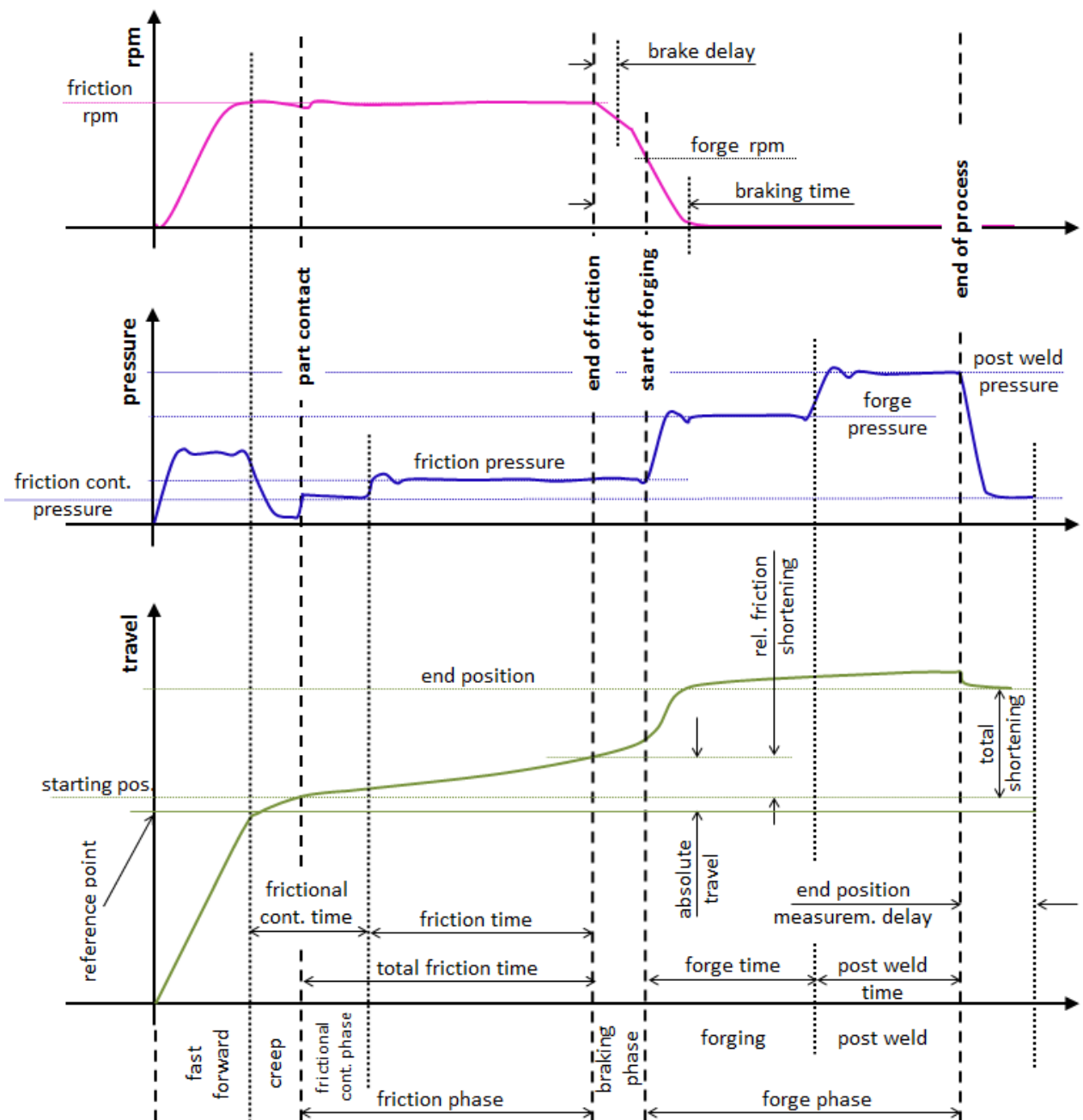
- **Etapa de prefricción:** Etapa de unos 2-3 segundos, de giro relativo y de muy baja presión.
- **Etapa de fricción,** la más larga en el tiempo, de unos quince segundos. Con respecto a la etapa anterior se aumenta considerablemente la presión ejercida manteniendo el giro.
- **Etapa de recalcado,** donde se frena en “seco” y se aplica una presión entre dos y tres veces a la de la etapa anterior. La duración puede ser de unos tres segundos.



## 2.5.- Parámetros principales

La soldadura por fricción rotativa se realiza gobernando 3 parámetros, velocidad, presión y acortamiento. Abajo tenemos el triple-gráfico en la escala del tiempo durante un ciclo completo de soldadura.

Hay que reconocer que conforme a la experiencia de GKN Driveline, la etapa de recalado es mucho más breve que la de fricción, ya que en tres segundos desde que para el cabezal de giro, el material se enfría y deja de ser plástico por mucha presión que se le aplique.

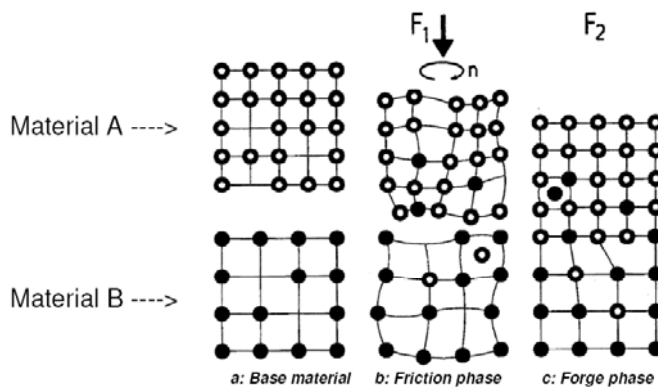


## 2.6.- Soldadura desde el punto de vista atómico

Otra manera de explicar brevemente el proceso de la soldadura por fricción rotativa es a nivel atómico. Durante la etapa de fricción, el material alcanza una temperatura del orden de 1000 °C y en la etapa de recalado, también llamado a veces de forja, se completa la soldadura aplicando una mayor presión, para alcanzar una mayor difusión atómica que deja unidos ambos componentes.

### 1.4 The friction welding process

Simplified representation of the crystalline structure during a friction welding operation



#### Explanation of the schematic diagram

- Crystalline structure of base material A and B. "Gaps" (holes) are evident in the molecular structure.
- The temperature increases during the friction phase, thereby increasing the vibrations and the distances between the atoms and proportionally reducing the stability of the structure. The "gaps" actually increase by a factor of 10 to the power 8. In figures: If there is only one "gap" per square millimeter in a crystalline structure at room temperature, there are 100 million "gaps" at the melting point. This allows diffusion to take place. Furthermore, in the case of high temperatures and unstable structures, the atoms move within the crystal; simultaneously, "gaps" are filled, while new "gaps" are formed.
- Following forging, the diffusion is slowed down or stopped. A three-dimensional deformation of the crystals and the cohesive forces ensure maximum quality of the friction weld.

## 2.7.- Grietas de soldadura

En la foto de abajo aparece una grieta aparecida en el año 2015 en una pieza de GKN Driveline Zumaia, producida en la entre-cara de la soldadura.

Es en este tipo soldadura, en el de los componentes sólidos y no en la de los tubulares donde existe mayor riesgo de que se generen grietas.

Existen varios factores:

- a) En cuanto a la velocidad de calentamiento-enfriamiento:

Por un lado hay que tener en cuenta que en una barra, en el centro, durante la etapa de fricción al no haber una velocidad relativa entre ambos componentes, el calentamiento es más lento, evolucionando desde el exterior hacia el interior. El interior del material tampoco es medible directamente mediante por ejemplo un pirómetro óptico o cámara termográfica.

Por otro lado, el enfriamiento que se produce por conducción a través de los componentes, es más rápido en el centro que en la periferia, por consiguiente el riesgo de que aparezcan zonas de mayor dureza es mayor. Este riesgo aumenta en invierno ya que se sueldan componentes más fríos.

- b) En cuanto a la eliminación de posibles impurezas:

Por el mismo motivo que el anterior, es más difícil expulsar del centro de la soldadura cualquier impureza que hubiera inicialmente en uno de los componentes. Teóricamente hay un límite acordado con el proveedor pero la realidad o la estadística a veces juega en contra de la calidad.

Si el acero trae alguna segregación embebida, hay al menos dos posibilidades:

- Si por ejemplo es de carbono, la zona afectada térmicamente tenderá a alcanzar mayor dureza y por lo tanto también mayor fragilidad.

- En el caso de que haya por ejemplo inclusiones de sulfuro de manganeso, éstas tenderán a crear pequeñas zonas no unidas conocidas como micro-cavidades y en estas zonas se producen mayores tensiones, al ser sometidas las transmisiones de vehículo a torsión.



### 3.- GKN DRIVELINE

#### 3.1.- GKN Driveline Zumaia

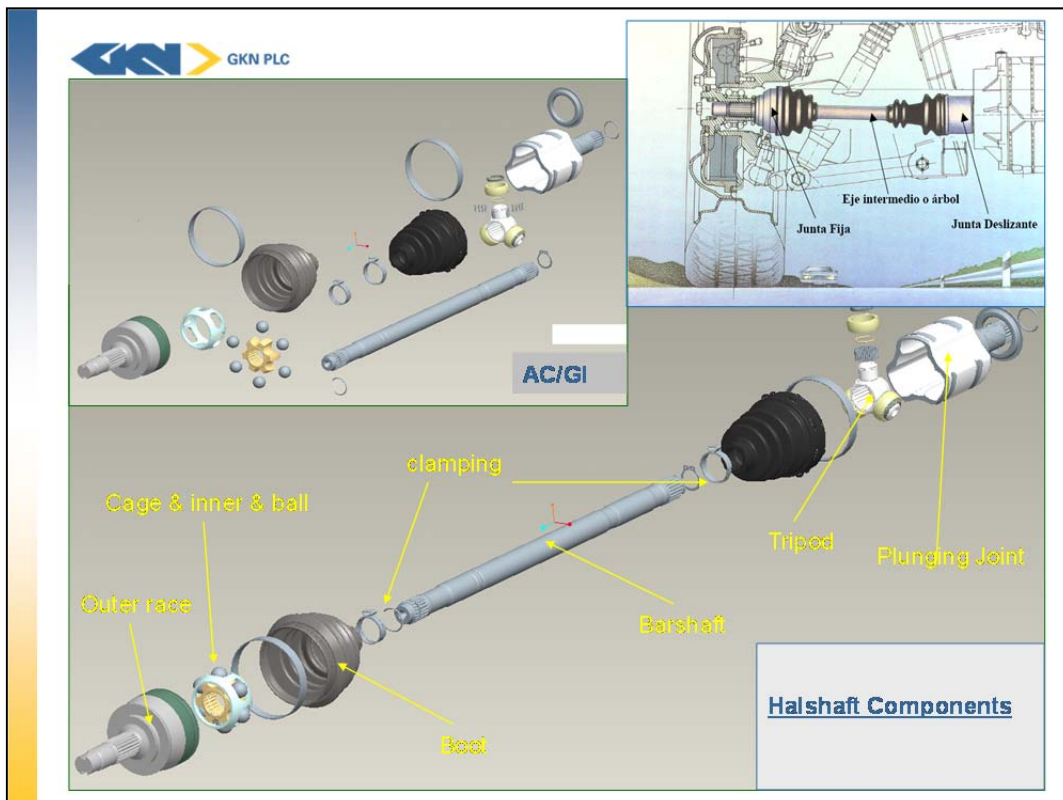
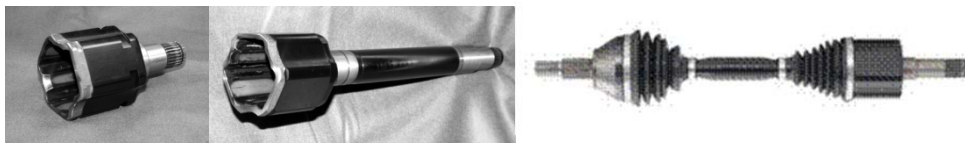
Por contextualizar, el proceso de soldadura dentro de la empresa GKN Driveline Zumaia, del que se ha extraído la experiencia para el contenido de este trabajo, hay que explicar, antes de entrar en otros contenidos de este trabajo, los siguientes temas:

Sobre GKN Driveline Zumaia, además de fabricar componentes para transmisiones, lidera otro proyecto a nivel mundial de acoplar un motor directamente a la rueda, si el futuro de las transmisiones fuera éste debido a las restricciones cada vez más severas de emisión de CO2 etc., GKN Driveline Zumaia, tendría que adaptarse al mercado y fabricar otro tipo de transmisiones muy distintas a las actuales.

Normalmente, dos transmisiones transmiten el par del motor a las dos ruedas motrices de un vehículo. Hay también otros vehículos de cuatro transmisiones, los conocidos de tracción 4x4.

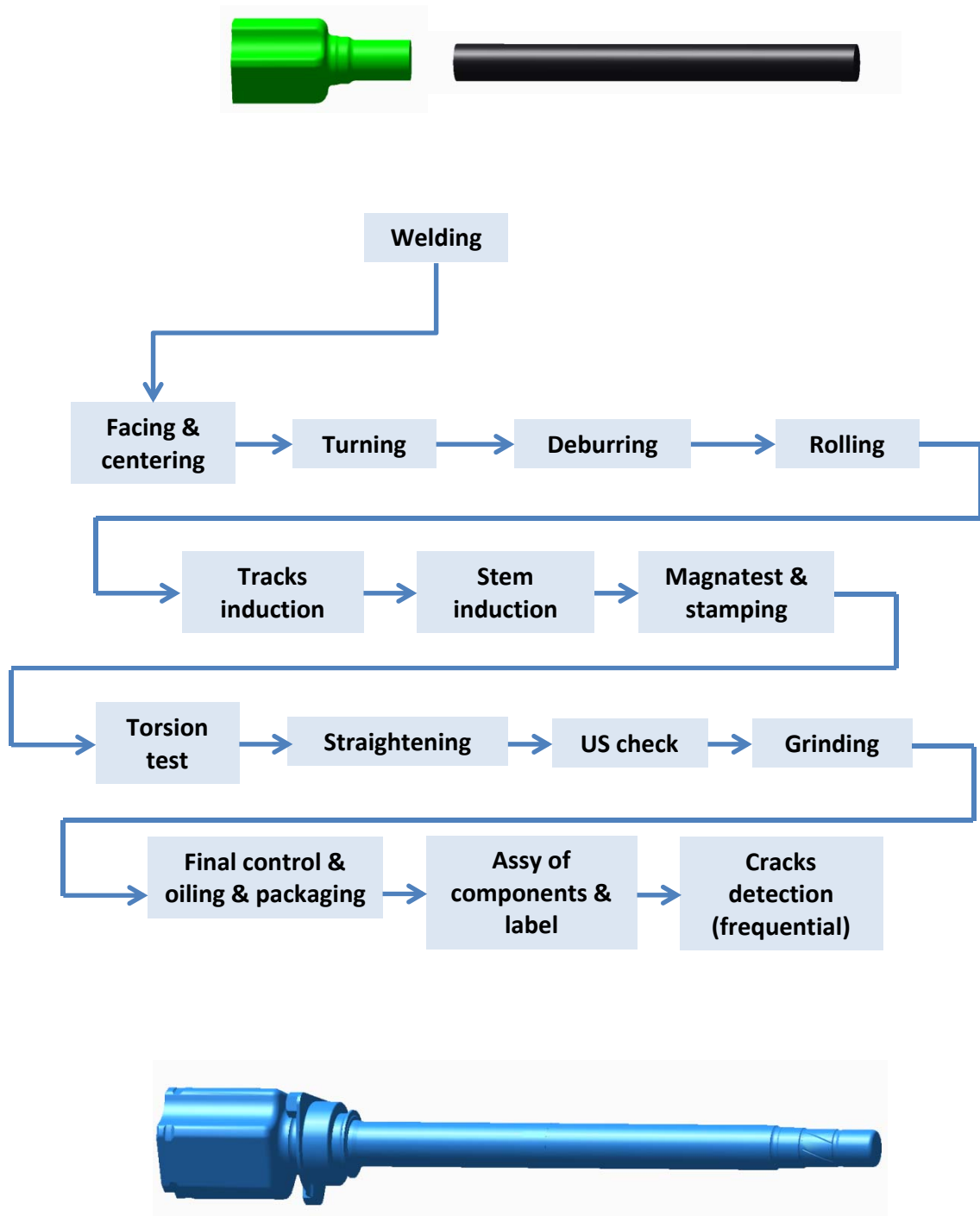
El componente de transmisión que se fabrica en GKN Driveline Zumaia se llama tulipa. Cada día se fabrican en GKN Driveline Zumaia 10000 car-sets, es decir 10000 tulipas cortas y 10000 soldadas.

Tulipa corta, soldada y transmisión y transmisión completa:



### 3.2.- Proceso de fabricación de tulipa

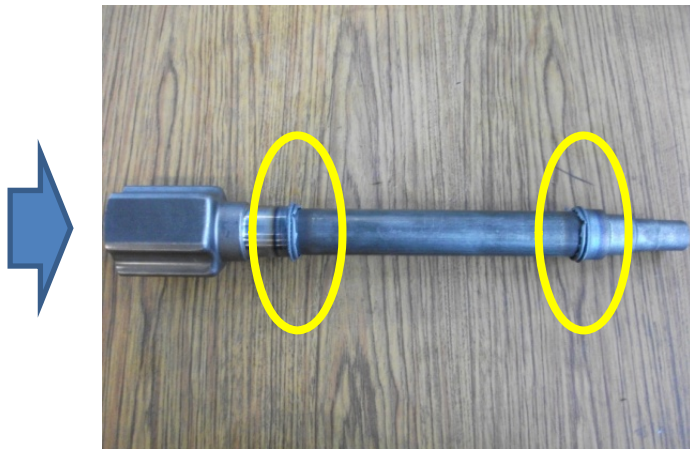
La soldadura por fricción es la primera etapa de fabricación de la tulipa soldada en una célula totalmente automatizada que cubre los siguientes procesos de fabricación y control 100% de piezas:



### 3.3.- Distintos tipos de soldadura

Dependiendo del componente del que parte, hay dos tipos de tulipas:

- Si se trata de una **tulipa tubular**, tendrá tres componentes y dos soldaduras:



- **Tulipa de barra:** Dos componentes con una soldadura



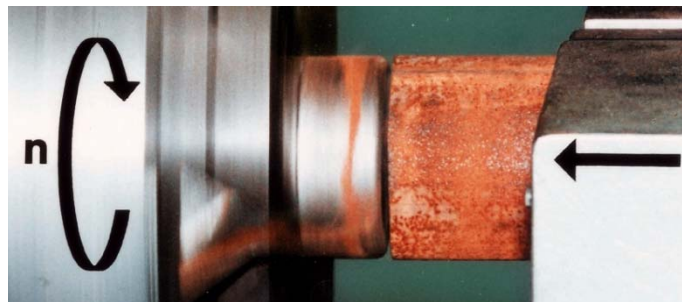
## 4.- FASES Y PARÁMETROS DEL PROCESO

### 4.1.- Fases y propósitos de la soldadura por fricción rotativa

#### Fase A.- Prefricción:

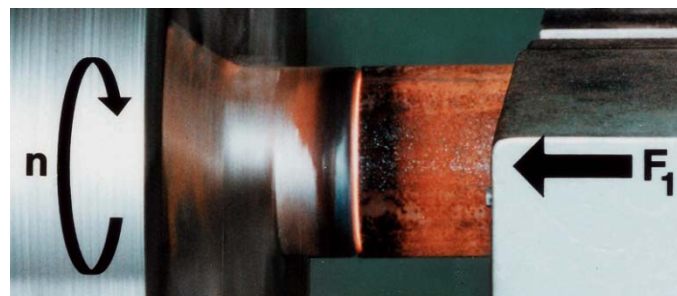
Tiene los siguientes propósitos:

- Preparar las superficies a soldar, tratando de eliminar irregularidades, impurezas o capas de óxido que provienen de los componentes a soldar.
- Reducir el par inicial aplicado al motor, gracias a la utilización de una presión menor al inicio del proceso.
- Homogeneizar la temperatura de toda la superficie.



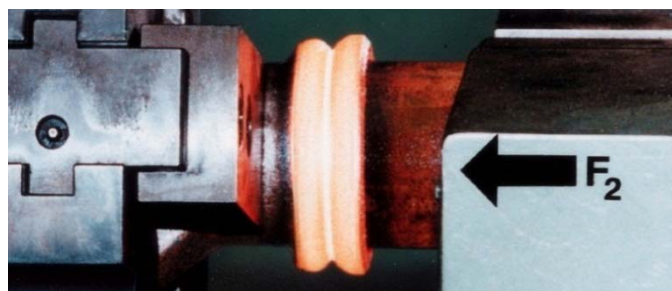
#### Fase B.- Fricción:

- Trata de generar el calor suficiente para conseguir un desplazamiento plástico del material, formándose la rebaba característica.



#### Fase C.- Recalcado:

- Esta fase ha de terminar de conseguir un desplazamiento plástico del material suficiente para completar la soldadura.





## 4.2.- Parámetros de Soldadura

Los parámetros de consigna y a la vez control de un proceso de soldadura por fricción son:

- Velocidad de giro del cabezal
- Presiones de prefricción, fricción y recalado
- Tiempos de prefricción y recalado
- Acortamiento de la fricción
- Tiempos de retardo de frenado y de recalado
- Otros “secundarios”: Temperatura, Amarre, Orientación del cabezal ...

Los principales, únicamente de control:

- Tiempo durante la etapa de fricción
- Acortamientos total de las piezas

### A) Velocidad de giro

- Tiene poco efecto sobre la calidad de la soldadura
- Influencia sobre la forma de la rebaba
  - A baja velocidad = rebaba irregular
  - A partir de una velocidad umbral (depende del material) = rebaba uniforme
- Influencia sobre el calentamiento: A medida que aumenta la velocidad de giro disminuye el calentamiento.

### B) Presión

- Esta es la variable más importante de la soldadura por fricción
- Influye en el calor generado, en la temperatura de la superficie de contacto:
  - Una presión alta produce una disminución de la temperatura de la superficie de contacto. A la soldadura resultante se le llama como soldadura fría.
  - Una presión baja produce un aumento de temperatura de la superficie de contacto.

En un principio podría parecer que al aumentar la presión debería aumentar también la temperatura de la superficie de contacto, ya que un aumento de presión origina un aumento del calor generado. Pero hay otro factor que influye más en el calor generado, se trata del tiempo de calentamiento. Hay que tener en cuenta que al aumentar la presión, la soldadura es más rápida y por ello se alcanza una temperatura inferior.

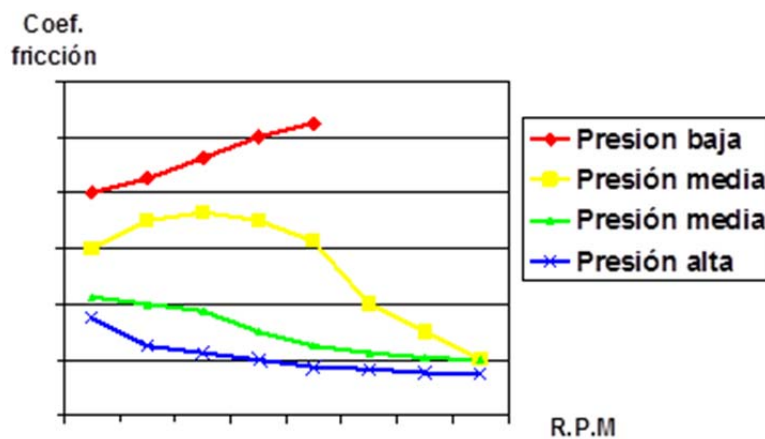
El tener una presión muy elevada, hace que la pieza adquiera una dureza extremadamente alta (debido al rápido calentamiento y enfriamiento de la zona) con la que se convierte en una pieza frágil (Podría no pasar el ensayo de flexión). La dureza máxima admitida en la pieza ya soldada es de 450HV1.

Combinación de velocidad y presión en la etapa de fricción

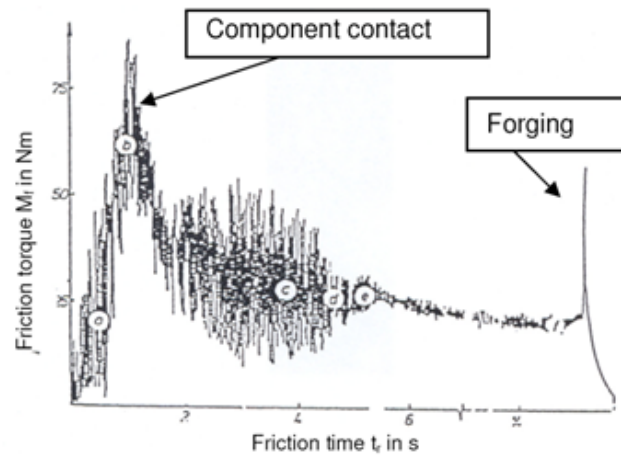
Presión	Velocidad	Resultado
Baja	Alta	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Cuesta más deformar (acortamiento)</li> <li>▪ Tiempo de ciclo largo</li> <li>▪ La <b>Zona-afectada-térmicamente</b> por el calentamiento es mas ancha. Este término está muy extendido entre los metalúrgicos que estudian este fenómeno. La abreviatura utilizada es el <b>ZAT</b> o HAZ en inglés.</li> <li>▪ La dureza alcanzada en el ZAT es menor</li> </ul>
Alta	Baja	Ocurre lo opuesto a lo explicado anteriormente.

El coeficiente de fricción también varía con la velocidad y la presión:

- Disminuye con la velocidad, excepto en el caso de que la presión sea muy baja
- Para una misma velocidad, el coeficiente de fricción es mayor cuanto menor sea la presión aplicada.



- El coeficiente de fricción disminuye después del primer contacto de fricción, ver esquema:



- VALORES DE PRESIÓN RECOMENDADOS:
  - Cada fabricante de máquinas de soldadura o de piezas soldadas recomienda unos valores ligeramente distintos, Kuka, Thompson o GKN Driveline.
  - La barra se suelda a una presión ligeramente superior al tubo
  - Prefricción = Baja para mejorar el calentamiento y limpiar las impurezas y las irregularidades de las caras de contacto  $\sim 15\text{Nmm}^2$ . Para eliminar vibraciones, requiere a veces ir a presiones superiores.
  - Fricción y recalado = Compromiso entre el tiempo de ciclo y la dureza de la zona soldada  $\sim 60$  y  $130\text{Nmm}^2$

### C) Tiempo de prefricción y recalado

- El tiempo de prefricción conviene que no sea muy larga porque es un proceso no controlado
- El tiempo de recalado una vez garantizado la soldadura “a tope” no tiene sentido alargarlo más. Con 3” es suficiente.

### D) Acortamiento de la fricción

- Lo necesario para que el acortamiento total sea el que permita lograr la cota final de longitud en la pieza soldada (aproximadamente 10 mms en total, depende del  $\varnothing$  a soldar).
- A más acortamiento por fricción, el material se calienta más y acorta más en recalado.
- La calidad de la soldadura es otro factor que pide un acortamiento mínimo total, también máximo pero en menor medida

## 5.- MATERIAL

### 5.1.- Limpieza

Es una de las características más importantes para una correcta soldadura.

“Todo el mundo” ha de estar involucrado en este tema

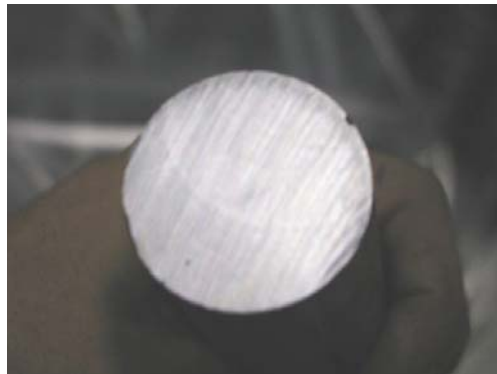
La presencia de “porquería” (arenas, granallas, grafito, grasas-aceites, óxidos, ...) en las caras a ser soldadas ocasiona micro-inclusiones o óxidos que disminuyen las características de la soldadura, generando:

- Grietas
- Roturas ante esfuerzos de torsión o flexión

#### 5.1.1.- Criterios de limpieza pieza

##### - Limpieza en barra

Libre de “porquerías”. Tanto para barras cizalladas como para las refrentadas.



##### - Limpieza en cabeza

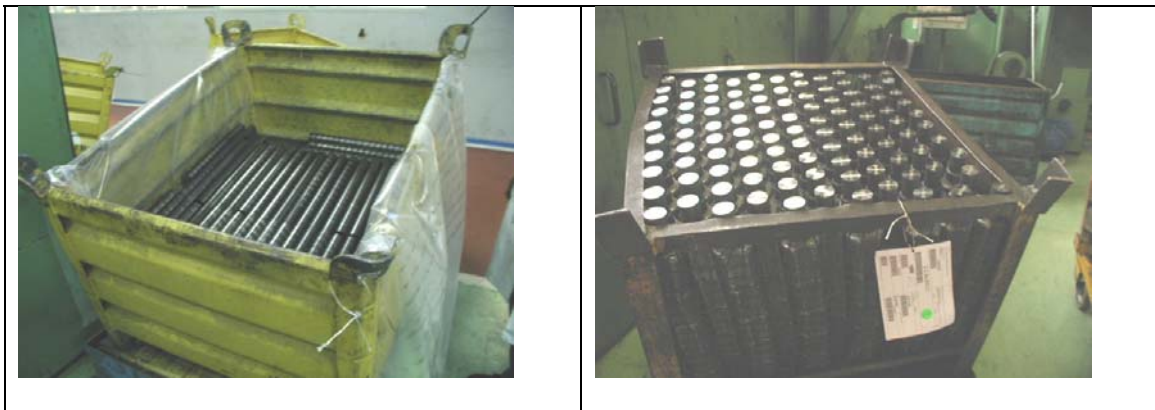
Libre de “porquerías”. Siempre es más difícil comprobar la limpieza en las cabezas no refrentadas. Ambas deben estar limpias. Normalmente se opta por pre-refrentar la cara a soldar eliminando la cascarilla de forja u óxido de hierro (FeO).



### 5.1.2.- Criterios de limpieza cestones

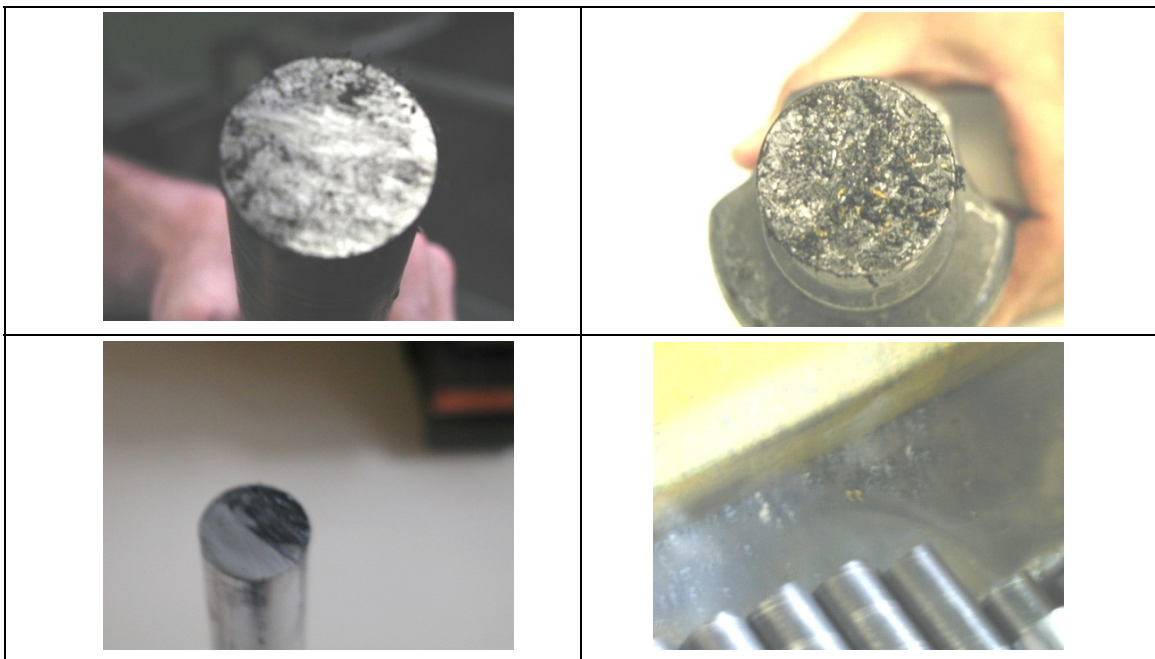
El proveedor tiene que garantizar que las piezas vengan bien embaladas y limpias. En planta se debe controlar también el estado del cestón.

En GKN Driveline Zumaia, la automatización de la carga es muy alta, se cargan los componentes directamente desde el cestón mediante un electro-imán. Esto hace que aumente el peligro de soldar un componente sucio. Hay que tener en cuenta que a un solo operario encargado de toda una célula de fabricación de la tulipa no le da tiempo de verificar todos los componentes una a una y es habitual que no vea el estado de las barras que se estén soldando. El cestón de cabezas no debe presentar suciedad.



Cuando se detecte en producción: Piezas sucias, cestones sucios o cestones sin plásticos, se debe rechazar el material y poner en conocimiento de “Recepción”

Ejemplos de componentes sucios y contenedor sucio:



## 5.2.- Dimensiones

### 5.2.1.- Longitud

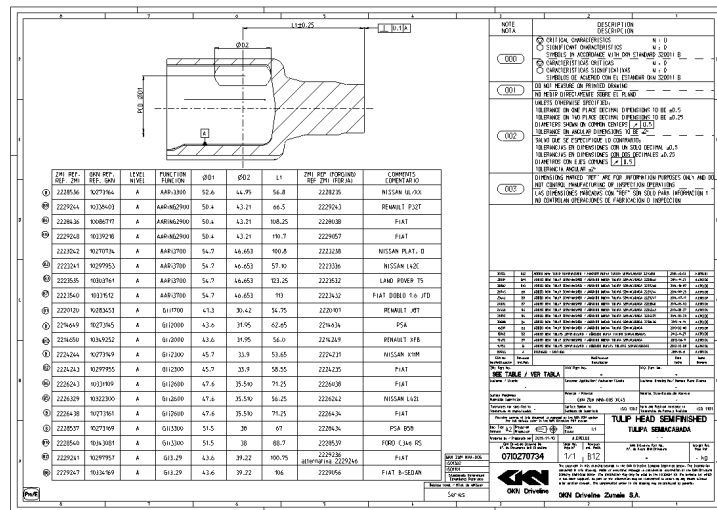
Las dimensiones tanto de la barra como de la cabeza son el punto de partida para el control de parámetros de la máquina.

Cuando estos componentes están con una longitud incorrecta, la máquina da fallo de contacto de pieza y estos componentes deben de ser rechazados.

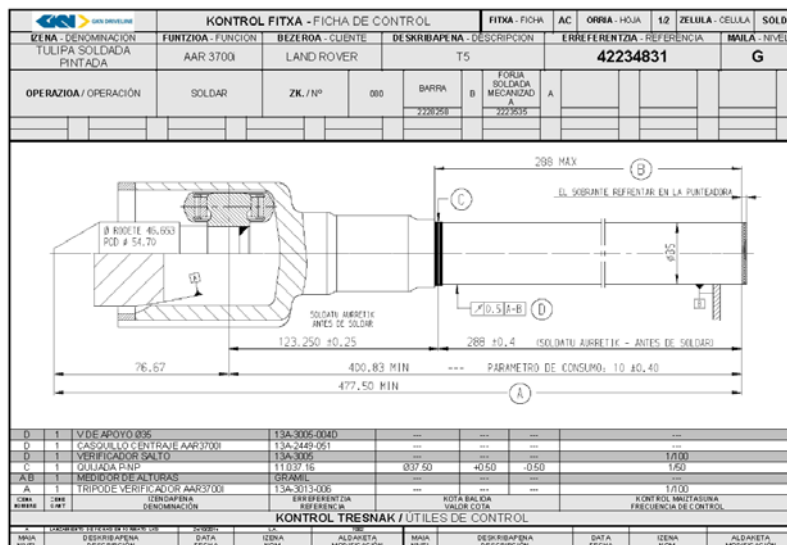
Si la soldadura es por acortamiento absolutas, aunque las dimensiones del producto soldado ha de quedar dentro de tolerancia, el consumo sin embargo puede variar.

### 5.2.2.- Salto

El componente a soldar ha de cumplir un plano:



El producto soldado, es un producto intermedio, de la fabricación completa de la tulipa, que ha de cumplir una ficha de instrucciones de fabricación y control:

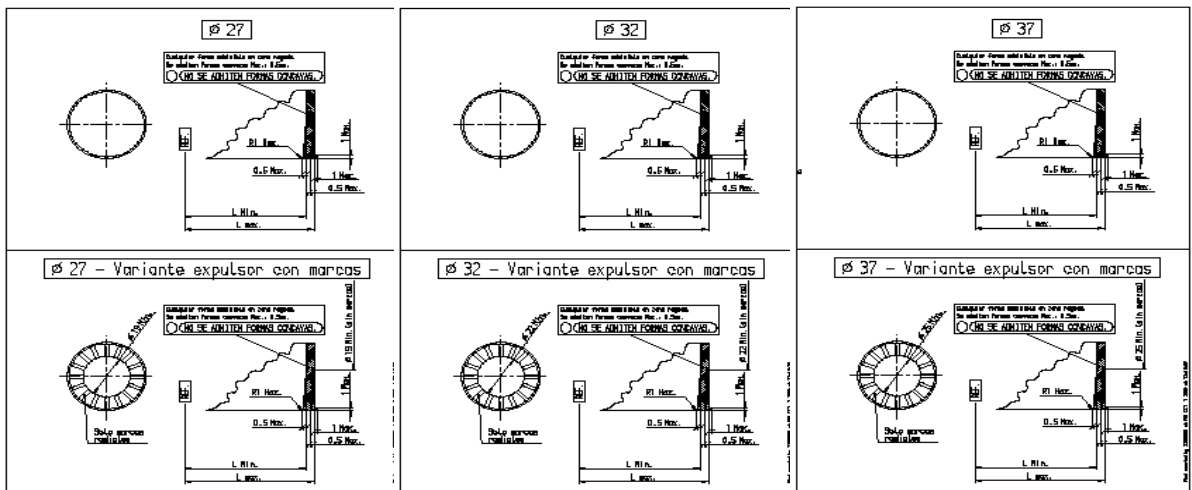


### 5.3.- Superficie de fricción

Es un factor importante para una correcta soldadura.

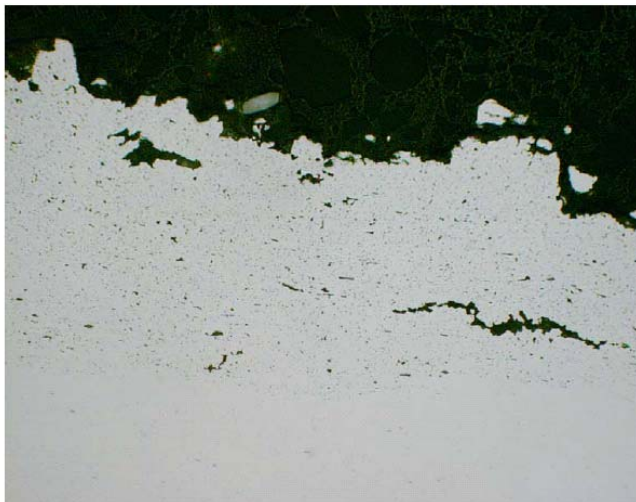
Las características de la superficie de fricción que afectan a la soldadura son:

- Acabado (rugosidad): Un exceso de rugosidad puede ser perjudicial porque permite que se aloje suciedad
- Planitud / Perpendicularidad: La falta de perpendicularidad crea una mala alineación entre las dos caras a soldar. Esto puede “engañar” al control de parámetros, ya que el primer punto de contacto entre superficies no es total.
- Limpieza (Véase 3.1.): El óxido se debe considerar como suciedad (muy perjudicial)
- Geometrías de cabezas de forja



### 5.4.- Dureza, estructura, composición, etc.

Micro estructura en la podemos observar micro inclusiones de óxido en la soldadura debido a suciedad. Estas micro-inclusiones generan roturas prematuras de la tulipa.



## 5.5.- Temperatura

Un caso típico, el camión llega a la planta en enero y se sueldan las piezas.

Si las piezas a soldar están frías la calidad de la soldadura es inferior ya que cuesta más calentar y sobre todo porque el enfriamiento de la soldadura es muy rápido, dándose una especie de temple del mismo.

Para tratar de entender este efecto se han realizado varios ensayos de tratar de reproducir defectos de soldadura con componentes fríos:

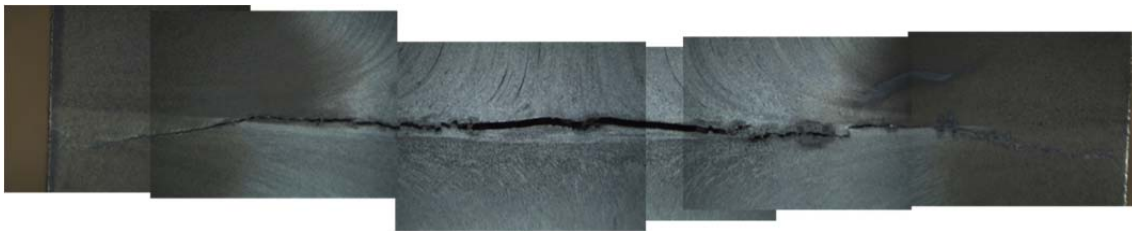
L.	Grupo Parám.	Velocidad	Prefricción	Presión			Temp		Tiempo Fric.		Acort.		Acort. Total		Flexión Zumaia
				Prefricción	Fricción	Recalcado	Origen	Temp.	Promedio	6 sigma	Dato	%	Promedio	6 sigma	
A	1	1500	3"	19	32	75	Congelador	-14°C	23,1	2,56	5,30	52,8%	10,0	0,50	OK
B	2	1500	3"	19	45	102			15,8	1,43	5,30	55,2%	9,6	0,36	OK
C	3	1200	6"	10	32	75			23,9	0,87	5,30	53,2%	10,0	0,47	OK
D	1	1500	3"	19	32	75	Calle	4°C	23,2	1,01	5,30	52,0%	10,2	0,62	Ok
E	2	1500	3"	19	45	102			15,5	0,96	5,30	54,5%	9,7	0,48	OK
F	3	1200	6"	10	32	75			23,6	1,27	5,30	52,7%	10,1	0,45	OK
G	1	1500	3"	19	32	75	Taller	17°C	22,9	1,40	5,30	51,8%	10,2	0,51	OK
H	2	1500	3"	19	45	102			15,2	0,85	5,30	54,3%	9,8	0,43	OK
I	3	1200	6"	10	32	75			23,6	1,31	5,30	52,3%	10,1	0,55	OK

## 5.6.- Nuevos materiales

El ejemplo que se muestra abajo, corresponde a una soldadura realizada con uno de los componentes con un alto contenido al carbono, 38B3, para una mejor templeabilidad posterior, durante el temple por inducción.

Los parámetros estándares de GKN Driveline no sirven para este caso, ya que en la pieza soldada se generan unas tensiones internas que degeneran en una grieta oculta, solo detectable por los equipos de ultrasonidos.

En este caso, hay que seguir investigando cuales han de ser los parámetros necesarios para garantizar una buena soldadura





## 5.7.- Combinación de causas

La suma de defectos en los componentes a soldar hace que la probabilidad de fallo en servicio se multiplique.

Para conocer el impacto que tiene uno o varios defectos de los componentes a soldar, se intenta reproducir el fallo, que se rompa en este caso en algún ensayo destructivo por debajo de lo esperado.

En el ejemplo siguiente se consigue reproducir el fallo, combinando componentes con suciedad y fríos. El ejemplo es del 2015:

Type	Picture	Nº	Fusion Time (s)	Brightening (m.m)	Sanding test		Picture	Value	Broken?	US manual after welding 2003/2015 17:00	US manual after welding 1304/2015 9:00	US manual after induction 1310/2015 10:35	US manual after Torsion Test 1303/2015 11:30	US manual after Brightening 1303/2015 12:30	US manual after Brightening 1303/2015 15:15	US manual after Brightening 16/03/2015 9:00	Picture	Comments	CONCLUSION			
					Sanding Test	US Test													Torsion after weld	Torsion Test		
Heat treat from consistency + Heat treatment		1	14,5	10,8		17	NO	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%		No oil traces detected	Green	Green	Green	Green
		2	14,2	10,8					100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%						
		3	14,2	10,8					100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%						
		4	14,3	10,8					100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%						
		5	14,3	10,8					100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%						
		6	14,2	10,8					100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%						
Bright Dimness		7	15,3	10,8		17	NO	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%		Oil traces barely detected under 1000 hours angust Tullus	Green	Red	Red	Green
		8	14,2	10,8					100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%						
		9	15,3	10,8					100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%						
		10	15,8	10,8					100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%						
		11	15,5	10,8					100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%						
		12	15,4	10,8					100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%						
Bright Dimness + Cold (-20°C)		13	14,7	10,8		18,2	YES	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%		Oil traces barely detected under 4000 hours angust Tullus	Red	Red	Red	Very Low
		14	14,2	10,8					100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%						
		15	15,3	10,8					100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%						
		16	14,2	10,8					100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%						
		17	17	10,8					100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%						
		18	15	10,8					100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%						
Maximum Impact Dmg		19	14,2	10,8		17	NO	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%		No oil traces detected	Green	Green	Green	Green
		20	14	10,8					100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%						
		21	14,3	10,8					100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%						
		22	14,2	10,8					100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%						
		23	14,2	10,8					100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%						
		24	14,1	10,8					100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%						

Se combinan:

- Estado de los componentes: Suciedad y temperatura en el caso de arriba
- Parámetros de consigna de soldadura

Se obtienen:

- Diferencias en los parámetros de control de la soldadura
- Diferencias en la metalurgia: ZAT, durezas e inclusiones
- Diferencias en los ensayos mecánicos destructivos: Flexión, torsión y fatiga

Este tipo de ejercicio se utiliza:

A) Para tratar de reproducir un fallo de soldadura como aparece en el caso anterior.

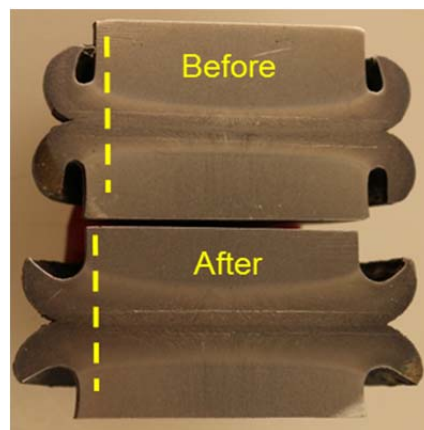
B) Para validaciones: Bien de un producto final o cada vez que cambia algo en los componentes, en la máquina, en el proceso o bien por que haya cambiado el propio proceso del componente de forja, diseño de las geometrías, materiales, proceso de lavado posterior, etc.

C) Para robustecer el proceso, como en siguiente caso.

Otro ejemplo, en que se tuvieron que ajustar los parámetros de la soldadura para mejorar la calidad de la misma sería el siguiente:

Step	Pressure [N/mm <sup>2</sup> ]		Speed [rpm]		Benefit	
	Before	After	Before	After	HAZ	Oxides
Friction	85	60	1500	1200	↑	↓
Forging	190	140	0			

- During the friction phase, the temperature increases. Reducing the pressure, the heating time is increased from 14,3" to 21,5", then the temperature is increased and a higher level of diffusion take place. Reducing the speed, the friction is more homogeneous (The friction coefficient increases) and the quantity of oxides is reduced.
- Forging step is a three-dimensional deformation of the crystals where cohesive forces ensure maximum quality of the friction weld, better at higher temperatures.
- Metallurgically speaking, the obtained Welding HAZ (Heat Affected Zone) is wider; therefore the cooling rate is reduced, eliminating any risk to obtain hard microstructures.
- Measuring both parts, before and after changing the parameters, the maximum hardness achieve has been very similar, 325HV1 and 317HV1 respectively.
- The pre-friction step is maintained at 1500 rpm and 20 N/mm<sup>2</sup>, avoiding any increase of torque. Then, it is not demanded higher forces for clamping the bar, neither a higher torque to the engine. This point is tricky especially at the beginning of the welding when the components are still cold and the friction coefficient is very high.

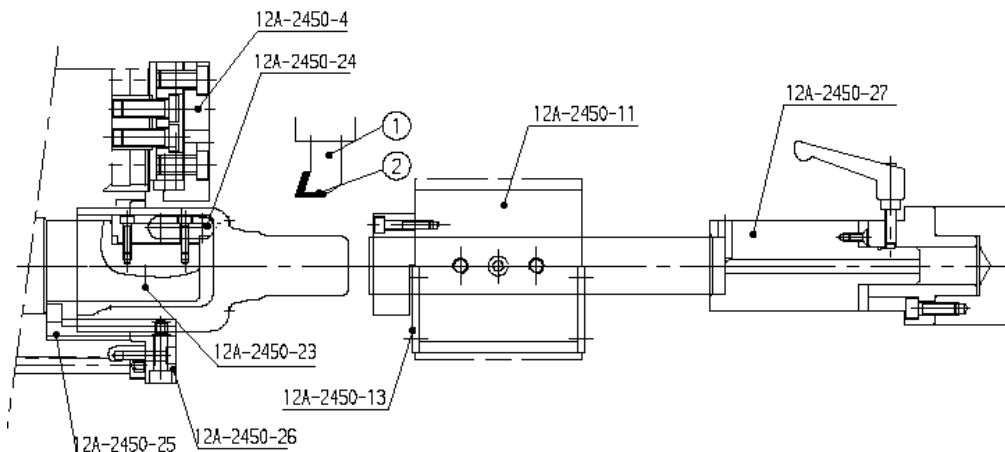


## 6.- MÁQUINA

### 6.1.- Elementos de máquina

En este trabajo no se ha tratado de explicar el diseño de los elementos mecánicos de una máquina de soldadura. Los requisitos serían los siguientes:

- Ejercer la **presión adecuada**, en el momento adecuado. Cada etapa tiene su presión óptima teórica. El rango de presión hidráulica es tan amplio que dificulta tener elementos hidráulicos, mecánicos y de control adecuados para todos los rangos. Las denominaciones de los modelos de las máquinas de cada fabricante, vienen dadas por el tonelaje de fuerza que son capaces de transmitir.
- El componente que no gira, ha de estar **bien amarrado** para que no gire, debido al esfuerzo al que se somete durante la etapa de prefricción y fricción. Este amarre tiene además una **flotabilidad axial** de forma que permita absorber las deformaciones elásticas axiales de todo el sistema y para que de esta forma el esfuerzo axial que ha de transmitir el cilindro, se ejerza en el componente, desde el extremo opuesto al de la soldadura, en lugar de desde el amarre anterior que impide el giro. Una vez se consigue lo anterior, la presión de empuje lo ejerce un simple eje que sale directamente desde el cilindro hidráulico.
- Durante la etapa de prefricción y fricción, el componente de forja, ha de girar a la **velocidad apropiada** y después ser capaz de frenar lo más rápido posible para que a la soldadura no le de tiempo a enfriarse antes de que comience la etapa de recalado.
- **Minimizar el salto** del componente a soldar, mediante amarre interior desde la función de la pieza de forja. Aquí la mayor dificultad está en el amarre de la cabeza de la forja, que ya de por sí trae un salto, es mayor cuanto mayor sea la longitud de la cola. Además de la calidad del producto soldado en cuanto al salto, este amarre ha de minimizar las posibles vibraciones que puedan surgir durante la etapa de fricción. Con tulipas pequeñas suele ser más difícil amarrar ya que los apoyos interiores al tener menos radio ejercen un menor par de amarre.



## 6.2.- Variantes de Ciclo

### 6.2.1.- Fricción por carreras absolutas vs. relativas

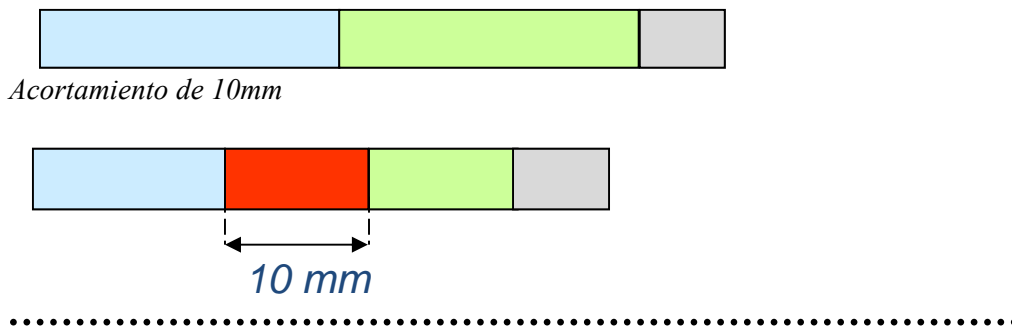
A continuación se exponen de forma gráfica dos métodos de controlar el acortamiento, el primero trata de buscar la calidad de la soldadura y el segundo que todas piezas, después de ser soldadas, midan lo mismo:

#### 6.2.1.1.- Fricción por carrera relativa (Acortamiento Relativo)

Se ajusta la carrera de la máquina para cada pieza

1ª Pieza: Se ajusta la carrera de la máquina para la primera pieza

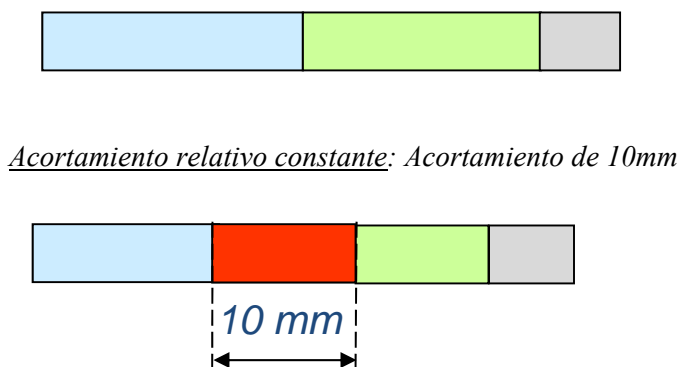
*Posición de contacto:* "0" pieza = contacto real



2ª pieza: Se ajusta la carrera de la máquina para la segunda pieza

*Posición de contacto:*

"0" pieza = contacto real

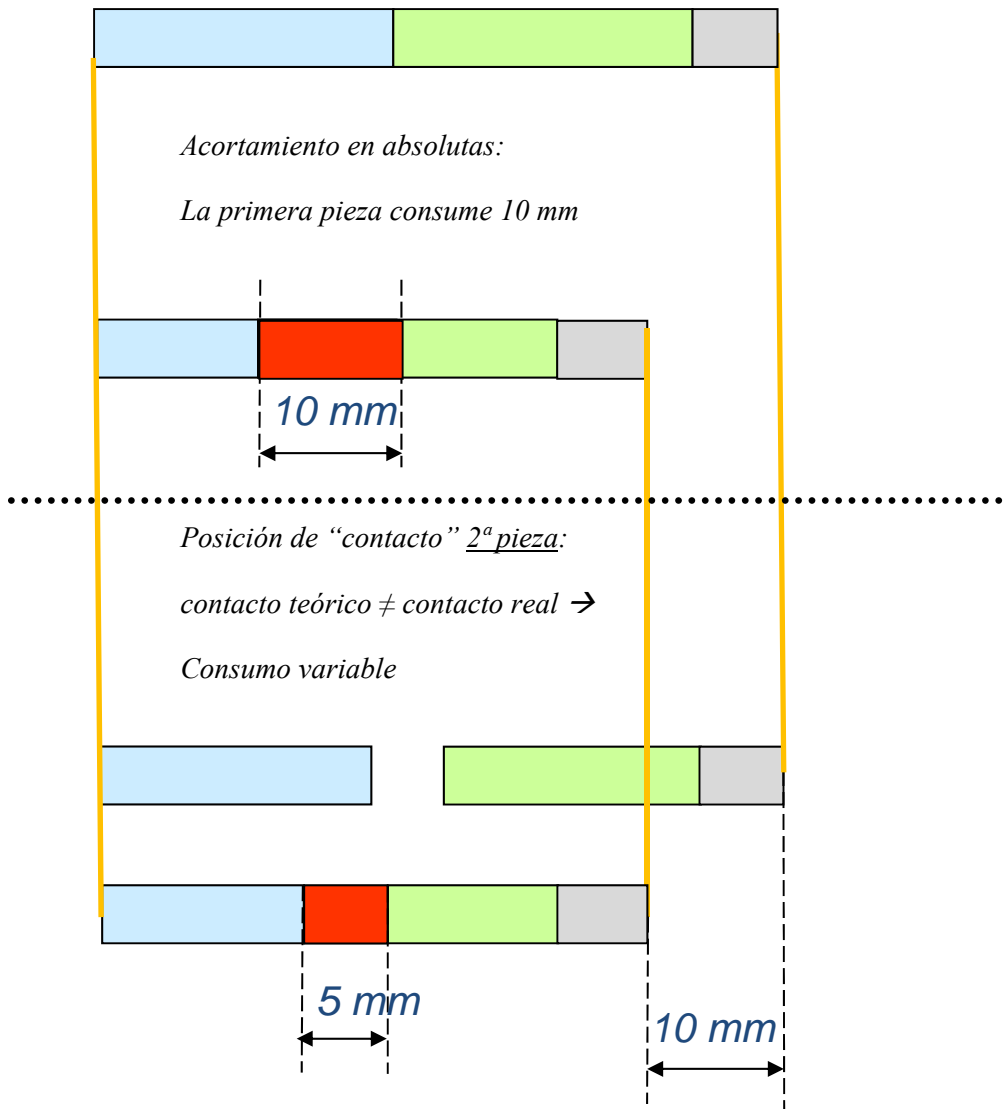


**RELATIVO: MISMO MATERIAL CONSUMIDO = CALIDAD OK SOLDADURA**

### 6.2.1.2.- Fricción por carrera absoluta

1ª Pieza: Con la que se ajusta la carrera de la máquina para todo el lote

Posición de contacto: "0" pieza = contacto real 1ª pieza:



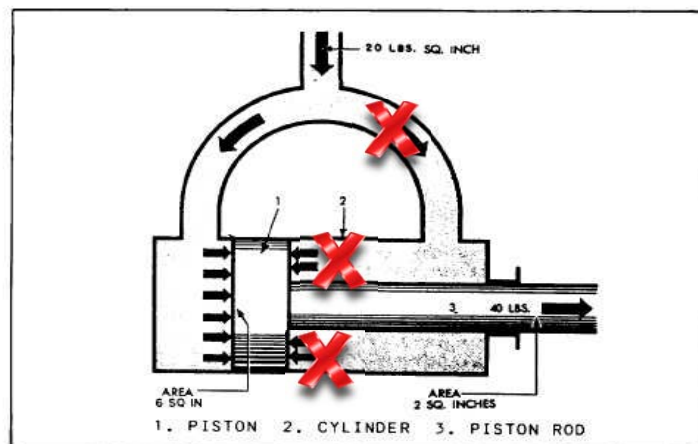
**ABSOLUTAS: MISMA LONGITUD FINAL DE PIEZA PERO EL CONSUMO ES VARIABLE**

## 6.2.2.- Con / Sin presión diferencial

Existe una relación directa entre la presión hidráulica del cilindro y la fuerza ejercida en los componentes a soldar. Además hay dos maneras de controlar la fuerza que se aplica a los componentes a soldar: Con presión hidráulica diferencial y sin presión diferencial. En una, la presión hidráulica se aplica en una cámara del cilindro y en la otra en ambas. Dependiendo del rango de fuerzas de empuje que cada soldadura solicite ser ejercida, se trabaja de una forma u otra, con el fin de alcanzar una mayor precisión en el control de la misma.

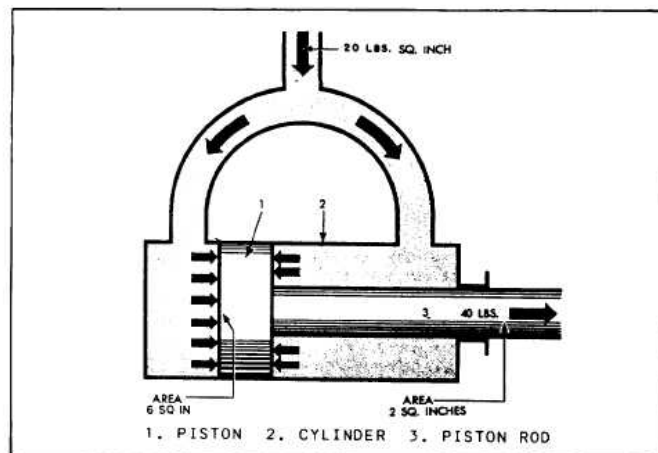
### 6.2.2.1.- Sin presión diferencial

- Con presión directa o **sin presión diferencial**, a igual presión hidráulica, el cilindro aplica más fuerza que con presión diferencial
- El cilindro aplica presión hidráulica solamente en el área izquierda del esquema inferior, es decir el lado derecho no contrarresta
- Fuerza aplicada = presión hidráulica x área del pistón
- Se utiliza para soldar componentes de secciones grandes, tradicionalmente barra, hoy en día también tubos de secciones grandes



### 6.2.2.2.- Con presión diferencial

- **Con presión diferencial**, a igual presión hidráulica, el cilindro aplica menos fuerza que con presión directa
- El cilindro aplica presión hidráulica en ambas cámaras, es decir el lado derecho contrarresta una fuerza
- Fuerza aplicada = presión hidráulica x área del vástago
- Se utiliza para soldar componentes de secciones pequeñas, tradicionalmente tubos, hoy en día también barras de secciones pequeñas



Desde el punto de vista del control del cilindro, se comporta mejor cuando se suelta con presión diferencial, pero no siempre es aplicable ya que también requiere aplicar mayor presión hidráulica, ésta estará limitada a unos 200 bares.

### 6.2.3.- Ejemplos de cálculo de presión hidráulica a aplicar

**Ejemplo 1:** Paso a paso

**Sección a soldar** ( $A_w$ ) de tubo:

OD: Ø exterior del tubo

ID: Ø interior del tubo

$$A_w = (OD^2 - ID^2) \cdot \frac{\pi}{4}$$

$$A_w = ((108 \text{ mm})^2 - (96 \text{ mm})^2) \cdot \frac{\pi}{4} = 1771 \text{ mm}^2$$

Ejemplo: OD = 108 mm; ID = 97 mm

**Presión hidráulica** en la etapa de Fricción pressure  $P_{fr}$ :

$$P_{fr} [\text{bar}] = \frac{A_w [\text{mm}^2] \cdot csF_{fr} [\text{N} / \text{mm}^2]}{A_{cyl} [\text{cm}^2] \cdot 10}$$

$csF_{fr}$ : Fuerza a aplicar en la etapa de fricción por cada  $\text{mm}^2$  de sección de tubo.

$A_{cyl}$ : Área efectiva del cilindro que ejerce la fuerza, depende del tamaño del cilindro y de si trabaja o no con presión diferencial

$$1 \text{ Pa} = \text{N} / \text{m}^2 = 1 * 10^6 \text{ N} / \text{mm}^2$$

$$1 \text{ bar} = 1 * 10^5 \text{ Pa}$$

Ejemplo:  $csF_{fr} = 65 \text{ N/mm}^2$ ,  $A_{cyl} = 275,5 \text{ cm}^2$

$$P_{fr} = \frac{1771 \text{ mm}^2 \cdot 65 \text{ N} / \text{mm}^2}{275,5 \text{ cm}^2 \cdot 10} = 42 \text{ bar}$$



### Ejemplo 2: Utilizando una hoja de cálculo

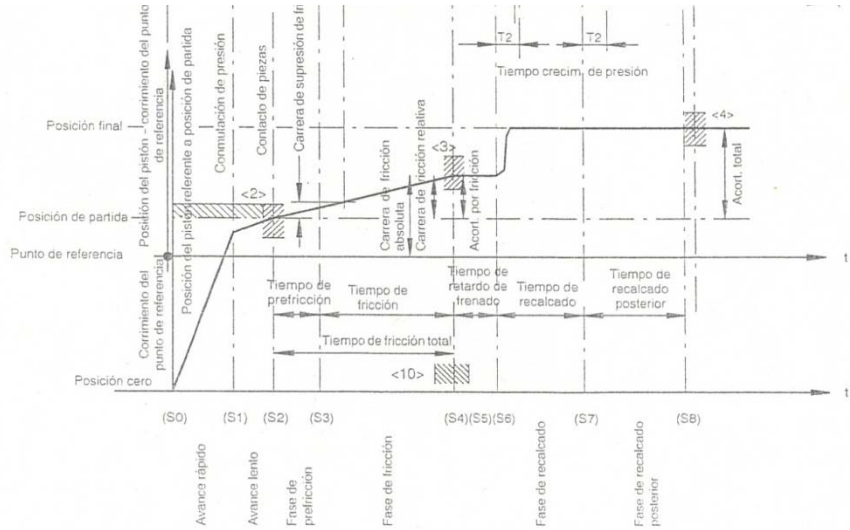
El cálculo del ejemplo anterior no se repite a mano cada vez que haya que realizar un cálculo de una presión. Para ello, se utilizan las hojas de cálculo, agilizando el cálculo ante una nueva aplicación. Comparativamente se puede ver la misma aplicación en otras máquinas y también las distintas aplicaciones en una misma máquina:

				Barra												Tubo																
				18	18	18	18	18	18	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25			
Embolo                Vástago      	Ø (mm) Sec. (mm2)	RS45              RS30      Americana     Akoin	P Re-Fricción P Fricción P Recalado	27.1	32	33	35	37	27.1	32	33	35	37	40	42.5	44	40	40.55	44	40	42.5	44	40	40.55	48.5	40	42.5	44	40	40.55	44	
			P Re-Fricción P Fricción P Recalado	4	6	6	7	8	8	11	12	14	15	3	4	4	6	6	7	4	6	6	8	8	8	3	5	5	6	7	7	7
			P Re-Fricción P Fricción P Recalado	14	19	21	23	26	20	28	29	33	37	10	14	15	19	20	22	7	11	11	15	16	14	6	8	9	11	12	13	13
			P Re-Fricción P Fricción P Recalado	33	45	48	54	61	44	62	66	74	82	19	29	30	39	40	44	22	32	33	44	45	42	17	26	26	34	35	38	38
			P Re-Fricción P Fricción P Recalado	6	8	8	10	11	11	16	16	19	21	4	6	6	8	8	9	6	8	8	11	11	11	4	6	7	9	9	10	10
			P Re-Fricción P Fricción P Recalado	19	27	28	32	36	27	38	40	45	50	13	19	20	27	27	30	10	15	15	20	21	19	8	11	12	16	16	17	17
			P Re-Fricción P Fricción P Recalado	44	62	66	74	83	60	84	90	101	113	27	39	41	53	55	60	30	44	46	60	62	57	23	34	35	47	48	52	52
			P Re-Fricción P Fricción P Recalado	8	12	13	14	16	16	23	24	27	31	6	9	9	12	12	13	8	12	12	16	17	16	7	10	10	13	14	15	15
			P Re-Fricción P Fricción P Recalado	28	39	42	47	53	40	56	59	67	74	20	29	30	39	41	44	15	22	22	29	30	28	11	17	17	23	24	26	26
			P Re-Fricción P Fricción P Recalado	66	92	98	110	123	89	125	132	149	166	39	56	60	75	81	86	44	65	67	88	91	85	34	50	52	69	71	77	77
			P Re-Fricción P Fricción P Recalado	5	7	8	9	10	10	14	15	17	19	4	5	5	7	7	8	5	7	8	10	10	10	4	6	6	8	8	9	9
			P Re-Fricción P Fricción P Recalado	17	24	26	29	32	24	34	36	41	46	12	18	18	24	25	27	9	13	14	18	19	17	7	10	11	14	14	16	16
			P Re-Fricción P Fricción P Recalado	40	56	60	67	75	55	76	81	91	102	24	35	37	48	50	54	27	40	41	54	56	52	21	31	32	42	43	47	47
			P Re-Fricción P Fricción P Recalado	13	18	19	21	24	25	35	37	42	46	9	13	14	18	18	20	12	18	19	25	26	24	10	15	15	20	21	22	22
			P Re-Fricción P Fricción P Recalado	100	139	148	166	185	135	168	200	225	252	59	87	91	119	123	134	67	98	102	134	138	129	52	76	79	104	108	117	117
			P Re-Fricción P Fricción P Recalado	13	18	19	21	24	25	35	37	42	46	9	13	14	18	18	20	12	18	19	25	26	24	10	15	15	20	21	22	22
			P Re-Fricción P Fricción P Recalado	43	60	63	74	89	60	84	90	101	113	30	44	45	60	62	67	22	33	34	45	46	43	17	25	26	35	36	38	38
			P Re-Fricción P Fricción P Recalado	100	139	148	166	185	135	168	200	225	252	59	87	91	119	123	134	67	98	102	134	138	129	52	76	79	104	108	117	117
			P Re-Fricción P Fricción P Recalado	16	23	24	27	30	32	44	47	53	59	11	17	17	23	24	26	16	23	24	32	33	30	13	19	19	25	26	28	28
			P Re-Fricción P Fricción P Recalado	54	76	81	91	101	77	107	114	129	144	38	56	58	76	78	85	28	42	43	57	59	55	22	32	34	44	46	50	50
			P Re-Fricción P Fricción P Recalado	127	177	188	212	237	172	240	255	287	321	76	111	116	152	157	171	85	125	130	171	176	164	66	97	101	133	137	148	148
P Re-Fricción P Fricción P Recalado	11	15	16	18	20	21	30	32	35	40	8	11	12	15	16	17	11	15	16	21	22	20	8	12	13	17	17	19	19			
P Re-Fricción P Fricción P Recalado	36	51	54	61	68	52	72	77	86	96	25	37	39	51	52	57	19	28	29	38	39	37	15	22	23	30	31	33	33			
P Re-Fricción P Fricción P Recalado	85	119	126	142	159	116	161	171	192	215	51	74	77	102	105	114	57	84	87	114	118	110	44	65	69	89	92	100	100			

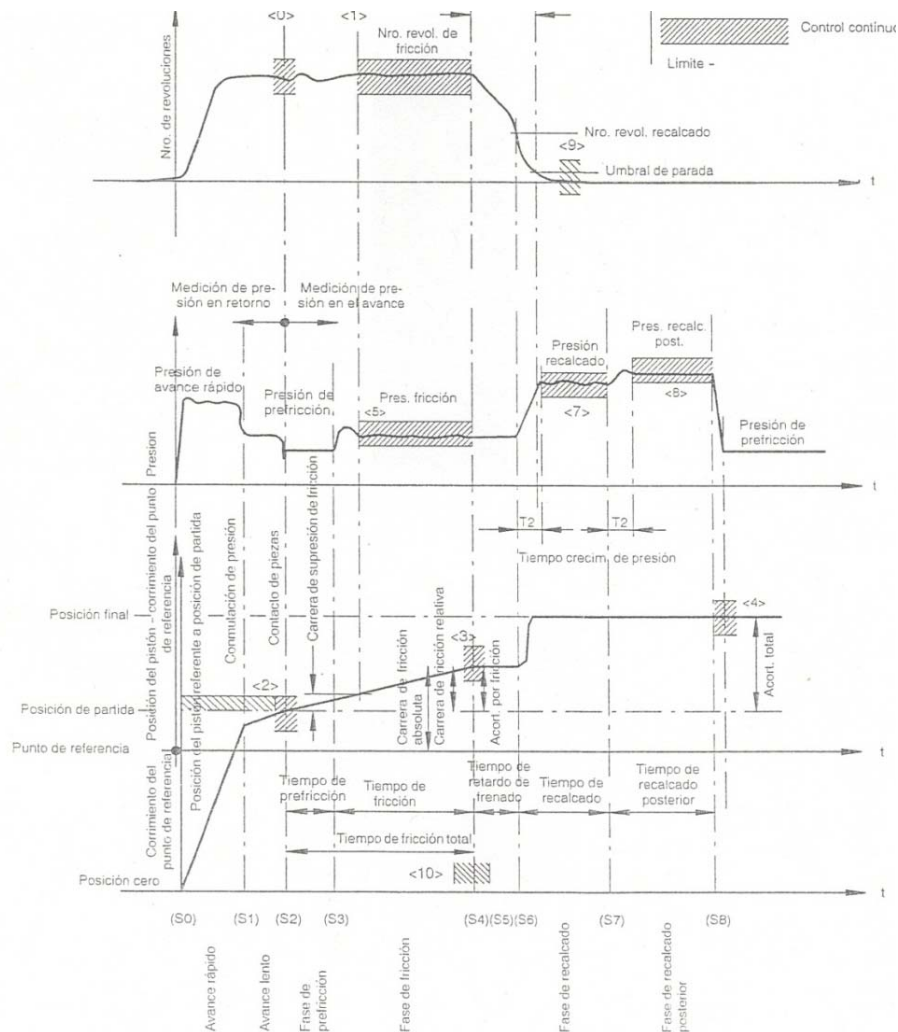
### 6.3.- Ciclo de Soldadura

#### Evolución de velocidad - presión – acortamiento

En los siguientes gráficos, aparece la evolución de la velocidad, presión y acortamiento en sus distintas etapas completando un ciclo de soldadura. En las siguientes páginas se hace mención a estas etapas. Con el fin de relacionarlos más fácil con los textos de las siguientes páginas, en los gráficos de abajo aparecen unos números y unas letras que se utilizarán posteriormente en los textos. En un primer gráfico aparece solamente el acortamiento:



En el siguiente gráfico, velocidad, presión y acortamiento durante el ciclo de soldadura:



### 6.3.1.- Arranque y avance rápido

Al inicio de la ejecución del ciclo de soldadura, antes de que los componentes entren en contacto, se efectúa un avance rápido del carro de acercamiento de los componentes. El objetivo es obtener un tiempo de ciclo menor.

### 6.3.2.- Avance lento

A una distancia mínima con respecto al cero pieza o posición de contacto de componentes la velocidad de avance del carro disminuye. Técnicamente, lo realiza de la siguiente manera: A partir del fin de avance rápido (S1), se efectúa un desplazamiento del carro hacia adelante con presión de prefricción en la cámara de avance del cilindro hidráulico. Durante esta fase, la velocidad del carro es limitada a la velocidad de la presión de prefricción. Hidráulicamente, por

medio de una válvula estranguladora comandada por unas levas o directamente por una válvula proporcional comandada a distancia, colocada en el circuito de retorno del cilindro hidráulico.

### **6.3.3.- Determinación de la posición del “cero pieza”**

Mientras las piezas aún no están en contacto y el carro se mueve libremente.

Si en el momento del contacto de piezas, el desplazamiento del carro es detenido por la fuerza contrarrestante de las piezas en el husillo, la presión en la cámara de salida decae. En el caso extremo, si la carrera del carro es detenida completamente, la presión de retorno en la cámara de salida cae prácticamente a cero.

Este proceso permite determinar el instante del contacto entre piezas (S2) por medio de una medición de la presión en el circuito de retorno y una evaluación cuando la misma pasa por debajo de un límite de presión determinado. Este límite de presión, denominado presión de contacto, debe ser ajustado a un valor que se encuentra entre cero y la presión de contacto, afectada por el factor de relación entre las superficies del pistón.

En este tipo de reconocimiento del contacto de piezas pueden aparecer deficiencias debidas a la fricción de la guía del carro y las juntas del émbolo del cilindro, que causan una pérdida de presión en el retorno en la cámara de salida, cuando el carro se mueve libremente. Esto vale también para el ajuste del regulador del flujo de aceite y la sección “con/sin presión diferencial”.

De forma opcional, el contacto de piezas también puede ser detectado con ayuda de un dispositivo de medición de fuerzas colocado entre el vástago del pistón y la barra de empuje, que al sobrepasar un determinado valor de umbral de fuerza, señala esto correspondientemente. Al tener que añadir otro elemento a la máquina, la encargaría y la haría más compleja en cuanto al número de señales a controlar se refiere.

### **6.3.4.- Fases de la soldadura**

#### ***6.3.4.1.- Fase de Prefricción***

En el instante del contacto entre piezas, en el Controller arranca el tiempo de prefricción. Hasta el final de este tiempo (S3), el proceso se efectúa con presión de prefricción y limitación de la velocidad de avance a velocidad de prefricción por acción de la estrangulación en el circuito de retorno de la hidráulica. El tiempo de prefricción puede ser seleccionado libremente por el usuario. Esta fase no es controlada, y por ello se recomienda mantenerla lo más pequeña posible.

A esta fase, hay veces que se le suele dar una velocidad de giro mayor que a la de fricción para reducir el coeficiente de fricción, consiguiendo así un doble objetivo, por una parte reducir el riesgo de que patine el componente fijo que no gira y está sujeta en mordazas y por otro el que el motor no se frene al inicio de la soldadura, debido al requerimiento de par de torsión que exigen las fuerzas que se dan al inicio de la soldadura, con un coeficiente de fricción mayor, al tener que friccionar 2 componentes fríos.

#### **6.3.4.2.- Fase de Fricción**

Seleccionando la opción "Sin fricción por la velocidad", la presión es independiente de la velocidad de avance del carro. Normalmente se utiliza esta selección. Después de transcurrido el tiempo de prefricción (S3), se conmuta a presión de fricción desconectándose al mismo tiempo la estrangulación en el circuito de retorno. Para alcanzar la presión requerida que han de ejercer los componentes a soldar, se calcula la presión hidráulica ejercida en el cilindro con la geometría del cilindro. A la fuerza que ejerce el cilindro habría que restarle las fuerzas de fricción que ejercen las guías del carro y de las juntas del cilindro, normalmente no se llega a calcular esta fuerza a restar, pero si se considera una presión mínima de trabajo como por ejemplo 20 bares.

Si se ha seleccionado "Fricción por velocidad", la velocidad del carro es mantenida prácticamente constante por medio de la válvula estranguladora en el circuito de retorno, estableciéndose la presión entre cero y máximo.

La duración de la fase de fricción puede ser gobernada de dos maneras diferentes. Modo "Fricción por tiempo" o modo "Fricción por carrera".

En el modo Fricción por tiempo la duración de la fase es comandada desde el Controller a través de un temporizador. Este temporizador arranca inmediatamente al final del tiempo de prefricción (S3). Es decir, el tiempo de fricción se ajusta por el usuario.

En el modo **Fricción por carrera** la fase de fricción finaliza al alcanzar el final de una carrera de fricción por consigna. Este modo a su vez tiene otras dos posibilidades: Por acortamiento relativo o absoluto

En modo **Fricción por acortamiento relativo** el punto de referencia para la carrera de fricción es la posición de partida actual medida en el momento del contacto de piezas. La fase de fricción finaliza cuando se tiene un acortamiento total de las dos piezas igual a la consigna programada. El acortamiento por fricción es la carrera por pérdida de material debido a la fricción en el tiempo de prefricción y de fricción.

La ventaja de este modo de servicio es la buena repetitividad del acortamiento por fricción, así como también en el aporte de energía independientemente de las tolerancias de longitud que puedan presentar las piezas. Es la opción más adecuada en cuanto a la Calidad de la pieza obtenida y la opción que se utiliza en GKN Driveline Zumaia.

En el modo **Fricción por carrera absoluta** sirve como referencia para la carrera de fricción, el punto de referencia de libre determinación. Con este punto de referencia se define una posición cualquiera del vástago del pistón del cilindro hidráulico. En este caso, el proceso de fricción finaliza siempre en una posición determinada del vástago del pistón, independientemente de la longitud de las piezas cargadas, es decir, independiente de la posición de partida medida en el contacto de piezas. El valor "Carrera de fricción" no corresponde, en este caso, al acortamiento por efectos de la fricción

La ventaja de este modo de servicio es en teoría que la longitud a la cual se reducen las piezas es reproducible en esta etapa. Pero existe el peligro, que el tiempo de fricción y con ello el aporte

de energía se vea afectado por las tolerancias de longitud de las piezas. Y si la energía aportada durante la etapa de fricción, es muy distinta de una soldadura a otra, en la siguiente fase, en la del recalado, no se va a poder acortar lo mismo, por lo que se perdería el objetivo inicial de que todas las piezas de un lote midan lo mismo después de la soldadura.

#### **6.3.4.3.- Fase de Frenado**

Selección “Accionamiento del husillo desconectado después de fin de fricción”

Alcanzado el fin de fricción (S4), el motor de accionamiento del husillo es desconectado inmediatamente. Pero el cilindro hidráulico queda todavía impulsado con presión de fricción. En los primeros instantes, el momento de fricción, debido al rozamiento por fricción, entre ambas piezas en rotación una contra la otra, frena el movimiento de giro del husillo. Existe un tiempo mínimo, un valor fijo programado normalmente en el autómeta  $\sim 0,1$ ”, denominado de “retardo de frenado” (S5-S4). Arranca con el fin de fricción (S4) y finaliza activando el freno mecánico del husillo (S5).

Selección “Frenado por efecto generador”

Con este modo de selección, el motor de accionamiento del husillo no es desconectado una vez transcurrido el tiempo de fricción, sino conmutado al servicio de frenado por efecto generador, de modo tal de conseguir la detención del husillo en el menor tiempo posible y en las máquinas más modernas controlando punto a punto la curva de parada.

#### **6.3.4.4.- Fase de Recalado**

Hay dos maneras de fijar el inicio de la fase del recalado:

A) Hoy en día se utiliza la siguiente programación:

Se programa un tiempo teórico de frenada, es un parámetro de control no de consigna

- Se tiene en cuenta el final de la etapa de fricción (S4), el momento en que se alcanza la consigna de acortamiento por fricción, se le suma el tiempo anterior
- En ese momento, se compara la velocidad de rotación real con una velocidad máxima programada de control, 100 rpm-s por ejemplo. La real ha de ser inferior.
- Si se cumple la condición anterior, se conmuta la presión hidráulica del valor de presión de fricción a presión de recalado (S6)

B) Otra opción es elegir el comienzo de la fase del recalado (S6) sobre un punto del frenado, por ejemplo por selección de la velocidad de giro a la que se encuentra entre el fin de fricción (S4) y detención del movimiento del husillo o por el número de revoluciones realizados desde (S4).

En cualquiera de las opciones, hay que garantizar que en el recalado se materialice una buena difusión atómica que garantice una buena calidad en la soldadura. Al recalcar se pretende acortar del orden del 50% del acortamiento total. Para ello el retardo del recalado ha de ser inferior a 0,7", en ese instante el material ha de estar a una temperatura superior a los 850°C.

#### **6.3.4.5.- Fase de Recalado Posterior**

Al finalizar la fase de recalado (S7), se conmuta la presión hidráulica al valor de presión de recalado posterior. La fase de recalado posterior también es comandada por tiempo y finaliza transcurrido el tiempo de recalado posterior (S8) ajustado por el usuario.

Esta opción de segundo recalado, no está siempre disponible y trata de compensar la fuerza necesaria a aplicar durante el recalado después de que el material se haya enfriando, por ejemplo durante el primer segundo del recalado inicial.

No tiene ningún sentido alargar el tiempo total de recalado por encima de unos tres segundos ya que transcurrido ese tiempo, el material pierde toda su plasticidad.

#### **6.3.4.6.- Fin de Proceso de Soldadura**

Transcurrido el recalado posterior se da por finalizado el proceso de soldadura. Para evitar errores en la medición, generados entre otros, por la deformación elástica de los elementos de la máquina, al finalizar el recalado se conmuta nuevamente la presión hidráulica a presión de medición de cota de contacto, de esta forma la medición final se realiza en las mismas condiciones que las iniciales para la medición de la cota de contacto.

A continuación se abre uno de los amarres de la pieza soldada y el carro retrocede a la posición de carga y descarga de componentes.

### **6.4.- Control de Parámetros**

La tarea principal del Controller, autómatas programables, es el control y vigilancia de los parámetros que influyen en la calidad de una soldadura por fricción.

El Controller no está en condiciones de medir o controlar la calidad resultante de la soldadura. Su tarea consiste entonces en la medición y el control de parámetros del proceso de soldadura, con evaluación si los mismos se corresponden con los valores nominales deseados dentro de determinados límites de tolerancia, es decir, si el proceso de soldadura se ha ejecutado tal y como está previsto.

En caso positivo, puede partirse del supuesto que el resultado de soldadura es correcto y el robot recoge la pieza y la deja en el siguiente proceso de fabricación, si no la pieza queda apartada del flujo de la célula de fabricación.

Junto al control de los parámetros de soldadura, el Controller cumple funciones de controles adicionales que también corresponden a la ejecución del ciclo de máquina, y que sirven a la protección de la misma contra fallos y eventuales daños.

#### 6.4.1.- Magnitudes de Medición

*El controller mide las siguientes magnitudes físicas:*

- El tiempo se mide con ayuda de impulsos comandados por elementos de cuarzo en la CPU del Controller, de forma independiente a la frecuencia de reloj de la CPU de la unidad de control. La medición se efectúa en intervalos de 10 ms.
- El número de revoluciones del husillo se mide con ayuda de un generador taquimétrico, acoplado al árbol del husillo. Los valores actuales del número de revoluciones se indican en RPM, el tratamiento digital posterior de la señal analógica del taquímetro se efectúa con una resolución de  $2^{12} = 4096$  unidades digitales sobre el fondo de escala.
- La presión hidráulica en el sistema de avance del carro se mide a través de un transductor de presión, que se conmuta al circuito de retorno del cilindro hidráulico hasta el instante del contacto entre piezas, pasando después nuevamente a la cámara de avance del cilindro hidráulico. El tratamiento digital posterior de valor de presión analógico se efectúa con una resolución de 1 bar. Por otro lado, en la mayoría de las máquinas, no se utilizan sistemas de medición de fuerzas por extensometría u otras técnicas.
- La carrera que realiza el vástago del pistón del cilindro de avance del carro, se mide a través de un sistema de medición de carrera lineal incremental o regla digital, el cual registra los movimientos relativos entre el bastidor de la máquina y el vástago del pistón. El punto cero del sistema de medición de la carrera es la posición del vástago del pistón con el carro en posición básica de salida (Carro contra el tope mecánico, con la mayor distancia respecto al husillo). El sistema de medición de carrera es referenciado a cero por cada ciclo de soldadura. La resolución de captura de medición de carrera es de 0.1 mm
- La posición del husillo, es decir, el ángulo de giro del husillo es medido a través de un codificador angular incremental o encoder. La posición cero del husillo es una posición angular del husillo de libre determinación, en donde el codificador angular incremental genera su impulso de marca cero. El sistema de medición angular es referenciado en cada giro del husillo, cuando pasa por la posición del impulso cero, en dirección de giro positiva (Dirección durante el servicio). Las maquinas utilizan la posición angular para realizar una **parada posicionada** determinada del cabezal para que el robot pueda encajar el componente a soldar en el cabezal.

#### 6.4.2.- Parámetros de Soldadura Controlados

Se evalúan y controlan los siguientes parámetros referidos al proceso de soldadura:

- **Velocidad de giro <0>, <1>**

En el momento del contacto entre piezas con giro, en la etapa de prefricción, se capta el valor instantáneo actual de la velocidad de giro del husillo <0> y se compara con los límites de tolerancia declarados.

Si el valor del número de los rpm-s se encuentra fuera de los límites de tolerancia, entonces la ejecución del ciclo de máquina es interrumpida emitiéndose el correspondiente mensaje de fallo, el carro vuelve a la posición de base de salida y el husillo es detenido.

Durante la fase de fricción, en número de revoluciones es controlado casi de forma continua. Es decir, se efectúa una captura del valor del número de revoluciones de forma cíclica, controlándose si se encuentra dentro de las tolerancias definidas.

En el mismo tiempo, se efectúa una evaluación de los valores máximos y mínimos. Estos valores máximos y mínimos que aparecen dentro de la fase de fricción son indicados en la pantalla y registrados.

Dado que al final de la fase de prefricción y de la conmutación de presión de prefricción a la de fricción pueden aparecer golpes muy fuertes en el par del giro, que puede ocasionar variaciones relativamente grandes en la velocidad de giro, la velocidad es controlada al finalizar la fase de prefricción (S1) con un retardo, dentro de un límite en las bandas de tolerancias, en lo posible, estrecho hasta el final de la fase de fricción.

- **Posición de partida <2>**

Esta es la posición de pistón del cilindro de desplazamiento del carro en el instante del contacto entre piezas. La posición de partida es controlada inmediatamente si se encuentra dentro de la tolerancia de límites impuestos. Un rebase de límites provoca una detención en la ejecución del ciclo de la máquina; el carro retrocede a la posición de salida, el husillo es detenido, las piezas quedan amarradas y deben ser descargadas manualmente. Significa que los componentes son demasiado cortos o demasiado largos.

El valor actual de posición leído a través de transductor de carrera se refiere, en primer momento y tal como descrito más arriba, a la **posición cero del pistón**, representando con ello el recorrido del pistón efectuado desde la posición base del carro hasta el contacto de piezas.

- **Acortamiento por fricción <3>**

En el final de fricción (S4) se mide nuevamente la posición del vástago del pistón en ese instante. De la diferencia de este valor de posición y del valor de la posición de partida, se calcula el valor de acortamiento por fricción. Es el acortamiento de las piezas sufrido por efectos de la prefricción y la fricción de forma conjunta. Esta variable primero es consignada durante toda la etapa de fricción y al final de ella es una variable de control al mismo tiempo.



- **Posición final <4>**

Finalizado el recalco (S8) se mide nuevamente la posición del vástago del pistón. Para ello, el sistema conmuta nuevamente la presión hidráulica para efectuar la medición de la posición final bajo condiciones similares a la de la posición de partida.

- **Acortamiento total <4>**

El acortamiento total es la diferencia entre la posición final y la posición de partida. El valor actual se determina del cálculo entre estos dos valores. Variable de control ajustado con la primera pieza del lote.

- **Presión de fricción <5>**

La presión hidráulica en la cámara de avance del cilindro de movimiento del carro, es controlada casi de forma continua durante la fase de fricción. Es decir, el valor actual de presión es leído cíclicamente y controlado respecto a los límites de tolerancia fijados. Al mismo tiempo, se efectúa una evaluación de los valores máximos y mínimos. La presión máxima y la presión mínima aparecidas en la fase de fricción se indican en pantalla y se registran también junto con otras variables.

Dado que la presión, al cambiar del nivel de presión de prefricción al de fricción en el comienzo de la fase de fricción (S3) no tiene un crecimiento tan rápido como el deseado, ni tampoco está libre de oscilaciones, el control de la presión de fricción comienza, al igual que el control de velocidad, con un retardo programado, en este caso internamente en el autómatas.

- **Presión de recalco <7>**

El control de presión hidráulica en la cámara de avance del cilindro de movimiento del carro durante la fase de recalco, se efectúa de forma análoga al control de presión de fricción. El tiempo de crecimiento T2, después de cuyo transcurso se realiza el control de la presión de recalco hasta el final del tiempo de recalco, es ajustable por el usuario.

- **Presión de recalco posterior <8>**

El control de la presión de recalco posterior se realiza de forma análoga al control de la presión de fricción y la presión de recalco. La supresión del control de presión durante la fase de conmutación de la presión de recalco posterior, se efectúa con el mismo retardo de tiempo (T2) utilizado en el control de presión recalco.

- **Frenado <9>**

Para el control del efecto del freno, se mide la velocidad de giro después de transcurrido el tiempo de control de frenado, y se verifica si cumple con el límite máximo ajustado, prácticamente cero para evitar que la pieza se sude mientras uno de sus componentes está girando. En caso contrario, se emite el mensaje de fallo "Fallo de freno".

- **Tiempo total de fricción <10>**

El tiempo transcurrido desde el contacto de piezas (S2) hasta el final de la fase de fricción (S4), es decir, las fases de prefricción y de fricción juntas, son controladas en tiempo, tanto en el modo de fricción por carrera o acortamiento como en modo de fricción por tiempo.

El control del tiempo de fricción es importante en el modo de fricción por carrera, ya que en la fricción por tiempo, la prefricción y la fricción están comandadas justamente por el tiempo impuesto por el Controller, de modo tal que el tiempo total de fricción es exactamente reproducible e independiente de influencias exteriores.

Por el contrario, en la fricción por carrera pueden aparecer grandes divergencias en los tiempos totales de fricción, que dependen de las piezas y de la constitución del material. Esto hace que si soldamos por ejemplo una pieza con excesiva suciedad y requiere de más tiempo para acortar los mismos mm-s que se le requiere durante esta etapa a todas las soldaduras del mismo lote, se pueda rechazar por parámetros más fácilmente trabajando por fricción por carrera y controlando el tiempo que haya necesitado durante la etapa de fricción. GKN Driveline Zumaia trabaja de esta forma.

- **Posición del husillo después de la soldadura**

En máquinas de soldadura por fricción con posicionamiento angular exacto después de la soldadura, una vez finalizado el proceso de soldadura y después de la apertura de algún amarre de piezas, se posiciona adicionalmente la posición angular del husillo y se controla si la misma se encuentra dentro de límites previamente definidos. Sirve para la carga y descarga automática de los componentes por robot.

- **Control del fondo del cilindro**

Durante todo el proceso, la posición de vástago del pistón es controlada de forma continua. Con selección “no recalcar sobre el fondo del cilindro”, al alcanzar el vástago esa posición, se emite un mensaje de fallo y la soldadura finaliza con fallo de rechazo.

El control del proceso de soldadura finaliza, después de efectuada la medición de la posición final, o en el caso de la soldadura con un posicionamiento angular exacto, con el control de la posición del husillo, con una evaluación de todos los valores de medición. Si se ha rebasado por exceso o por defecto un único o varios límites de control, se evalúa esa soldadura como rechazo por fallo.

Si se ha evaluado una soldadura como rechazo, se bloquea la ejecución del ciclo en la máquina, emitiéndose el correspondiente mensaje de rechazo, que debe ser confirmado antes de comenzar con una soldadura siguiente.

### **6.4.3.- Mensajes de Error**

Si la máquina se para por algún fallo durante la soldadura, el control mantiene en pantalla el mensaje del primer error que se ha dado, suponiendo que es el causante de otros errores que se dan a continuación. Por ejemplo, si no se alcanza la presión durante la etapa de fricción, probablemente la pieza se suelda fuera de otros parámetros de control como por ejemplo el

tiempo de fricción o acortamiento total. Pero la causa raíz ha sido que no ha llegado a la presión de consigna. Este primer error se registra en forma de código, así como los principales parámetros de cada soldadura. Los principales parámetros, se registran siempre, bien sea de una pieza bien soldada o con fallo. Los códigos de error registrados son los siguientes:

<b>Código</b>	<b>Error</b>
1	Contacto, Largas
2	Contacto, Cortas
11	Tiempo de Fricción Bajo
12	Tiempo de Fricción Alto
21	Pr. Fricción Baja
22	Pr. Fricción Alta
31	Acort. Fricc. Baja
32	Acort. Fricc. Alta
41	Vel . Fricción Baja
42	Vel . Fricción Alta
51	Pr. Recal. Baja
52	Pr. Recal. Alta
53	Subida de Pr. Recal. Lenta
61	Acort. Total Baja
62	Acort. Total Alta
71	Pos. Final Pieza Corta
72	Pos. Final Pieza larga
81	Vel. Recal. Alta
91	Tiempo Ciclo Alto
101	Acort. $\neq$ 40-60%

## 6.5.- Tolerancias de Aceptación

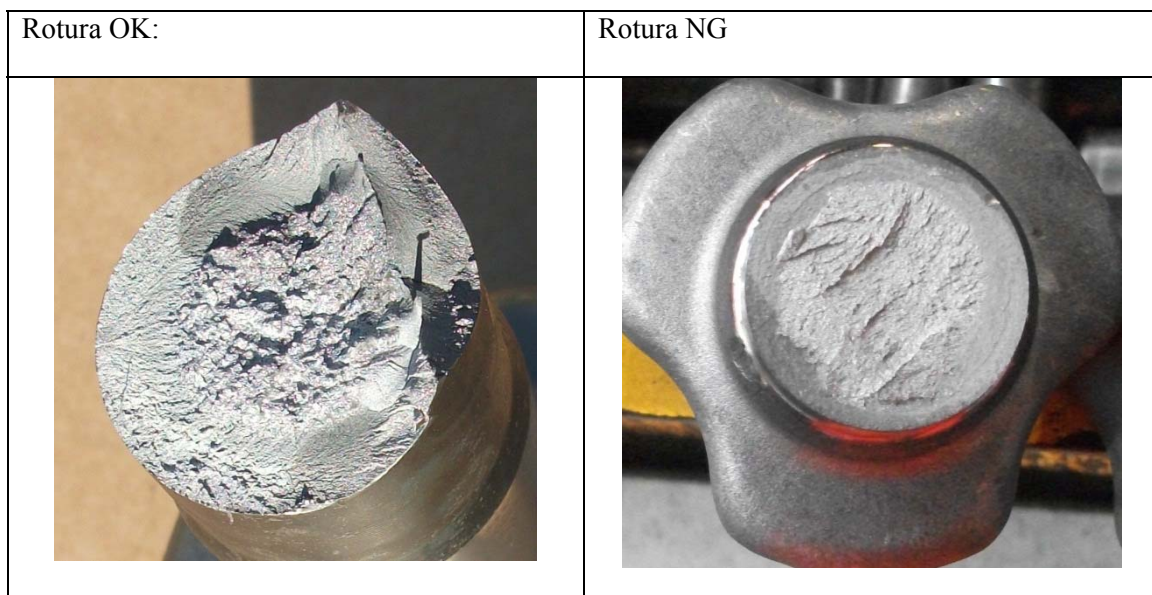
PARÁMETROS	Acortamientos Relativos	Absolutos
Presión de fricción	$\pm 3$ bar	$\pm 3$ bar
Presión de recalado	$\pm 3$ bar	$\pm 3$ bar
Posición inicial	$\pm 1.5$ mm	$\pm 1.5$ mm
Acortamiento por fricción	$\pm 0.2$ mm	$\pm 1.0$ mm
Acortamiento total	$\pm 0.5$ mm	$\pm 1.0$ mm
Posición final	$\pm 2.0$ mm	$\pm 0.5$ mm
Tiempo total de fricción	$\pm 1.5$ s.	$\pm 2.0$ s.

## 7.- CONTROL

### 7.1.- Flexión

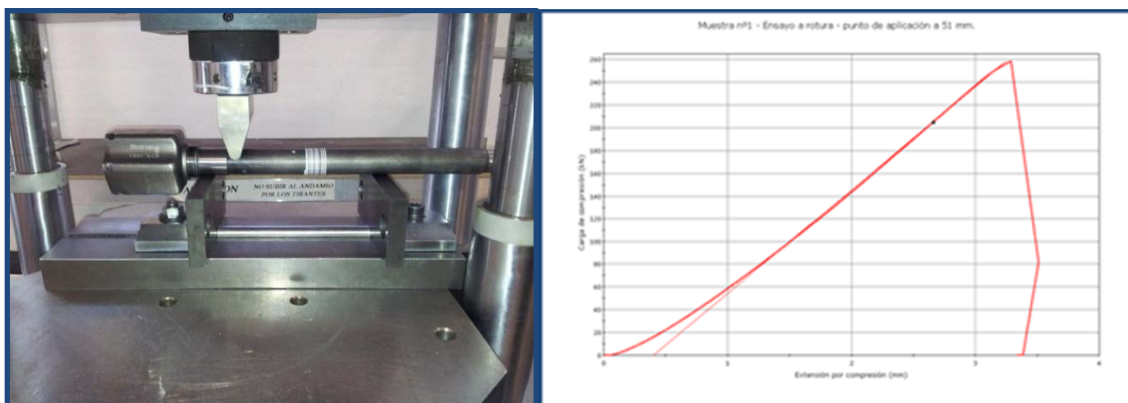
Se trata de un ensayo destructivo, se realiza cada vez que se arranca con un nuevo lote. Es un ensayo rápido y da una idea aproximada de la calidad de la soldadura.

La pieza ha de aguantar una fuerza mínima dependiendo de su diámetro y de una tensión teórica. La rotura no ha de darse completamente perpendicular al eje de la pieza, por la entrecara soldada.



En GKN Driveline Zumaia, solo se controla la fuerza aplicada durante el ensayo.

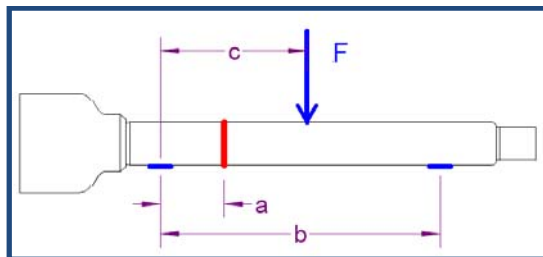
A continuación aparecen otros dos ejemplos de dos bancos de ensayos externos a GKN Driveline Zumaia, donde se pudieron medir además de la fuerza, la deformación durante el ensayo. De esta manera se pueden graficar y conocer el límite elástico de un lote determinado. En contra hay que reconocer que los apoyos utilizados, con aristas vivas no fueron los más adecuados.





En cuanto a la fórmula que se utiliza de cálculo del esfuerzo a flexión que ha de aguantar:

$$F > \frac{\pi(D^4 - d^4) b \sigma_{\max}}{32 D a (b - c)}$$



- D, d: Diámetro de barra o los dos del tubo

INPUT Values		OUTPUT Values	
External Ø Bar/Tube =	40 mm	Maximum Force f(τ, Ø-s) =	211,7 KN
Internal Ø Bar/Tube =	0 mm	Applied force =	21,6 Tn
τ =	1685 Mpa	Applied Hidraulic press =	253,9 bar
a =	100 mm		
b =	200 mm		
c =	100 mm		

$\sigma_{\max}$ : Tensión máx. del material a tracción, dato del proveedor del acero, 1685 MPa

## 7.2.- Ultrasonidos

### MÉTODO:

- Es el método que más información proporciona sobre cualquier impureza que se haya quedado atrapada en la soldadura
- Es un método de control no destructivo (no afecta a la pieza)
- Se detectan todo tipo de defectos internos del material, siempre que exista una discontinuidad en el mismo (suciedad interna, falta de unión, poros, etc.). Estos defectos no son detectables visualmente ni mediante magnaflux.
- En GKN Driveline Zumaia, se realiza el ensayo:
  - Automatizado
  - Al 100% de las piezas fabricadas
  - 5 mediciones por pieza

### EQUIPO

Para la aplicación de este método de control se utilizan equipos específicos que permiten la transmisión de sonido a través de la pieza a controlar y son capaces de detectar los “ECOS” que producen los defectos internos

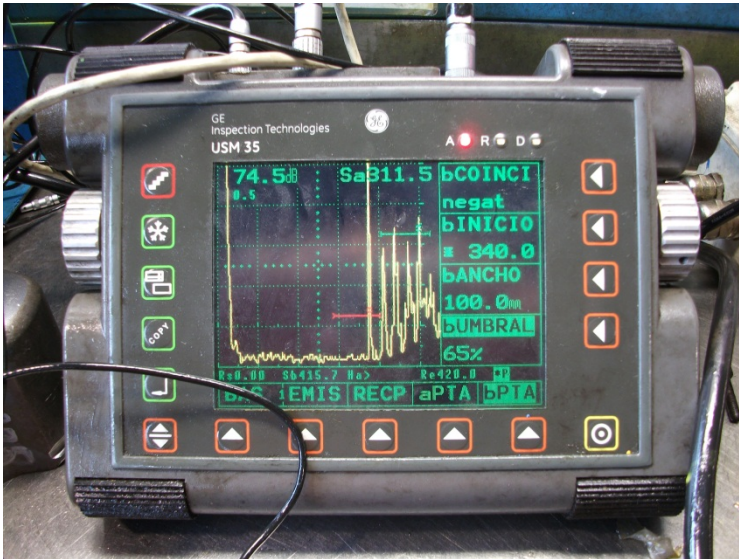
Para la correcta puesta a punto y calibración se requiere de dos patrones con defecto conocido en cuanto a posición y tamaño, 1 con ranura en el exterior y otra con un agujero en el centro, estos defectos artificiales están en la zona de soldadura. Se supone que si el equipo es capaz de detectar estos defectos en el exterior y centro, es capaz también de detectar en cualquier otro punto de la soldadura.

Los equipos de ULTRASONIDOS se componen básicamente de:

- Un sistema electrónico (portátil o fijo) capaz de emitir a través del material a controlar una SEÑAL ACUSTICA y recibir los “ECOS” que provienen del citado material.
- Estas señales son transmitidas a la pieza a controlar por medio de un PALPADOR piezoeléctrico adecuado al tipo de control a realizar, estando este PALPADOR conectado al equipo electrónico y en contacto con la pieza. Para garantizar/mejorar la transmisión de sonido se utiliza un “medio de unión” que suele ser grasa o similar.
- El resultado se visualiza en una pantalla de forma que permite SABER SI EXISTEN DEFECTOS en el material que se controla así como la POSICION y TAMAÑO de los mismos. Estos datos hacen posible saber si existe RIESGO DE ROTURA y por tanto SEPARAR Y RECHAZAR el material que se defina como NO ACEPTABLE.)

Los equipos utilizados en GKN Driveline Zumaia son de Krautkramer, empresa que pertenece a su vez a GE (General Electric):

- USM 35 y USM 36
- Se programan las 2 ventanas (Eco fondo y Eco de defecto) y los dB con la rueda lateral de la izquierda



Conectores de izquierda a derecha:

- Del palpador
- Señal salida(buena-mala)
- Fuente de alimentación

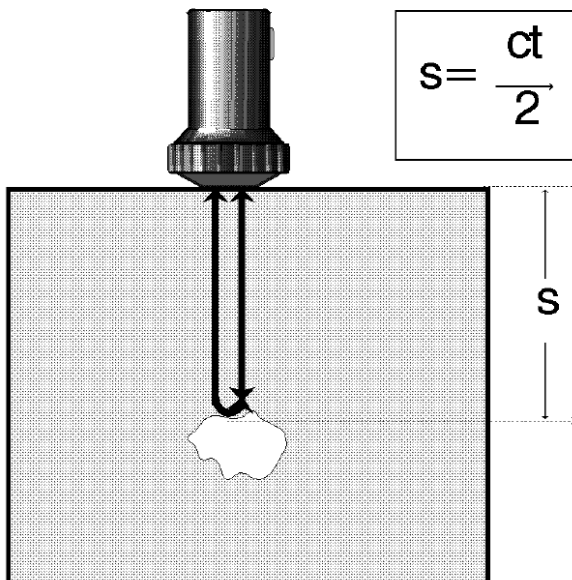


En el año 2015, GKN Driveline Zumaia ha aportado un par de mejoras a estos equipos:

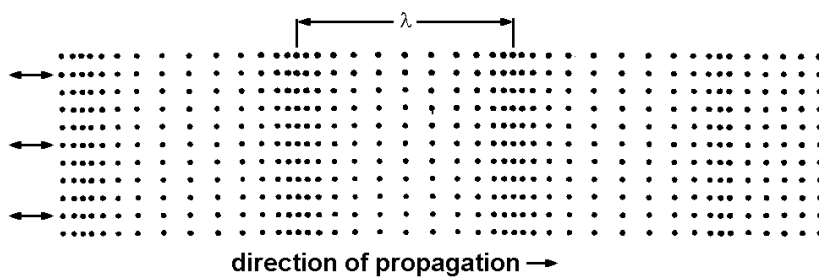
- Atenuar la señal en la ventana del eco de fondo. Si se pierde el acople, sin esta opción el equipo no se da cuenta hasta que lo pierde totalmente. Con la atenuación, el control lo detecta antes, ya que el eco de fondo requiere una señal del orden de 8 veces inferior que la del defecto, se pasa de 76dB a (-18dB) a trabajar a unos 58dB en esta zona, la escala del sonido es logarítmica, cada -6dB dividimos por 2 la señal.
- Registro de parámetros

Hay algunos parámetros que dependen del medio de transmisión, el acero por ejemplo transmite el sonido a 5920m/s, otros parámetros dependen del palpador que estemos utilizando, de 4MHz en el caso de GKN Driveline Zumaia. Un sistema de medición por ultrasonidos se basa en los siguientes parámetros:

- S = distancia a la grieta o fondo de tulipa
- c = 5920 m/s → Velocidad de emisión
- t = tiempo que tarda en emitir y volver
- IP = impulso de emisión.
- DE = Eco de defecto.
- BE = Eco de fondo.


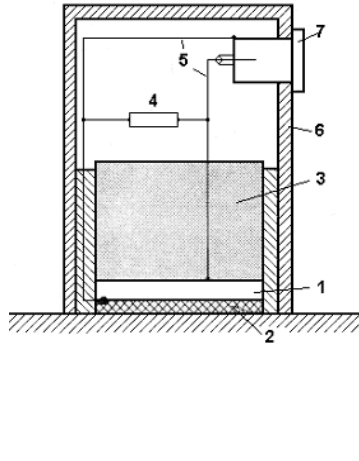


- $c = \lambda / T$
- $c = 5920 \text{ m/s}$
- $\lambda =$  longitud de onda
- T = periodo o tiempo requerido para una oscilación, la frecuencia es la inversa






En cuanto al sensor o palpador piezoeléctrico, tenemos los siguientes elementos para poder generar una vibración con electricidad y recibir otra vibración que la convertimos de nuevo en una señal eléctrica:

<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1 - cristal piezoeléctrico</li> <li>• 2 - Suela protectora</li> <li>• 3 - amortiguador</li> <li>• 4 - acople eléctrico</li> <li>• 5 - cable</li> <li>• 6 - caja</li> <li>• 7 - conector</li> </ul>		
---	---	--

- Entre el cristal y la suela protectora debe de haber un poco de aceite y nunca una burbuja de aire, en este caso habría que sacar el aire.
- Importantísimo echar grasa a las piezas
- GKN Driveline Zumaia, utiliza palpadores de 10 mm de diámetro de zona de apoyo en pieza y una frecuencia de 4MHz.

A la derecha, abajo: Sensor o palpador piezoeléctrico: Posicionamiento del palpador con respecto a la pieza a medir

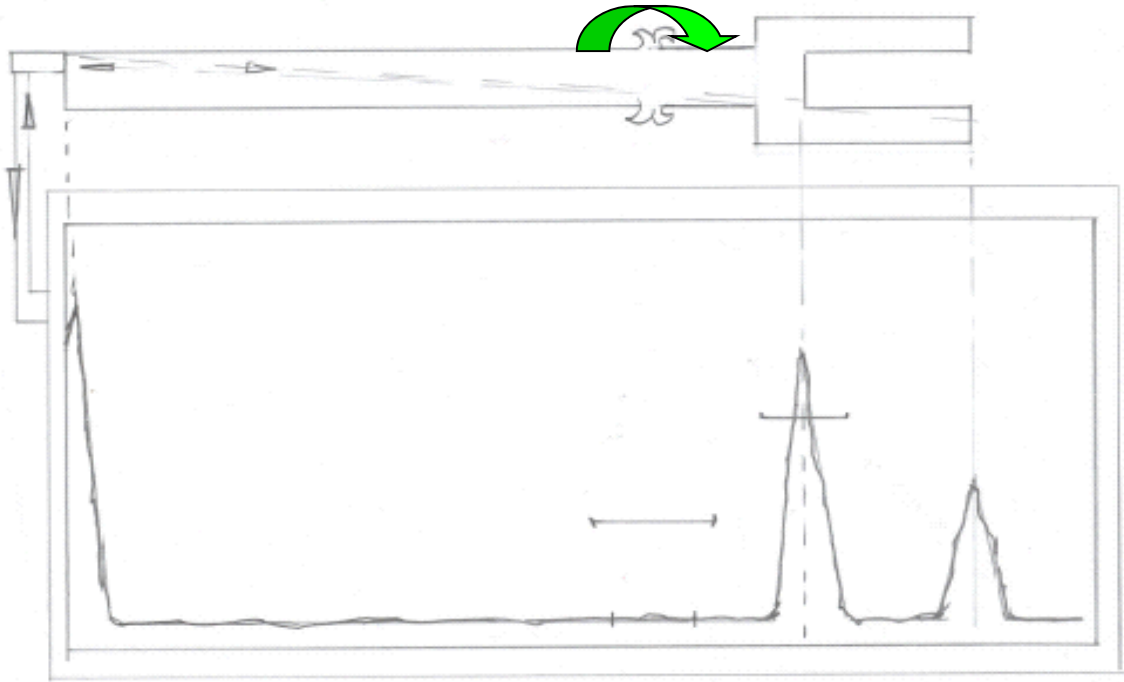
A la izquierda abajo: Tres temas a considerar durante el ajuste del acople.

	<div style="text-align: center;"> <p><b>Ajuste de Palpador</b></p> <pre> graph TD     A[Ajuste de Palpador] --&gt; B[Eliminación de aire entre palpador y goma de protección]     A --&gt; C["Ajuste de presión → Partiendo de una distancia fija antes de bajar → Con patrón"]     A --&gt; D["Asegurar buen acople con la tulipa → Mediante grasa"]                     </pre> </div>
---	---

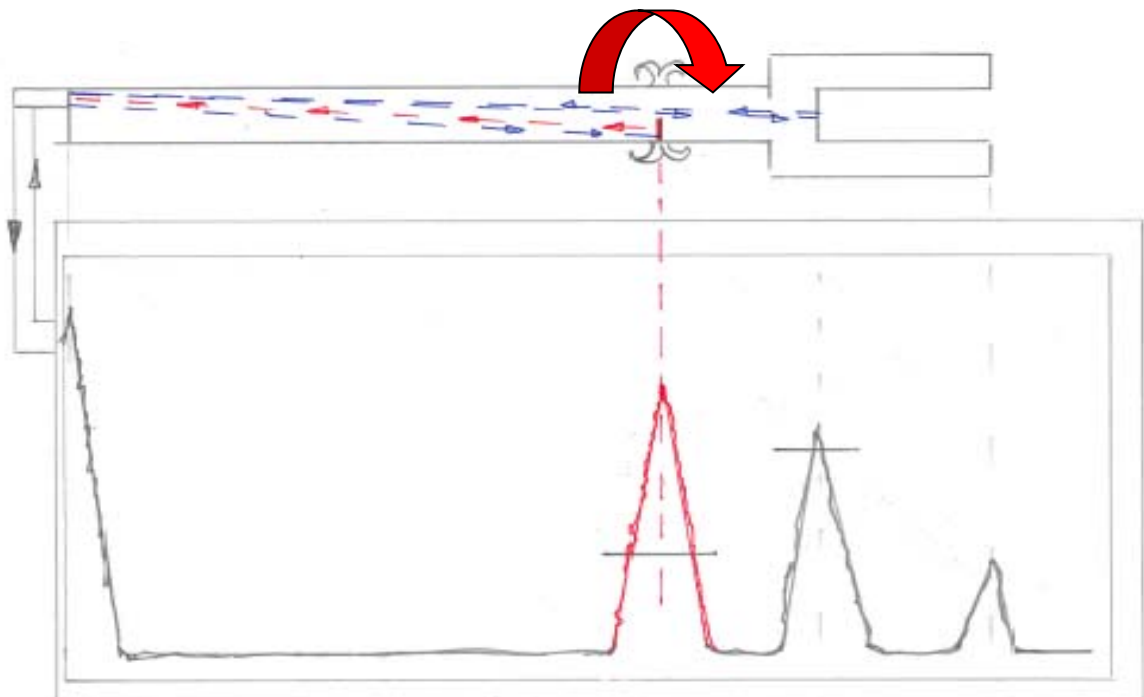
A continuación aparecen dos ejemplos gráficos de:

- Una medición de una pieza buena y su representación en la pantalla del equipo
- Otra, que representa la medición de una pieza con defecto

PIEZA CORRECTA:



PIEZA DEFECTUOSA



### 7.3.- Torsión

En realidad, es un PokaYoke que se utiliza desde hace mucho tiempo en GKN Driveline Zumaia, como control del proceso completo de fabricación, quizás más enfocado al control del temple por inducción, pero en caso de que esté muy mal soldado, sirve para romper la tulipa. La rotura hace que la pieza no pueda ser procesada en posteriores operaciones

Actualmente el tratamiento térmico, se controla mediante un control de capa por corrientes inducidas, habiéndose eliminado en algunas plantas de fabricación, el control mediante el ensayo a Torsión

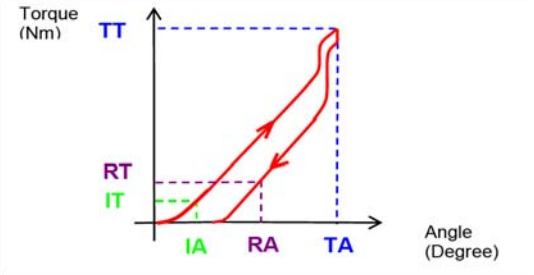
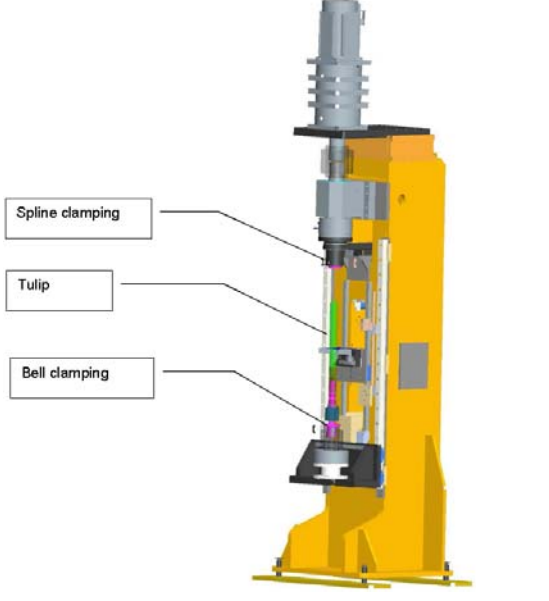
Esfuerzo de torsión aplicado: 90% del límite elástico, calculado en el primer lote de fabricación de cada referencia.

Frecuencia de control: 100%

Extractos del documento STD315052\_B de GKN Driveline: Se define el ensayo a torsión en Célula:

“Twist angle applied on bell or stem side.

Angle is applied at a given rotation speed which is defined by experience within the range 0.5-2.5 rpm. Same rotation speed to release angle

<p>The Angle parameters are:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- The Initial Angle (IA)</li> <li>- The Test Angle (TA)</li> <li>- The Return Angle (RA)</li> </ul>	<p>The Torque parameters are:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- The Initial Torque (IT)</li> <li>- The Test Torque (TT)</li> <li>- The Return Torque (RT)</li> </ul>
 <p>Figure 2 - Applied Torque versus Angular Deflection Graph</p>	

## 8.- MEJORA DEL PROCESO

Si GKN Driveline Zumaia es la empresa puntera en los productos y procesos de GKN Driveline, significa que el autor y su equipo han de ir unos pasos por delante de otras plantas en este proceso de soldadura y en todo lo que le rodea. En este sentido, en el 2015, se están investigando en los siguientes campos:

- En la posibilidad de soldar aceros con distintas composiciones químicas, en concreto distinto contenido en Carbono, sin que se produzcan grietas internas.
- Todas las piezas, después de haber sido soldadas, se templean por inducción. Se quiere conocer dónde está el límite de la capa templada que pueda degenerar en una grieta interna. La suma de ambos procesos, genera unas tensiones residuales, a su vez medibles mediante difracción de rayos X. Otro factor que interviene negativamente en la posible propagación de una grieta, es la perpendicularidad de la orientación del fibrado del acero, con respecto al eje de la pieza, esta perpendicularidad se genera en durante la soldadura.
- En cuanto al control de las máquinas de soldar que se utilizan en GKN Driveline, ha sido desarrollado, entre otros por el propio autor, implementando pequeñas mejoras provenientes de las necesidades del proceso. Este proceso de mejora es continuo, de hecho el programador de estas máquinas es un trabajador de GKN Driveline Zumaia.
- También se desarrolla el utillaje necesario de amarre de la forja de GKN Driveline Legazpia que tiene geometrías muy complejas. Durante los dos últimos años, prácticamente, se ha pasado de amarrar desde el exterior a sujetar por el interior de la forja, mejorando así el salto durante la soldadura para tratar de evitar problemas de vibraciones y también mejorar el salto del producto final.
- Nuevos sistemas de medición por ultrasonidos:
  1. GKN Driveline Zumaia intentó recientemente avanzar en este campo junto con Ideko y la técnica del Emat. Esta técnica genera la vibración, requerida por un equipo ultrasonidos, en lugar de por un palpador piezoeléctrico convencional, por otro por inducción mediante una bobina. Aunque el Emat tiene algunas ventajas, como por ejemplo el tiempo de ciclo necesario es menor o que no requiera utilizar grasa acoplante, no se consiguió alcanzar la precisión que tiene un equipo piezoeléctrico convencional.
  2. En el año 2015, GKN Driveline Zumaia está participando junto con GE, en la búsqueda de nuevos sistemas aún más precisos o que den mayor información sobre la calidad de la unión soldada. En concreto se están realizando pruebas en un equipo denominado “por mapeo”, donde en lugar de ver picos de defectos, se intenta ver una imagen a color de toda la sección de la soldadura relacionados con las impurezas. Es por ejemplo, como si pasáramos de medir la temperatura, con un pirómetro óptico o con una cámara termográfica.

## **9.- CONCLUSIONES**

Si repasamos los objetivos iniciales de este trabajo, se puede decir que se cumplen y se intuye que puede ser una base para avanzar por nuevas vías de investigación.

Los objetivos iniciales alcanzados son:

- Crear un documento sobre la soldadura por fricción rotativa
- Ordenar la información técnica relativa al proceso de soldadura fricción
- Que sea útil como breve introducción sobre el proceso de la soldadura por fricción
- Es un documento desde el punto de vista de la calidad del producto

Otras metas alcanzadas, que inicialmente el autor no tuvo en cuenta son las siguientes:

- Al autor de este trabajo le ha sido muy útil, al tener que ordenar y resumir sus ideas y su experiencia en un único documento, incluyendo comentarios explicativos
- Este primer ordenamiento del conocimiento, le ayuda, al menos al autor en avanzar en nuevas vías de investigación de manera más ordenada.

## 10.- BIBLIOGRAFÍA

- Proveedores de máquinas
  - Libro de Thompson
  - Curso de Kuka, 1 semana en Alemania
  
- GKN Driveline: A nivel global
  - Reuniones anuales
  - Seguimiento mensual de distintas actividades
  - Generación de documentación standard para GKN Driveline
  
- Centros tecnológicos y Laboratorios
  - Nuevos equipos
  - Estudios metalográficos en detalle
  
- Trabajo diario: Ante cualquier problema es como más se aprende