



Escuela Técnica  
Superior  
de Ingeniería  
Industrial

**PRUEBA PILOTO DE CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS EN LA SECCIÓN DE FÁCIL  
APERTURA DE AUXILIAR CONSERVERA**

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA**

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial

**PRUEBA PILOTO DE CONTROL ESTADÍSTICO  
DE PROCESOS EN LA SECCIÓN DE FÁCIL  
APERTURA DE AUXILIAR CONSERVERA.**

**TRABAJO FIN DE GRADO**

**GRADO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA INDUSTRIAL Y  
AUTOMÁTICA.**

Autor: Fernando Bermúdez de Castro  
Rubio

Director: Manuel Estrems Amestoy

Cartagena, Octubre de 2020



Universidad  
Politécnica  
de Cartagena

**PRUEBA PILOTO DE CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS EN LA SECCIÓN DE FÁCIL  
APERTURA DE AUXILIAR CONSERVERA**

**PRUEBA PILOTO DE CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS EN LA SECCIÓN DE FÁCIL  
APERTURA DE AUXILIAR CONSERVERA**

**AGRADECIMIENTOS**

La realización de este proyecto de fin de grado ha sido gracias al apoyo y a la ayuda de mucha gente estos años.

En primer lugar, agradecer al profesor Manuel Estrems por su ayuda y colaboración en este proyecto. A Auxiliar Conservera por brindarme la oportunidad de crear y crecer junto a ellos pero sobre todo a Enrique Soler y a José Arnao, este último por ser jefe y gran compañero estos meses. Sin ti no hubiese sido posible.

Gracias a mis padres Fernando y Conchi, mi hermana Marina y a mi abuelo Aurelio, sin ellos y sin el resto de la familia no hubiese sido posible empezar y acabar este ciclo.

**PRUEBA PILOTO DE CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS EN LA SECCIÓN DE FÁCIL  
APERTURA DE AUXILIAR CONSERVERA**

**PRUEBA PILOTO DE CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS EN LA SECCIÓN DE FÁCIL  
APERTURA DE AUXILIAR CONSERVERA**

## ÍNDICE

ABREVIATURAS .....	1
RESUMEN .....	2
1. INTRODUCCIÓN.....	3
2. METODOLOGÍA SPC.....	4
2.1 DISTRIBUCIÓN NORMAL.....	6
2.2 RECOGIDA DE DATOS .....	8
3. ESTUDIO DEL PROCESO PRODUCTIVO.....	11
3.1 HOJALATA .....	12
3.1.1 OBTENCIÓN DEL ACERO BASE .....	13
3.1.2 ESTAÑADO.....	16
3.1.3 ETAPAS.....	18
3.2 SECCIÓN PRENSAS BÁSICAS .....	19
3.3 PRENSAS FÁCIL APERTURA .....	24
3.3.1 ESQUEMA FA .....	30
4. MINITAB.....	32
4.1 GRÁFICOS DE CONTROL.....	33
4.2 CAUSAS COMUNES Y ESPECIALES DE VARIACIÓN.....	34
4.3 CONSTRUCCIÓN GRÁFICOS DE CONTROL.....	35
4.4 CÁLCULO GRÁFICOS DE CONTROL .....	39
4.5 ESTADÍSTICA INFERENCIAL.....	43
5. PRUEBAS TEÓRICAS MINITAB .....	45
5.1 PRUEBA t DE 1 MUESTRA (CONTROL POR 1T) .....	46
5.2 ANÁLISIS DE CAPACIDAD Y ESTABILIDAD.....	49

**PRUEBA PILOTO DE CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS EN LA SECCIÓN DE FÁCIL  
APERTURA DE AUXILIAR CONSERVERA**

5.2.1 VARIABLES DE CAPACIDAD A TENER EN CUENTA A CORTO PLAZO.....	50
5.2.2 VARIABLES DE CAPACIDAD A TENER EN CUENTA A LARGO PLAZO.....	56
5.3 ESTUDIO DE POTENCIA.....	60
5.3.1 DEFINICIÓN TEÓRICA.....	60
5.3.2 DEFINICIÓN FORMA PRÁCTICA.....	61
5.4 ESTUDIO RR (REPRODUCIBILIDAD Y REPETIBILIDAD).....	63
5.4.1 DEFINICIÓN TEÓRICA.....	63
5.4.2 DEFINICIÓN PRÁCTICA.....	64
6. PRUEBA PRÁCTICA MINITAB.....	67
6.1 SITUACION ANTES Y DESPUES EN LOS DISTINTOS PARADIGMAS.....	67
6.2 PROCESOS EN LOS QUE SE TIENE EN CUENTA ESTUDIO DE CAPACIDAD.....	69
6.3 EJEMPLO PRÁCTICO COMPARACION CAPACIDAD DEL PROCESO PARA 1ª TAPA BUENA .	69
6.3.1 1ª TAPA BUENA.....	69
6.3.2 MÉTODO.....	70
6.4 EJEMPLO GRÁFICO DE CONTROL PARA SALTOS DE TEMPERATURA.....	74
6.5 EJEMPLO VARIABILIDAD EN LA INFLUENCIA DEL MATERIAL.....	76
6.6 EJEMPLO CAPACIDAD DEL PROCESO DE DICIEMBRE A FEBRERO POST CAMBIOS EN TEMPERATURA Y MATERIAL.....	79
7. QRQC.....	80
8. CONCLUSIÓN.....	82
9. BIBLIOGRAFÍA.....	84
ANEXO.....	85

**PRUEBA PILOTO DE CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS EN LA SECCIÓN DE FÁCIL  
APERTURA DE AUXILIAR CONSERVERA**

## INDICE DE FIGURAS Y TABLAS

<i>Figura 1. Campana distribución normal.</i>	7
<i>Figura 2. Dinamómetro para tomas Pop y Pull</i>	9
<i>Figura 3. Equipo de medición chapa residual.</i>	10
<i>Figura 4. Prueba de porosidad</i>	11
<i>Figura 5. Fabricación de planchas de acero</i>	13
<i>Figura 6. Proceso de laminado en caliente</i>	14
<i>Figura 7. Fabricación planchas</i>	15
<i>Figura 8. Proceso inmersión en caliente</i>	16
<i>Figura 9. Proceso electrolisis</i>	17
<i>Figura 10. Plancha de hojalata previa a Scroll</i>	20
<i>Figura 11. Tiras de hojalata previa prensa</i>	21
<i>Figura 12. Tapa finalizada y tapa iniciada (de derecha a izquierda)</i>	22
<i>Figura 13. Esquema proceso previo FA</i>	23
<i>Figura 14. Despaletizador</i>	25
<i>Figura 15. Troquel de tapa</i>	26
<i>Figura 16. Prensa Múnster</i>	26
<i>Figura 17. Ensamblaje</i>	27
<i>Figura 18. Esquema de incisión</i>	28
<i>Figura 19. Pistola rebarnizadora</i>	29
<i>Figura 20. Tapa sin y con barniz (de izquierda a derecha)</i>	30
<i>Figura 21. Límites de Control</i>	33
<i>Figura 22. Límites de control</i>	39
<i>Figura 23. Diferentes tipos de pruebas.</i>	45
<i>Figura 24. Tendencia en gráfico de control</i>	47
<i>Figura 25. Prueba IT para ajuste necesario</i>	48
<i>Figura 26. Prueba IT para futuro ajuste innecesario</i>	49
<i>Figura 27. Cp bajo</i>	51
<i>Figura 28. Cp alto</i>	52
<i>Figura 29. Desplazamiento de campana</i>	53
<i>Figura 30. Cpk bajo</i>	54
<i>Figura 31. Cpk alto</i>	54

**PRUEBA PILOTO DE CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS EN LA SECCIÓN DE FÁCIL  
APERTURA DE AUXILIAR CONSERVERA**

<i>Figura 32. Cpk según desplazamiento de campana</i>	55
<i>Figura 33. Pp bajo</i>	56
<i>Figura 34. Pp alto</i>	57
<i>Figura 35. Precaución por desplazamiento Pp</i>	57
<i>Figura 36. Ppk bajo</i>	58
<i>Figura 37. Ppk alto</i>	59
<i>Figura 38. Precaución por desplazamiento Ppk</i>	60
<i>Figura 39. Curva de Potencia</i>	62
<i>Figura 40. Resumen R&amp;R</i>	64
<i>Figura 41. Informe de variación R&amp;R</i>	65
<i>Figura 42. Informe ANOVA para R&amp;R</i>	66
<i>Figura 43. Método estabilización 1ªtapa buena</i>	71
<i>Figura 44. Variación por ajuste de temperatura</i>	75
<i>Figura 45. Variación por propiedades mecánicas</i>	77
<i>Figura 46. Material residual a 90°</i>	78
<i>Figura 47. Mejora Capacidad tras cambios</i>	79
<i>Figura 48. Mejoras tras cambio</i>	80

**PRUEBA PILOTO DE CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS EN LA SECCIÓN DE FÁCIL  
APERTURA DE AUXILIAR CONSERVERA**

**PRUEBA PILOTO DE CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS EN LA SECCIÓN DE FÁCIL  
APERTURA DE AUXILIAR CONSERVERA**

## **ABREVIATURAS**

SPC Statistical Process Control. Control Estadístico de Procesos

AC Auxiliar Conservera

FA Fácil Apertura

QRQC Quick Response Quality Control. Control de Calidad y Respuesta Rápida

ISO International Organization for Standardization. Organización Internacional de Normalización

BRC British Retail Consortium. Asociación de Minoristas Británicos

TFS Tin free Steel. Acero Libre de Estaño

LEI Límite de Especificación Inferior

LES Límite de Especificación Superior

LCS Límite de Control Superior

LCI Límites de Control Inferior

SAP Systemanalyse und Programmentwicklung. Análisis de Sistemas y Desarrollo de Programas

**PRUEBA PILOTO DE CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS EN LA SECCIÓN DE FÁCIL  
APERTURA DE AUXILIAR CONSERVERA**

## RESUMEN

El objetivo de la realización de este proyecto consiste en aumentar la eficiencia de la línea de producción, profundizar en las causas que producen desviaciones de las variables de calidad, conocer la capacidad y ver la dependencia de esta en torno a las diferentes variables de entrada. Como por ejemplo, el lote de material, dureza de la hojalata, ajustes en máquina, etc. Todo esto lo haremos mediante un conocido método de control llamado Statistical Process Control (en adelante SPC).

Este método nos permite conocer cuán capaz es nuestro proceso, o en otras palabras, la situación de nuestra población con respecto a las especificaciones del cliente. ¿Somos capaces de producir cumpliendo los requisitos del cliente? La pregunta puede ser obvia, pero si la formulamos de otra forma, ¿somos capaces de satisfacerlos siempre? ¿Qué porcentaje de piezas defectuosas produce nuestra máquina? Si se trasladaran estas preguntas a muchas empresas seguro que no sabrían responder de forma científica a la segunda y si se analizara su proceso al igual que se ha hecho en Auxiliar Conservera (en adelante AC), se apreciarían procesos totalmente incapaces o que producirían muchísimas piezas fuera de especificación. Esto puede ocurrir por dos motivos. Debido a que no están bien definidas las especificaciones o porque existen problemas estructurales que nos limitan esta capacidad.

Muchas empresas alardean que están muy focalizadas en el cliente, pero realmente esto no es cierto. Están centradas en producir la máxima cantidad posible de unidades y poseen una calidad que podríamos llamar “Calidad cosmética”, es decir, una calidad de puertas para afuera, buscando únicamente satisfacer las diferentes normas como *International Organization for Standardization* (ISO) o *British Retail Consortium* (BRC) entre otras, que exigen los clientes pero que solo son auditadas una vez al año.

**PRUEBA PILOTO DE CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS EN LA SECCIÓN DE FÁCIL  
APERTURA DE AUXILIAR CONSERVERA**

Cualquier máquina industrial a parte de producir piezas del tipo que sea, a su vez genera datos y todavía las empresas están muy lejos de saber escucharlos. La mayoría están centrados en el producto y en lo que el producto cuenta (sus características de calidad) pero olvida todos los datos que la máquina aporta a la misma vez y que puede ayudar a prevenir futuros problemas y desviaciones cuando todavía es sencillo atajarlas.

Además, el método busca controlar la máquina (estabilidad) para que esta se mantenga dentro de unos límites de control previamente establecidos según parámetros estadísticos. Estos definirán cómo se está comportando el proceso y hacia dónde va a dirigirse.

## 1. INTRODUCCIÓN

Hoy en día lo que las empresas buscan es lograr la mayor producción posible al menor coste implantando todo tipo de mejoras. A pesar de contar con las mejores herramientas informáticas, mejor formación profesional y continuo avance tecnológico nos encontramos aún con un déficit notable. La calidad del producto es uno de estos enfoques en pleno auge que cuenta cada día más con mejores prestaciones pero mucho por mejorar. Cada día que pasa, la calidad exigida por los clientes es mayor y más exigente porque cada vez los clientes conocen mejor sus procesos y conocen qué es lo que necesitan. La voz del cliente es el punto de inflexión a partir del cual se comenzó a trabajar en este nuevo sistema. Desde los comienzos AC ha llevado un proceso de verificación de la calidad, comenzando desde la sensibilidad del propio operario hasta lo que hoy se desarrolla en este proyecto. Como se irá comentando posteriormente, estos parámetros de calidad son establecidos a través de unos límites de control según especificación. En este entorno en el que se trabaja, los límites de control por excelencia son los que pauta la exigencia del cliente, haciendo que AC, marque sus propios límites dentro de los que abarca el cliente para así asegurarse que no se produzcan producciones inservibles y con ello pérdidas económicas. Cada vez es más importante la utilización de nuevos métodos de control y seguimiento en el proceso de diseño de cualquier proceso, de manera que se pueda interpretar con una mayor precisión si el proceso sería capaz o no y predecir qué va a ocurrir después, mediante pautas y tendencias marcadas por los datos. Por ello, AC

## PRUEBA PILOTO DE CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS EN LA SECCIÓN DE FÁCIL APERTURA DE AUXILIAR CONSERVERA

dio un paso adelante y comenzó a trabajar en SPC. Este sistema gestiona los datos de las muestras de calidad tomadas en máquina y nos ayuda a tomar decisiones científicas ya que en primer lugar comprueba si esos datos son significativos o no, para después tratarlos e indicar si es necesaria una actuación en máquina.

Podrán producirse signos de que el proceso está fuera de control o de inestabilidad que deberá ser corregido lo antes posible. *Quick Response Quality Control* (en adelante QRQC) es un método de gestión que exige responder a las 5W (*What/Why/Where/When/Who*) que, mediante diferentes modelos estratégicos se encarga de proporcionar soluciones a estos déficits mediante la corrección y sobre todo que no se vuelva a repetir dicho fallo en el futuro. En definitiva, si lo que se busca es un producto de calidad y por ende, la satisfacción del cliente, este método ha de ser implantado.

## 2. METODOLOGÍA SPC

El sistema SPC proporciona unas herramientas que en un futuro a medio-largo plazo, proporcionará una retribución muy significativa a la empresa que lo lleve a cabo. Aun cuando este sistema de aplicación se basa en una colección de herramientas estadísticas para la resolución de problemas, para la aplicación exitosa del SPC es necesario algo más que esto. La participación y compromiso por parte de la 'Dirección' es indispensable para el éxito, pues es el modelo de ejemplo a seguir por parte del resto de personal de la fábrica. El SPC no se trata de un proceso que se ponga en marcha cuando las cosas no van bien y se quiere revertir la situación, sino se trata de un método que ha de ser utilizado de forma regular sin su posterior abandono. Por ello para que este proceso llegue a buen puerto, es necesaria la formación del personal para conseguir que el conocimiento de todas las herramientas que este pone a servicio para su utilización se extienda a todos los niveles. El fin de la utilización del SPC es la reducción de la variabilidad del proceso. El SPC trabajará en su mayoría con procesos cuya distribución sea normal y lo que no sea normal, será transformado mediante métodos estadísticos. En cierta manera, se podrá trabajar con datos fuera de esta normalidad pero no obtendrán resultados cien por cien verídicos. Matemáticamente hablando, SPC se basa en la estadística. Trabaja cada una de las

**PRUEBA PILOTO DE CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS EN LA SECCIÓN DE FÁCIL  
APERTURA DE AUXILIAR CONSERVERA**

cuestiones mediante una base científica que, utilizando contrastes de hipótesis, nos permite obtener una solución al 95% de confianza (según contraste).

Todo este planteamiento será posible gracias a la inferencia estadística. Es la base de este proceso, donde a partir de una muestra se puede realizar una afirmación sobre la población (sobre la estadística inferencial se hablará más adelante). Es decisión humana a través de un importante análisis por parte de un ordenador, la que permite tomar una u otra decisión en función de los datos recogidos. Por tanto, debido a que trabajamos con un intervalo de confianza se pueden producir dos tipos de errores:

- Error Tipo 1: Este es el primer tipo de error común que se suele dar cuando el operario o analista rechazar una hipótesis cuando no se debería). Esto se debe a que la muestra al ser aleatoria ha podido ser extraída de los extremos de las colas y fuera de la campana de normalidad del proceso.
- Error Tipo 2: Este es el segundo tipo de error común en control de procesos. Se lleva a cabo cuando el operario o analista acepta una hipótesis cuando no se debería).

Junto con la necesidad de no caer en estos errores y además de reducir la variabilidad se buscará alcanzar la cima de la calidad con una mayor eficiencia en el trabajo. Mejorar la calidad no implica un aumento de merma como la gente puede pensar, es más, se va más allá. El aumento de la productividad va de la mano con la calidad. Por tanto no sólo se produciría en mejores condiciones sino que se reducirían costes. Con esta finalidad, se deberá llevar a cabo los siguientes elementos:

- Liderazgo de la Dirección.
- Enfoque de equipo.
- Capacidad basada en la formación de los empleados.
- Focalizar el proceso en la reducción de la variabilidad del mismo.
- Medir los resultados en términos económicos.
- En caso de éxito, informar a todos los implicados.

**PRUEBA PILOTO DE CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS EN LA SECCIÓN DE FÁCIL  
APERTURA DE AUXILIAR CONSERVERA**

Todo proceso en la vida real, tales como fenómenos atmosféricos o situaciones cotidianas se puede aproximar a una distribución normal. Características como la talla o el peso también utilizan este tipo de aproximación, de ahí la importancia de esta, debido a la frecuencia con la que se produce. La mayoría de los procesos estadísticos utilizados, asumen la normalidad de los datos recogidos si estos entre otras cosas, presenta una cuantía importante. Aun así, siempre es recomendable realizar una prueba de normalidad para su completa verificación.

## 2.1 DISTRIBUCIÓN NORMAL

La distribución normal fue establecida por primera vez Abraham de Moivre en 1733 y posteriormente estudiada por Laplace y Gauss. Esta distribución quedó definida de forma definitiva en el siglo pasado (Kendall 1980). Dicha distribución se caracteriza por el gran valor teórico que presenta pero sobre todo por los innumerables casos prácticos que esta genialidad permite. Han sido estos casos prácticos los que han definido finalmente a la Distribución Normal, un gran valor y conocimiento por parte de todos los usuarios de esta rama de las matemáticas que es la estadística. Tanto que, en muchos casos se ha designado como la distribución natural cuando en tantos otros no lo era. Por tanto, antes de aceptar dicha distribución o dejarla de lado, es necesaria la comprobación de determinadas pautas para su correcta utilización. Se enunciará este teorema de la forma más sencilla posible, pero antes, se darán una serie de puntos para una mejor comprensión de este enunciado.

- Toda población cuenta con una serie de características conocidas como variables aleatorias, cuya forma natural es un número. Gracias a la extracción de una muestra de dicha población, se puede obtener valores de una variable de la población observada. Dicha variable es conocida como aleatoria pues depende del azar, impredecible.
- La distribución normal es particularmente una distribución elegida para anticipar el posible comportamiento de una variable aleatoria. Por tanto, el resultado obtenido una vez tomada una muestra podría diferir de las pautas de la distribución previamente escogida.

**PRUEBA PILOTO DE CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS EN LA SECCIÓN DE FÁCIL  
APERTURA DE AUXILIAR CONSERVERA**

Dentro de un determinado modelo o distribución, se puede esperar un determinado valor que será el valor promedio para una variable aleatoria. Este valor esperado puede diferir del resultado. Si a la variable aleatoria se le conoce por  $x$ , a este valor esperado se le denomina esperanza matemática  $E(x)$ . En relación a lo comentado, será por tanto posible calcular a priori otros parámetros tales como la mediana, la moda...

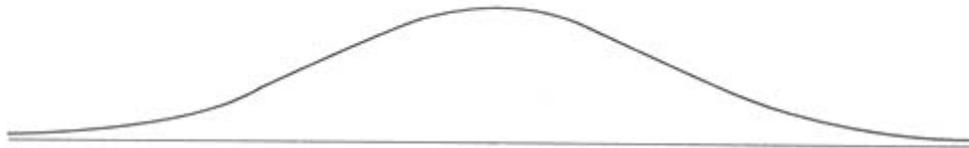


Figura 1. Campana distribución normal.

En la figura 1, se puede observar una campana de Gauss. Presenta una forma simétrica en forma de curva con dos largas colas donde se acumula una menor frecuencia de datos. Al contrario que en su parte central, centrada en la media  $\mu$ . Conforme avanzamos hacia las colas, se presenta un mayor valor de dispersión (desviación estándar  $\sigma$ ), siempre positivo, hasta los valores  $\mu \pm 3\sigma$  por cada una de las colas. Esta dispersión determina el ancho y largo de las colas. Existen infinitas campanas de Gauss en función del valor de la media y de la desviación típica.

Finalmente, se puede decir que una o varias variables son independientes cuando estas no pueden ser explicadas por otras variables. Aunque es difícil que una variable sea totalmente independiente de las otras, es aceptado en la mayoría de casos cuando el sentido común da fe de que esa acción puede llevarse a cabo. Por ejemplo, se puede suponer por sentido común, que el resultado de una prueba de atletismo es independiente del número de ganadores de la bonoloto. No se podría afirmar que no existe algún tipo de relación entre esas variables, pero sería correcto suponerlo hasta que no se demostrara lo contrario.

**PRUEBA PILOTO DE CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS EN LA SECCIÓN DE FÁCIL  
APERTURA DE AUXILIAR CONSERVERA**

A raíz de este comentario, el Teorema Central del Límite queda enunciado. Por tanto, la suma de un conjunto de variables aleatorias que no son dependientes  $x_1, x_2, x_3 \dots x_n$ , es una variable aleatoria 's' que sigue una distribución normal y cuya varianza y valor esperado son las siguientes:

$$E(s) = E(x_1) + E(x_2) + E(x_3) + \dots + E(x_n)$$

$$V(s) = V(x_1) + V(x_2) + V(x_3) + \dots + V(x_n)$$

Es importante mencionar que, cuanto mayor sea el número de variables sumadas mejor será la aproximación a un modelo normal. A partir de unos 40 sumandos se puede considerar como una cuantía bastante buena para realizar la aproximación.

Este tipo de distribución va a ser la base de la pirámide de este proyecto pues cada una de las tomas que se irá recogiendo de los parámetros que se comentan a continuación, siguen este tipo de modelo.

## 2.2 RECOGIDA DE DATOS

Durante estos meses, se han ido recopilando datos acerca de las distintas partes que conforman este proceso de mejora continua en la calidad del producto. Las pruebas que se han ido trabajando son las siguientes:

- *Pull*: Consiste en la prueba por excelencia en la comprobación de los parámetros de calidad a estudiar. Esta prueba se centra en la medición del esfuerzo a realizar por parte del operario a la hora de realizar la apertura manual de la tapa tirando de la anilla.
  
- *Pop*: Esta prueba se caracteriza por la profundidad del picado de la anilla a la hora de la apertura, esto es, la fuerza que se ha de ejercer para abrir la tapa.

**PRUEBA PILOTO DE CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS EN LA SECCIÓN DE FÁCIL  
APERTURA DE AUXILIAR CONSERVERA**

Las medidas de *Pop* y *Pull* son medibles gracias al dinamómetro, un aparato que realiza estas tomas.



Figura 2. Dinamómetro para tomas *Pop* y *Pull*

- **Chapa residual:** Consiste en el espesor de hojalata residual a lo largo de la incisión. Este parámetro ha de ser discontinuo debido a que tiene que haber menos cantidad por la zona de la anilla que por el lado contrario, para así evitar saltos de anilla y que sea más sencillo a la hora de realizar la apertura. A modo de ejemplo, en una tapa de 0.18mm de espesor en la zona del pique dejaremos unos 0.075mm, a 90 y 270 grados aproximadamente 0.085mm y en la zona opuesta al pique 0.100mm.

**PRUEBA PILOTO DE CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS EN LA SECCIÓN DE FÁCIL  
APERTURA DE AUXILIAR CONSERVERA**



Figura 3. Equipo de medición capa residual.

- **Diámetro de remache:** Se entiende por diámetro de remache a la circunferencia dada en el proceso de remachado, el cual consiste en la unión por deformación de varios componentes a través de la presión ejercida por una fuerza mecánica.
- **Porosidad:** Se trata del volumen total de poros presentes en un material producidos por un daño en los estiramientos de los barnices. Se realizan pruebas de envejecimiento rápido en línea para poder predecir si existirán poros que posteriormente puedan producir corrosión.

A pesar de todas las mencionadas anteriormente, este proyecto se va a centrar mayoritariamente en la práctica del *Pull* y se estudiará más levemente el diámetro de remache o el material residual.

**PRUEBA PILOTO DE CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS EN LA SECCIÓN DE FÁCIL  
APERTURA DE AUXILIAR CONSERVERA**

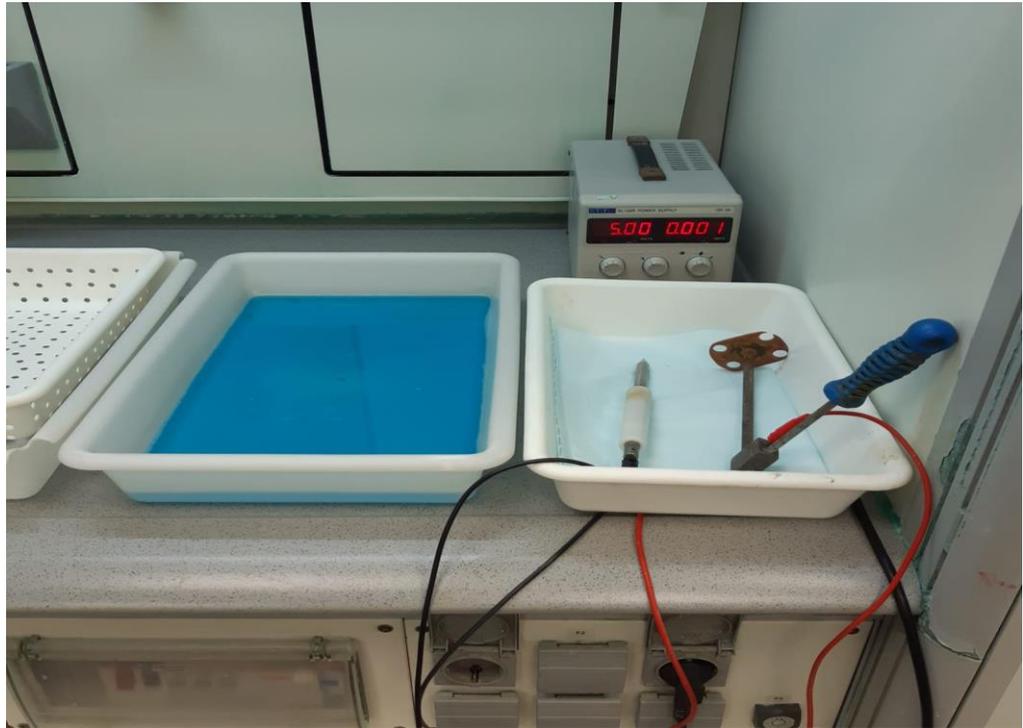


Figura 4. Prueba de porosidad

Como se puede observar en la fotografía, mediante el líquido azul conocido como sulfato de cobre podrá ser visualizado cualquier daño mecánico mediante la aplicación de una corriente eléctrica. Al someter estas zonas a una corriente eléctrica, el ion de cobre se unirá a la hojalata a través del poro creado tras el daño del barniz revelando ausencia de barniz.

Hoy en día son numerosos los materiales con los que se trabaja pues son muchos materiales los que se han ido descubriendo a lo largo de los años. Dependiendo del enfoque, a raíz de la experiencia, se han ido aceptando o rechazando según qué materiales para según que procesos. Cabe mencionar que todo este proceso productivo no sería llevado a cabo sin la materia prima con la que muchas empresas del entorno agroalimentario trabajan, la hojalata y *Tin free Steel* (en adelante TFS).

### **3. ESTUDIO DEL PROCESO PRODUCTIVO**

## PRUEBA PILOTO DE CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS EN LA SECCIÓN DE FÁCIL APERTURA DE AUXILIAR CONSERVERA

Auxiliar Conservera fabrica FA desde la década de los 90, pero es de recibo explicar todo el proceso desde el principio. La materia prima de AC son las bobinas de hojalata o las bobinas de TFS las cuales son proporcionadas por el proveedor. Las bobinas se trabajan ya en AC en forma de planchas que alimentarían el proceso. Las planchas de hojalata o TFS se caracterizan por diferentes variables como espesor, ancho, dureza y estañado principalmente. La hojalata es cortada en hojas rectas o prescoladas en función de si es para botes o tapas en una línea de corte, formando lo que se llama bloque blanco. El siguiente paso es el barnizado exterior e interior en unas barnizadoras (impregnación por rodillo vulcanizado). Así mismo se haría en el caso de la litografía. Existe una amplia gama de barnices. Existen varios tipos de barnizado como son oro incoloro, porcelana o aluminio entre otros. Existe una amplia gama de barnices y gramajes ( $\frac{g}{m^2}$  de barniz por hoja), tanto interior como exterior en función del producto que el cliente posteriormente vaya a envasar. Hay que tener en cuenta que cada barnizado requiere un pase de horno para su curado, provocando que en ocasiones la misma hoja pase por los hornos 4-5 y hasta 6 veces. También puede ser litografiado en su parte exterior en vez de barnizado. Este proceso se realiza en una máquina de litografía.

En este momento es donde se bifurca la línea de producción en función si es para bote o tapa. Esta lectura se va a centrar en la segunda, en la tapa. Para ello, será necesario que esas hojas sean cortadas en tiras y posteriormente a tapas. O directamente en tapas mediante prensas más modernas y mayor velocidad llamadas multitroqueles.

Este proceso es el previo a la sección de FA y se realiza en la sección de Prensas Básicas. Después de esta breve descripción del proceso, se va a dar forma a cada una de las partes implicadas de este proceso productivo.

### 3.1 HOJALATA

La hojalata es un acero con un bajo contenido en carbono que es recubierto por cada una de sus caras con estaño. Tanto el acero como el estaño proporcionan una serie de propiedades a la hojalata. El acero presenta resistencia, dureza y maleabilidad mientras

## PRUEBA PILOTO DE CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS EN LA SECCIÓN DE FÁCIL APERTURA DE AUXILIAR CONSERVERA

que el estaño inocuidad, resistencia a la corrosión y a la oxidación entre otras. Claro que, dichas propiedades dependen de los tipos de materiales que presente, la cantidad de los mismos y sus tratamientos.

### 3.1.1 OBTENCIÓN DEL ACERO BASE

El acero base representa el cuerpo de la hojalata. En función del uso para el que esté destinado la hojalata, se utilizará un acero u otro. Algunos de estos son el L, MR, MC. Son aceros que presentan entre 0,05 y 0,12% en carbono, entre 0,3 y 0,6% de manganeso, alrededor de un 0,05% de Azufre y otros compuestos cuyos valores son muy pequeños. Las etapas que componen la fabricación del acero base son las siguientes:

- Fabricación de planchas
- Laminado en caliente
- Laminado en frío
- Recocido
- *Skin-Pass*

### FABRICACIÓN DE PLANCHAS

Pueden fabricarse según dos procesos, proceso por colada continua o por lingoteras.

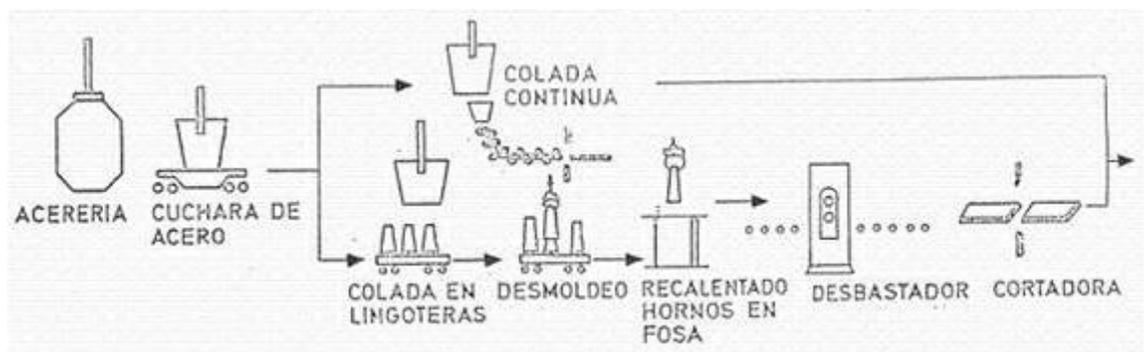


Figura 5. Fabricación de planchas de acero

## PRUEBA PILOTO DE CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS EN LA SECCIÓN DE FÁCIL APERTURA DE AUXILIAR CONSERVERA

Como se aprecia en la imagen, en la colada en lingoteras se generan unas planchas (*slab*) una vez fundido el acero y formado la lingotera, a través de los trenes de laminación. Estos son un conjunto de rodillos por los que pasan las planchas y reducen su espesor al deseado. A continuación se recalienta en hornos, se desbasta y se corta. A diferencia de la colada en lingoteras, la colada en continua no cuenta con estas etapas por lo que se desarrolla de forma continua.

### LAMINADO EN CALIENTE

Es normalmente el paso que le sigue. Algunas veces existe una etapa intermedia de enfriado, selección de planchas etc. El tren de laminación en caliente reduce las planchas a un grosor de unos 2mm, junto con un proceso de desbaste de material así como de acabado. La forma final de este proceso es una bobina.



Figura 6. Proceso de laminado en caliente

### LAMINADO EN FRÍO

Posteriormente, estas bobinas pasan por un proceso de decapado (limar las asperezas del material a tratar) para así fijar el espesor máximo con el que va a contar el producto final. Además de un lubricado antes de pasar por el tren de laminado en frío donde le espera ácido sulfúrico diluido. Este proceso puede ser realizado en trenes continuos o reversibles.

**PRUEBA PILOTO DE CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS EN LA SECCIÓN DE FÁCIL  
APERTURA DE AUXILIAR CONSERVERA**

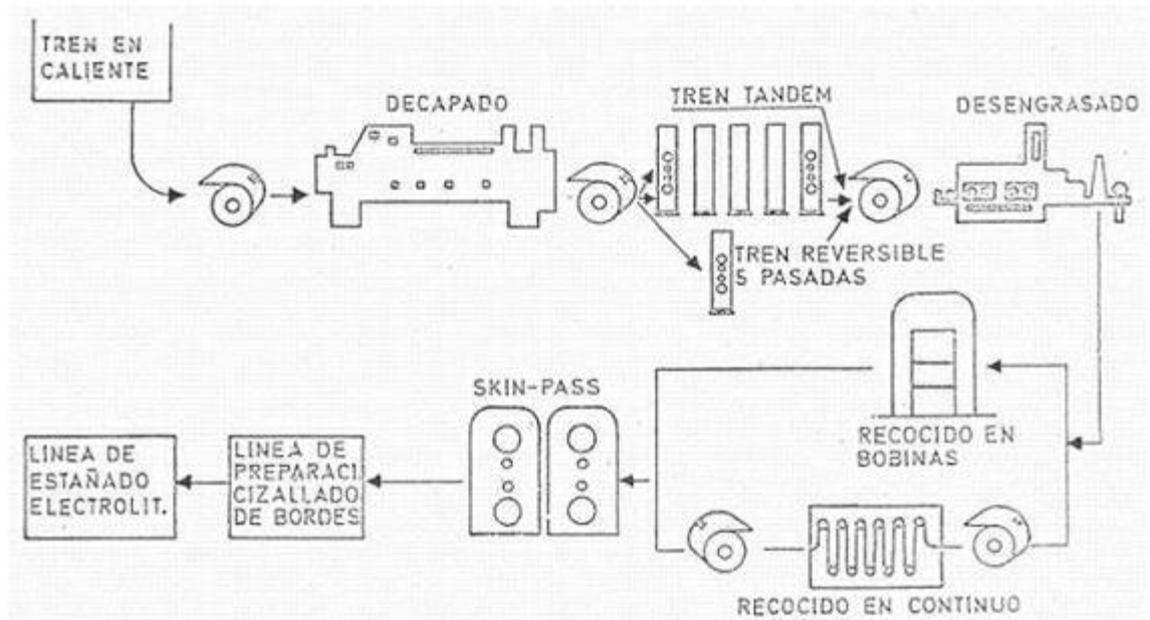


Figura 7. Fabricación planchas

## RECOCIDO

Este proceso se realiza en hornos de campana para dotar al producto de unas mejores condiciones mecánicas como una mayor ductilidad, ya que ha desarrollado durante el proceso grandes tensiones. Es imprescindible la eliminación de la lubricación impuesta en el proceso anterior.

## SKIN-PASS

Este es el último proceso por el que pasa lo que será la hojalata. Este proceso se denomina *Skin Pass* o *Temper Rolling* donde se realiza un templado mediante una laminación que no suele ser mayor del 2% de espesor.

Esta etapa genera una ductilidad adecuada, así como una superficie lisa y mejora la forma. Es recurrente cortar bordes y eliminar algunas secciones que presentan defectos de calidad previamente a la operación de estañado.

### 3.1.2 ESTAÑADO

Existen dos métodos de estañado en la hojalata:

#### INMERSIÓN EN CALIENTE:

En este proceso se somete la banda de acero limpia a un calentamiento controlado en un horno continuo, para después pasarla por un pote donde se encuentra el estaño fundido.

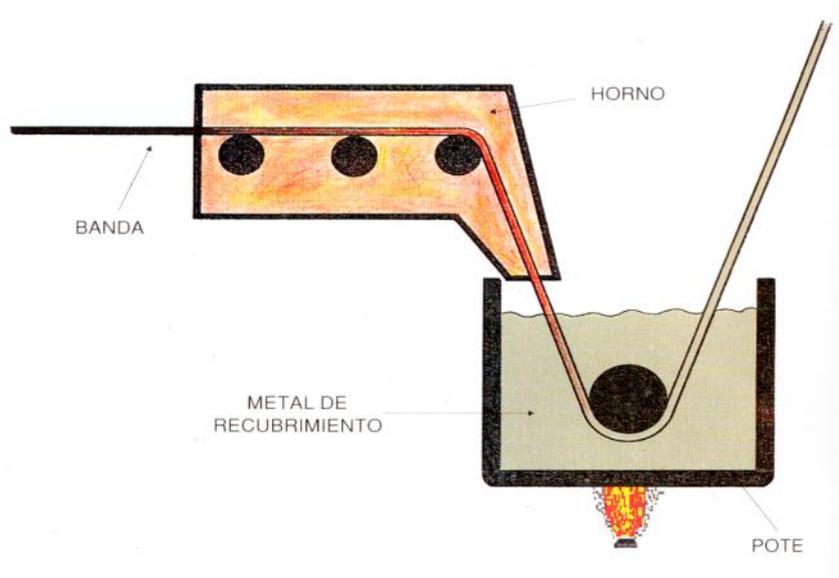


Figura 8. Proceso inmersión en caliente

#### ELECTRÓLISIS

La aleación tiene lugar por un principio de desprendimiento de partículas de unas barras de estaño conectas al polo positivo de una corriente eléctrica y por adhesión a la banda de acero conectada a una corriente negativa. La cantidad de estaño depositado en el acero dependerá de para qué va a ser utilizado este. La diferencia de gramaje así mismo puede ser diferente según la cara de la plancha de acero y será proporcional a la temperatura de

**PRUEBA PILOTO DE CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS EN LA SECCIÓN DE FÁCIL  
APERTURA DE AUXILIAR CONSERVERA**

los baños (inmersión en caliente) y a la densidad de corriente aplicada (electrólisis). Como todo material posee un acabado superficial. En este caso hablamos de redifusión, activación y lubricación.

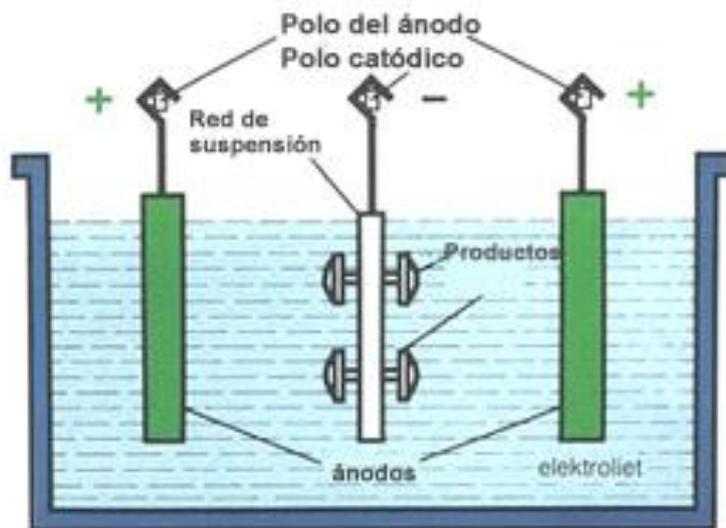


Figura 9. Proceso electrólisis

**PRUEBA PILOTO DE CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS EN LA SECCIÓN DE FÁCIL  
APERTURA DE AUXILIAR CONSERVERA**

**3.1.3 ETAPAS**

A continuación se muestra un esquema de estañado electrolítico:



¿Cuál es el método más utilizado? ¿Cuál es más preciso? Actualmente el método más utilizado para dar una fina capa de estaño al acero es la electrólisis puesto que es más precisa y no desecha tanto estaño como la inmersión en caliente, que antiguamente fue la más utilizada.

Por otro lado, se menciona el TFS que es el otro producto con el que se trabaja en AC. En este caso, el compuesto es el mismo que el de la hojalata sólo que no se protege con una capa superficial de estaño. En el caso del TFS, se realiza un revestimiento del soporte de cromo y óxido de cromo por ambas caras. Se trata de un material más sensible a la hora de procesar el corte. Se utiliza en AC, para todo tipo de formatos de tapas y

## PRUEBA PILOTO DE CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS EN LA SECCIÓN DE FÁCIL APERTURA DE AUXILIAR CONSERVERA

embutición. Posee un menor coste que el estaño, mejor comportamiento en medios sulfurantes así como mejor adherencia de barnices y alta resistencia a la corrosión. Sin embargo se raya con facilidad, no es apto para soldaduras eléctricas y siempre ha de ser barnizada para su uso. El proceso de obtención del TFS es el mismo que el de la hojalata solo que la etapa de etapa de estañado se supliría por el recubrimiento de cromo y óxido de cromo.

### 3.2 SECCIÓN PRENSAS BÁSICAS

Una vez se han barnizado las hojas de hojalata, pasan por la Sección de Prensas Básicas donde se tienen dos tipos de máquina, Prensas Básica y Prensas Multitroquel. La principal diferencia reside en el troquel y en la alimentación de las mismas. Las Prensas Básicas tienen dos troqueles por tanto se pueden hacer dos tapas por golpe de prensa, esto es, unas 30.000 tapas/hora. Por otro lado, las Prensas Multitroquel, son prensas que pueden variar desde 2 hasta 15 troqueles, haciendo hasta 130.000 tapas/h. En las mencionadas Prensas Básicas, el proceso lo inicia una máquina llamada *Scroll* donde se cortan las planchas de hojalata en tiras, no así en las multitroquel.

Esta sección recibe hojas barnizadas o litografiadas de diferentes dimensiones en función de los formatos a fabricar. Actualmente la industria está moviéndose hacia máquinas multitroqueles que son mucho más rápidas y pueden ser alimentadas directamente de hojas, pero todavía quedan máquinas de uno o de doble troquel en función del diámetro final de la tapa y de poco tonelaje.

Como es lógico en las multitroqueles existen numerosas ventajas. Son mucho más rápidas, más automáticas, además de que se elimina el proceso de *Scroll* intermedio. Sin embargo, como contrapartida los cambios de formato son mucho más lentos y requieren cuota de mercado para que las empresas hagan las inversiones pertinentes. Esto hace que todavía muchas empresas sigan optando a un sistema híbrido.

**PRUEBA PILOTO DE CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS EN LA SECCIÓN DE FÁCIL  
APERTURA DE AUXILIAR CONSERVERA**



Figura 10. Plancha de hojalata previa a *Scroll*

Como se puede observar en la figura, la plancha de hojalata es introducida en la *Scroll* donde se produce un sincronismo entre la cizalla que corta la hojalata y una mesa de alimentación para que todas las hojas vayan paralelas entre sí. Aprovechando al máximo la tira de hojalata por parte del troquel cuya disposición descartará el esqueleto de la hojalata, permitirá obtener el mayor número de tapas posible. Una vez cortada en la *Scroll*, obtendríamos las tiras (en las multitroqueles este paso no existe, estas prensas se alimentan directamente de las tiras de hojalata).

**PRUEBA PILOTO DE CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS EN LA SECCIÓN DE FÁCIL  
APERTURA DE AUXILIAR CONSERVERA**

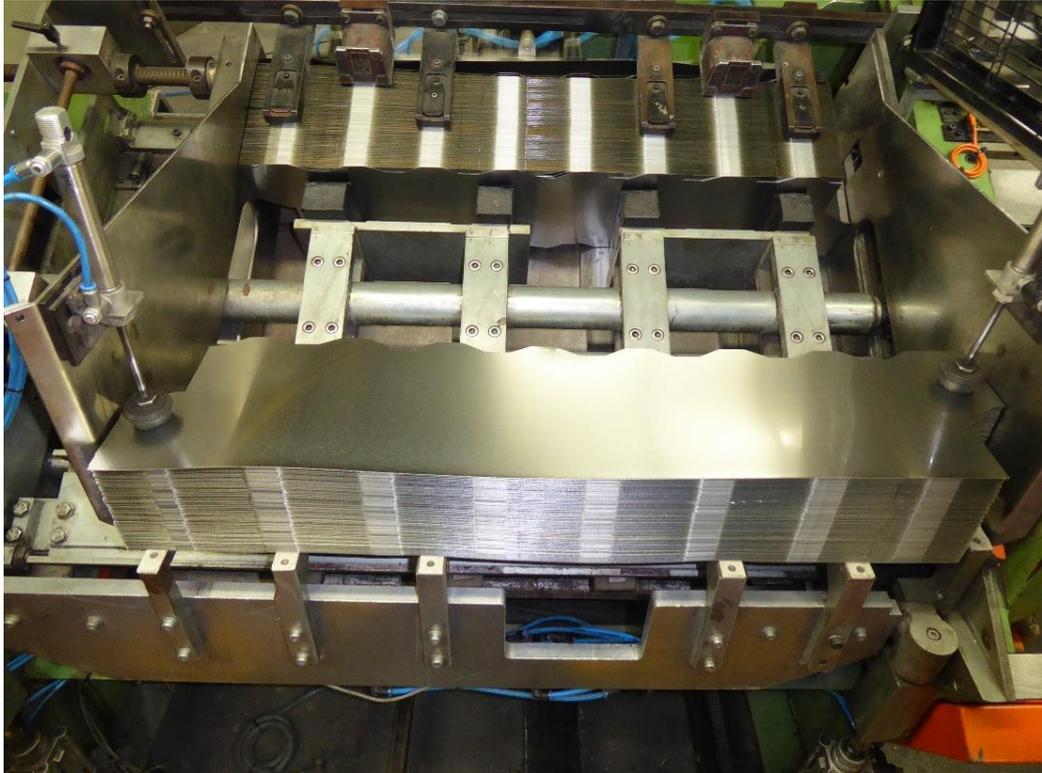


Figura 11. Tiras de hojalata previa prensa

Una vez la hojalata está cortada pasará por una prensa que realizará la tapa saliendo esta con un diámetro ligeramente superior al definitivo y con un rebordeo totalmente a 90 grados. Posteriormente, la tapa cae en una rulina que gira a una velocidad continua donde están presentes unas cerchas con una garganta donde se introducirá la tapa en un lado y otro. La primera cercha se encargará de moldear el borde para evitar que en el resto de recorrido se rebordee más de lo necesario y salga defectuosa la tapa. La tapa continuará girando un par de vueltas donde ya únicamente cogerá la forma de circunferencia reduciendo su diámetro inicial ( $D_i > D_f$ ) se realizará el rebordeo y se le dará el diámetro final que va a tener el formato que se esté trabajando. Finalmente pasará al engomado donde las tapas girarán de forma continua mientras unas pistolas engomadoras añadirán la goma necesaria para el cierre hermético en la línea de envase o por parte del cliente.

**PRUEBA PILOTO DE CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS EN LA SECCIÓN DE FÁCIL  
APERTURA DE AUXILIAR CONSERVERA**



Figura 12. Tapa finalizada y tapa iniciada (de derecha a izquierda)

Esta tapa básica ya conformada se paletizará en jaulas metálicas que posteriormente se despaletizará en la sección de FA dando así comienzo al proceso.

**PRUEBA PILOTO DE CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS EN LA SECCIÓN DE FÁCIL  
APERTURA DE AUXILIAR CONSERVERA**

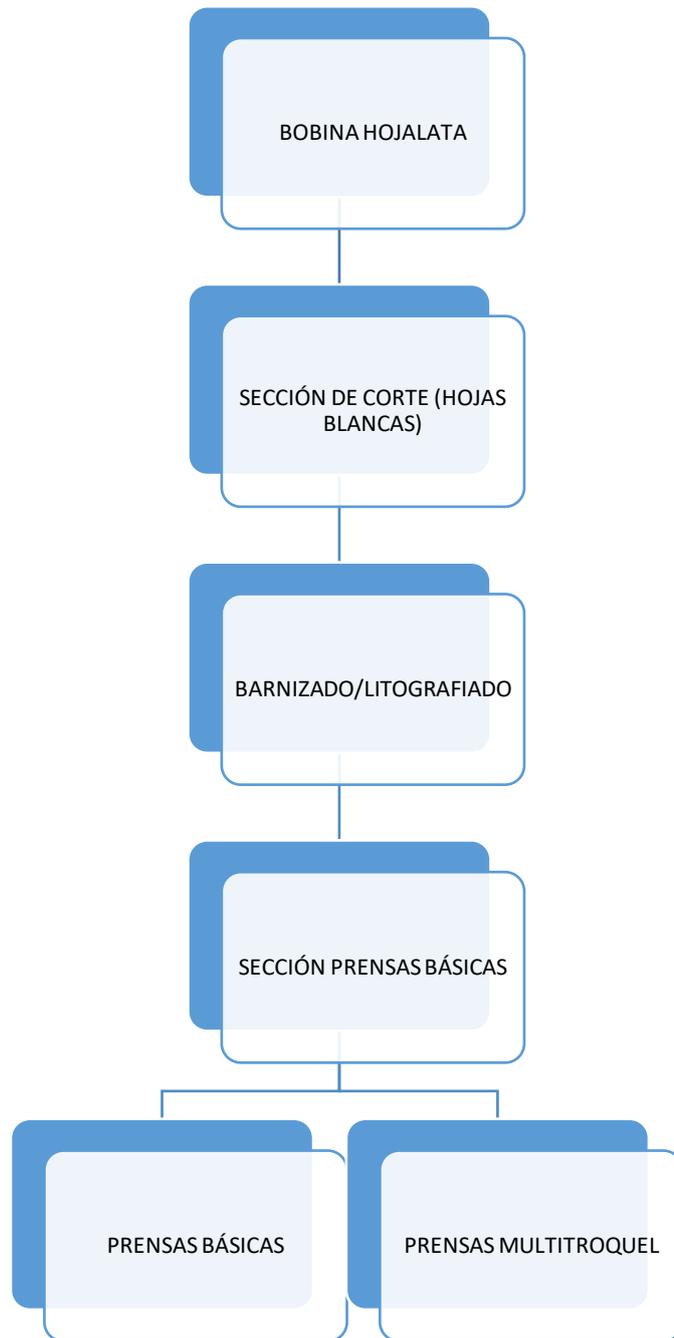


Figura 13. Esquema proceso previo FA

**PRUEBA PILOTO DE CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS EN LA SECCIÓN DE FÁCIL  
APERTURA DE AUXILIAR CONSERVERA**

### 3.3 PRENSAS FÁCIL APERTURA

Esta sección tiene como finalidad generar un panel que actúe como muelle que soporte los procesos térmicos del cliente así como la colocación de anilla y la formación de una incisión que facilitará al cliente la apertura del bote. El orden del proceso queda definido de la siguiente manera:

- Despaletizador
- Prensa
- Rebarnizadora y horno
- Visión
- Paletizador

#### DESPALETIZADOR

Este proceso comienza con una primera máquina que despaletizará las jaulas procedentes de la sección anterior. El objetivo es el mismo, ir deshaciendo estas jaulas e ir introduciéndolas en un transporte cordón, o un transporte de cinta magnética y flotador para que entren en las prensas.

**PRUEBA PILOTO DE CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS EN LA SECCIÓN DE FÁCIL  
APERTURA DE AUXILIAR CONSERVERA**



Figura 14. Despaletizador

## PRENSA

Poseen interiormente un troquel de tapa y un troquel de anilla. Son prensas de alta velocidad (entre 300 y 500 golpes por minuto) y de gran tonelaje (entre 100 y 125 toneladas). En el interior de la prensa, en función del tipo, puede haber 2, 3 o cuatro vías de tapa cada una formada por 6, 7 u 8 estaciones. Existe un troquel de anillas que procesa un fleje de diferente anchura en función de la prensa pero de igual espesor, electrozincado ya que la anilla no será rebarnizada posteriormente de forma completa.

**PRUEBA PILOTO DE CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS EN LA SECCIÓN DE FÁCIL  
APERTURA DE AUXILIAR CONSERVERA**



Figura 15. Troquel de tapa

En el caso del fleje, este pasará por una sucesión de etapas para ir conformando la anilla hasta que esta quede sustentada en el fleje solamente por dos pequeñas porciones de metal. Paralelamente se produce un proceso de generación de bulbos que van preparando el material donde en la quinta o sexta operación dependiendo de la prensa, se produce el ensamblaje donde se une la anilla a la tapa.



Figura 16. Prensa Múnster

PRUEBA PILOTO DE CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS EN LA SECCIÓN DE FÁCIL  
APERTURA DE AUXILIAR CONSERVERA

El troquel de tapa y el troquel de anilla son las partes más importantes con las que cuenta una prensa a la hora de realizar una tapa. Cada uno de los troqueles cuenta con una serie de etapas a las cuales no se va a hacer mayor referencia que las siguientes. El troquel de tapa posee dos estaciones que cuentan con una importancia muy elevada. Estos son, el ensamblaje y la incisión.

ESQUEMA DE ENSAMBLAJE

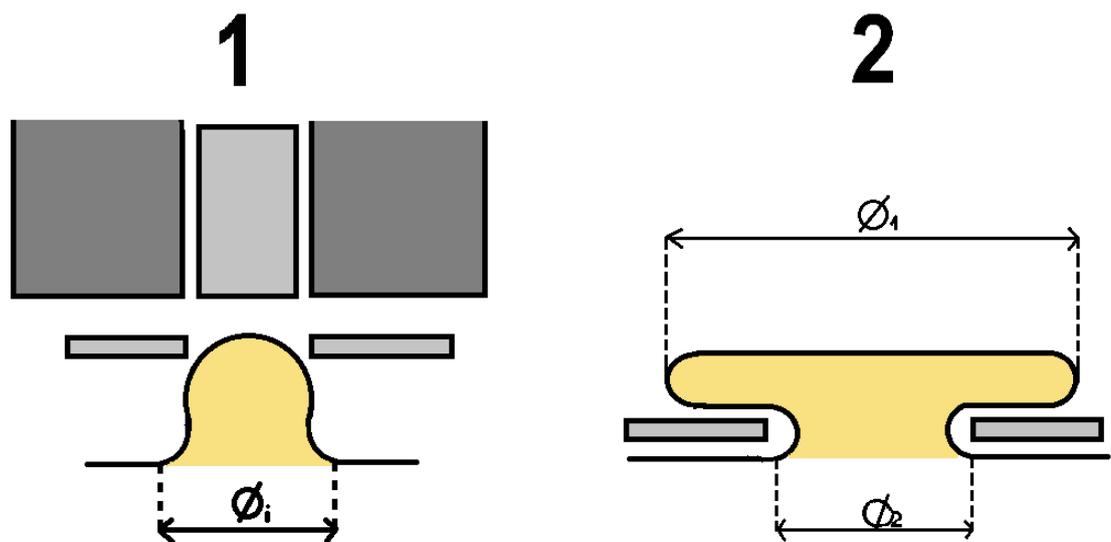


Figura 17. Ensamblaje

Como se puede observar, en el proceso n°1 se encuentra el bulbo y la anilla aún sin ensamblar. La anilla ha sido situada en su posición a través del vacío para que no se desplace ni se caiga. En el proceso n° 2 se realiza el ensamblaje, quedando  $\varnothing_1$  mayor que el diámetro  $\varnothing_2$  para la fijación.

PRUEBA PILOTO DE CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS EN LA SECCIÓN DE FÁCIL  
APERTURA DE AUXILIAR CONSERVERA

ESQUEMA DE INCISIÓN

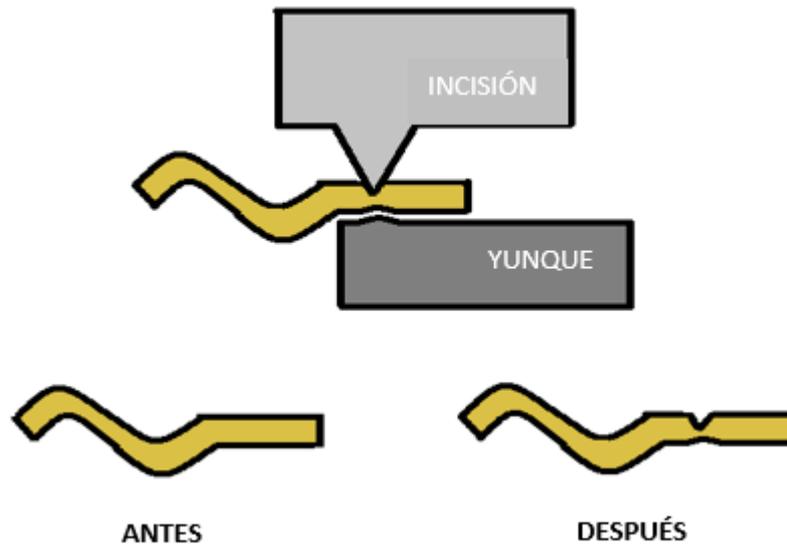


Figura 18. Esquema de incisión

En la estación de incisión, la cuchilla se introduce a cierta profundidad favoreciendo la facilidad con la que realice la apertura del bote. Está conformado de tal forma que siempre sea más sencillo de abrir desde la parte más cercana a la anilla que en el lado opuesto. Esto se debe al juego con el material residual que se deja en un lado y otro para que, el cliente nunca se quede con la anilla ni con la tapa en la mano.

REBARNIZADORA Y HORNO

Una vez la tapa sale de la prensa va hacia la rebarnizadora a través de unos transportes ya que es necesario volver a barnizar la tapa en aquellos puntos donde se haya podido dañar o donde se haya dejado la hojalata o el TFS vivo, que sería la incisión y el remache. Esto lo realizan unas pistolas barnizantes que giran barnizando así todo lo necesario. Posteriormente pasa por un horno para el curado del barniz.

**PRUEBA PILOTO DE CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS EN LA SECCIÓN DE FÁCIL  
APERTURA DE AUXILIAR CONSERVERA**

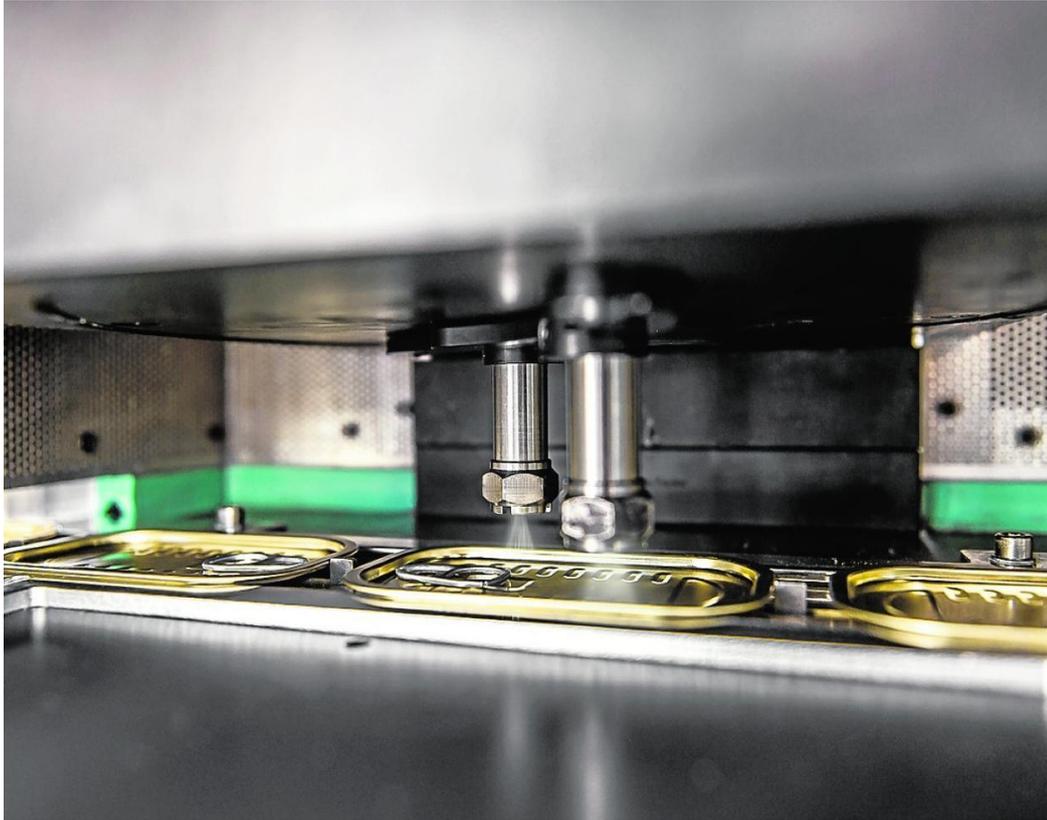


Figura 19. Pistola rebarnizadora

## VISIÓN

A continuación tendrá que pasar por la inspección de una cámara de visión que rechazará aquellas tapas que tienen algún defecto ultravioleta por defecto de barniz o visible por causas como anilla movidas de anilla golpe bollado etc.

**PRUEBA PILOTO DE CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS EN LA SECCIÓN DE FÁCIL  
APERTURA DE AUXILIAR CONSERVERA**



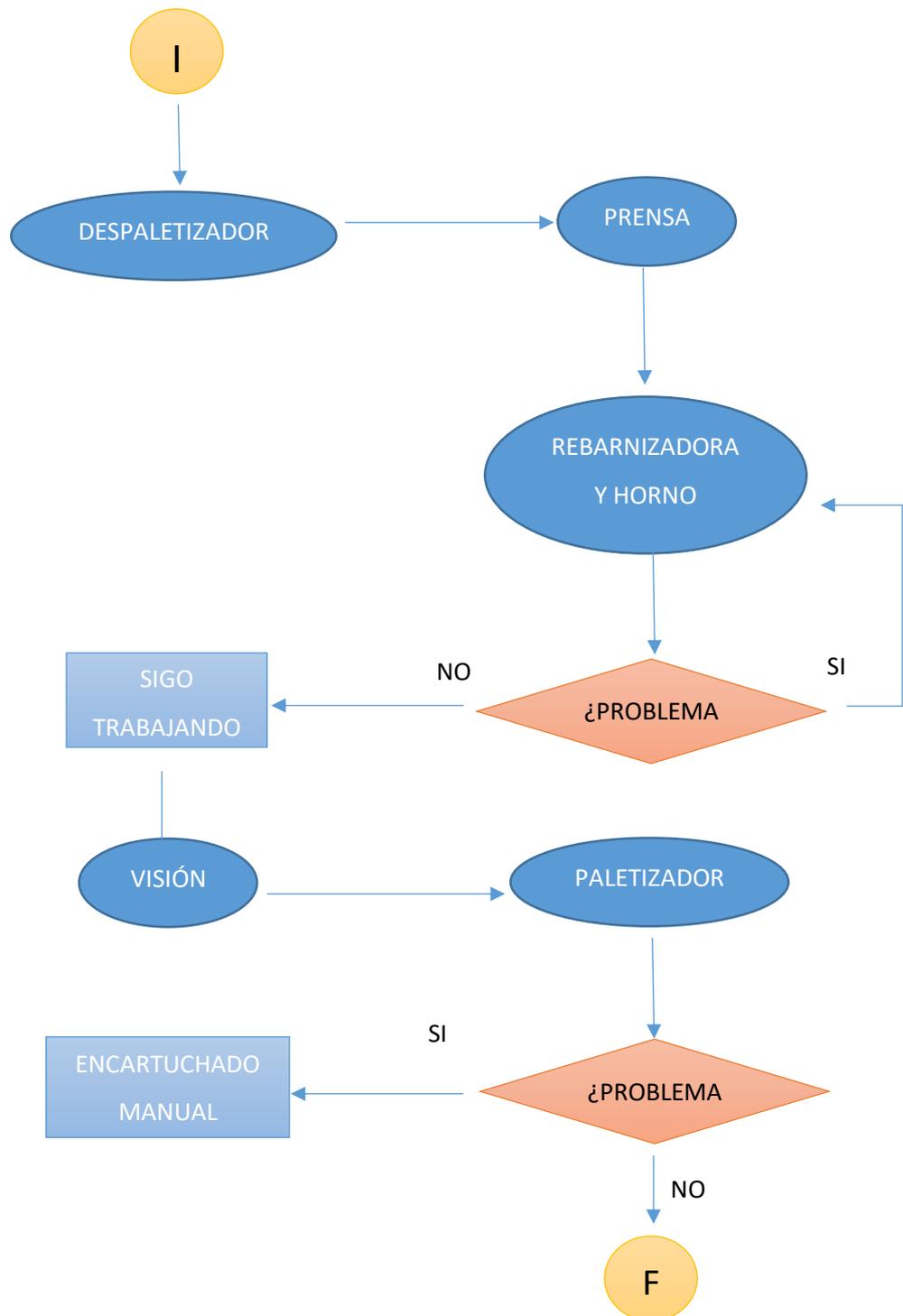
Figura 20. Tapa sin y con barniz (de izquierda a derecha)

### PALETIZADOR

Finalmente pasa por un paletizador poniendo las tapas en cartucho y estos en palés. Cada línea es llevada por tres personas y el objetivo es que se produzca el menor número de paradas en la prensa. Por ello se cuenta con diferentes salidas en distintos puntos de la línea. Si se para la rebarnizadora, hay una salida de tapas sin barniz que luego se reprocesará ante paradas de prensa. Si se produce una parada de paletizador habrá una salida a mesa de encartuchado manual donde se realizará el pale de forma manual por parte de los operarios.

#### 3.3.1 ESQUEMA FA

**PRUEBA PILOTO DE CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS EN LA SECCIÓN DE FÁCIL  
APERTURA DE AUXILIAR CONSERVERA**



Como bien se ha podido observar en la página anterior, se trata del esquema del proceso en la sección de FA. Este proceso se rige en base al correcto o no, funcionamiento de cada una de las máquinas.

**PRUEBA PILOTO DE CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS EN LA SECCIÓN DE FÁCIL  
APERTURA DE AUXILIAR CONSERVERA**

#### 4. MINITAB

Hoy en día y tras los últimos años, Internet se ha convertido en la herramienta más potente en cuanto a datos se refiere. La continua necesidad de guardar e intercambiar y analizar cantidades ingentes de datos ha hecho que paquetes estadísticos como Minitab hayan sido creados con este fin. Un nuevo paradigma en cuanto al manejo de datos, precisión numérica y representación visual de los mismos. El uso de este tipo de herramientas estadísticas ha permitido obtener información a la cual antes no se tenía acceso con tanta facilidad.

Se cuentan ya varias décadas desde el nacimiento de Minitab y numerosas son las empresas que trabajan con él. La facilidad de manejo así como la perfección en sus algoritmos han hecho de este programa un recurso a tener muy en cuenta.

Como bien se sabe, todo proceso productivo se marca unos límites de especificación en torno a los cuales se ha de trabajar. Esto es, los parámetros de calidad que el producto debe cubrir para satisfacer al cliente. ¿Por qué se trabaja de esta manera? Con el fin de cumplir ciertas garantías y que a su vez el cliente pueda cubrir las suyas. Previamente a este paso de satisfacer al cliente, es necesario un trabajo de diseño y estudio del entorno en el que se va a trabajar. ¿Se es capaz de garantizar la calidad impuesta? ¿Cómo llevarlo a cabo? Primeramente se trabajan los límites de control de calidad del cliente. La empresa ha de ser capaz de diseñar el proceso tal que fabrique unidades dentro de las especificaciones impuestas y además sea estable. Esto se determina mediante el estudio estadístico de diseño y compra, pues se necesita conocer qué máquinas van a ser capaces de garantizar estos mínimos. Y no sólo eso, no se puede trabajar sobre los límites de especificación de calidad impuestos por el cliente, sino que debe de existir una tolerancia a partir de la cual uno es capaz de asegurar con cierta fiabilidad que aunque el producto se desvíe de esos parámetros, es capaz de asegurar la especificación del cliente. Estos son los límites de control de calidad internos de cada proceso. Este baremo, se ve aún más acotado por unos límites de control preestablecidos, para así crear un segundo cinturón de calidad que prácticamente nunca falle y se produzcan así lotes fuera de especificación

**PRUEBA PILOTO DE CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS EN LA SECCIÓN DE FÁCIL APERTURA DE AUXILIAR CONSERVERA**

que conlleve pérdidas de capital. Estos se conocen como los límites de control. A continuación se detalla en un gráfico para que quede más claro:

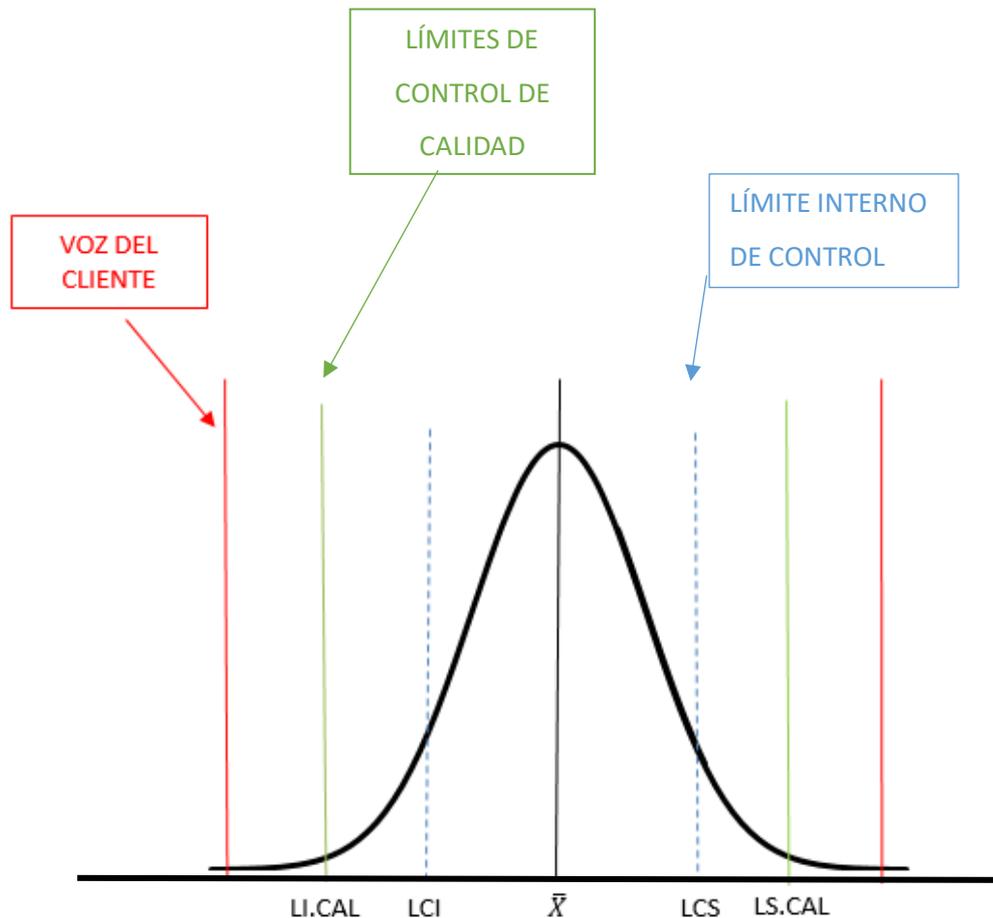


Figura 21. Límites de Control

#### 4.1 GRÁFICOS DE CONTROL

¿Qué son y cómo se construyen?

Dentro del paradigma SPC, los gráficos de control son una herramienta muy importante. Como se ha podido mencionar anteriormente, la estabilidad del proceso no se alcanza de

## **PRUEBA PILOTO DE CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS EN LA SECCIÓN DE FÁCIL APERTURA DE AUXILIAR CONSERVERA**

forma natural actuando bajo control sino que es la utilización de dichos gráficos los que proporcionará un estado de control en el proceso.

Los gráficos de control como el propio nombre indica son gráficas que reflejan la variabilidad en un proceso mediante la extracción y posterior medición de dichas muestras. Este gráfico lo componen varias líneas trazadas por el propio software Minitab o elaboradas mediante cálculos matemáticos basados en variables estadísticas como son la media y la desviación típica. Se menciona la línea central la cual representa el valor nominal en la cual el proceso es basado (media) y que está delimitada por los límites de control superior (en adelante LCS) y los límites de control inferior (en adelante LCI), que definen la variabilidad de la media en función de la desviación típica del proceso. Si la toma de muestras extraída presenta un valor que se encuentra entre dichos límites se dice que el proceso está bajo control, si no es así, fuera de control.

Existen dos tipos de causas para las variaciones en un proceso productivo:

- Causa especial
- Causa común

### **4.2 CAUSAS COMUNES Y ESPECIALES DE VARIACIÓN**

Se dice que un proceso se encuentra bajo control estadístico cuando se encuentra bajo influencias comunes o fortuitas y es conocido como Sistema estable de causas comunes. Se conocen por causas comunes aquellas que son inherentes al proceso, que cuentan con una distribución estable y recurrente en el tiempo.

En cualquier proceso de producción, siempre existirá una cantidad de variabilidad inherente o natural pues no existe ningún proceso perfecto, ni que cuente con el mejor de

## PRUEBA PILOTO DE CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS EN LA SECCIÓN DE FÁCIL APERTURA DE AUXILIAR CONSERVERA

los mantenimientos y que cuyo diseño no presente anomalía alguna. Esta cantidad de pequeñas anomalías se conocen por Causas Comunes, las cuales van a generar un ruido de fondo en el entorno pero que, dicha variación se encontrará bajo control estadístico. Se entiende por Causas Especiales o Causas Asignables a aquellos factores que no siempre intervienen en el proceso. Representan en el proceso otro tipo de fallos tales como... materia prima defectuosa, descontrol y desajuste en las máquinas o errores del propio operador de la fábrica. Dichos factores pueden ser irregulares, imprevisibles estadísticamente hablando y reincidente si no se adopta la medida correctiva adecuada. Normalmente mediante acciones locales se solventan las Causas Especiales, pero si se trata de las Causas Comunes implicaría la acción por parte de la Dirección de la Empresa. En términos porcentuales, aproximadamente el 85% de causas son solucionadas por parte de la Dirección mientras que el 15% se pueden solventar localmente.

Uno de los objetivos de este control estadístico reside en la detección y la pronta resolución de estas causas especiales para evitar que se produzca mucho material bajo este tipo de causa, ya que podría ser defectuoso. Siendo este rechazado por el cliente y consecuentemente conlleve una pérdida de capital. Los gráficos de control son una técnica de monitorización de un proceso y que permite estimar la capacidad de un proceso. La meta final del SPC reside en eliminar la variabilidad del sistema. Es un objetivo utópico pero hay que tratar de alcanzar el método que más le siga de cerca.

### 4.3 CONSTRUCCIÓN GRÁFICOS DE CONTROL

El software Minitab permite la construcción tanto automática como manual de los gráficos de control en función de las necesidades de cada uno. Como ya se sabe, la construcción automática es la más sencilla pero en muchos casos no es la mejor solución. De acuerdo a la consecución de unos resultados fiables y que se ajusten a las necesidades de trabajo, se ha optado el camino manual.

**PRUEBA PILOTO DE CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS EN LA SECCIÓN DE FÁCIL  
APERTURA DE AUXILIAR CONSERVERA**

- PREPARACIÓN Y USO DE LOS GRÁFICOS  $\bar{x}$  y R

Cuando se trata de los gráficos de control lo correcto sería comenzar con el gráfico R. Puesto que es la dispersión la que afecta al gráfico  $\bar{x}$ , los límites no tendrían mucho sentido a menos que la dispersión estuviese bajo control.

Gráfico de control  $\bar{R}$

-Conociendo con anterioridad los valores de media ( $\mu$ ) y desviación típica ( $\sigma$ ):

Es necesaria la estimación de la desviación típica, bien a partir de los recorridos de las 'm' muestras o bien a partir de las desviaciones típicas  $\sigma$  para construir

Los límites de control.

-Rango/Recorrido:

$$R = x_{max} - x_{min}$$

-Rango/Recorrido promedio:

$$\bar{R} = \frac{R_1 + R_2 + \dots + R_m}{m}$$

Límites de control para Rango/Recorrido:

-Límite de control superior:  $LCS_R = D_4 \bar{R}$

-Línea central:  $LC = \bar{R}$

-Límite de control inferior:  $LCL_R = D_3 \bar{R}$

**PRUEBA PILOTO DE CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS EN LA SECCIÓN DE FÁCIL  
APERTURA DE AUXILIAR CONSERVERA**

Donde los valores  $D_3$  y  $D_4$ , pertenecen a la tabla adjunta en el anexo.

Gráfico de control  $\bar{x}$

-Conociendo con anterioridad los valores  $\mu$  y  $\sigma$ :

Supongamos que una característica de la calidad sigue una distribución normal con media  $\mu$  y desviación típica  $\sigma$ , ambas conocidas. Si  $x_1 + x_2 + \dots + x_n$ , es una muestra de tamaño  $n$ , entonces la media de la muestra es:

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n}$$

Por el teorema del límite central, los límites de control se podrían establecer mediante este par de fórmulas:

$$\text{LCS: } \mu + 3\sigma_{\bar{x}} = \mu + 3\frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

$$\text{LCI: } \mu - 3\sigma_{\bar{x}} = \mu - 3\frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

Siendo la desviación estándar:

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

**PRUEBA PILOTO DE CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS EN LA SECCIÓN DE FÁCIL  
APERTURA DE AUXILIAR CONSERVERA**

Se ha supuesto que la característica de la calidad se rige bajo una distribución normal. Sin embargo, debido al Teorema del Límite Central, si la distribución original no se rigiera bajo un principio de normalidad, sería aceptado igualmente

-Desconociendo los valores  $\mu$  y  $\sigma$ :

En la práctica normalmente no se conocen los valores de la media y desviación típica que han de calcularse a partir de muestras o subgrupos tomadas una vez considerado que el proceso esté bajo control.

Para que el estudio presente fundamento se ha de realizar al menos a 20 o 25 muestras o subgrupos de 3 a 6 observaciones. Se propone lo siguiente, contando con  $m$  muestras, cada una de las cuales contiene  $n$  observaciones de la característica de calidad a estudiar basado en lo siguiente:

Sean  $\bar{x}_1, \bar{x}_2 \dots \bar{x}_m$  los promedios de cada muestra. Por lo tanto el mejor estimador de la media es la gran media  $\bar{\bar{x}}$ :

$$\bar{\bar{x}} = \frac{\bar{x}_1 + \bar{x}_2 + \dots + \bar{x}_m}{m}$$

Donde  $\bar{\bar{x}}$  se utilizaría como la línea central (LC) del gráfico. Mientras que los límites de control se definirían de la siguiente manera:

$$LSC_{\bar{\bar{x}}} = \mu + 3 \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

$$LIC_{\bar{\bar{x}}} = \mu - 3 \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

**PRUEBA PILOTO DE CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS EN LA SECCIÓN DE FÁCIL  
APERTURA DE AUXILIAR CONSERVERA**

Designando como  $\bar{\sigma}$  a una estimación de  $\sigma$ , se puede obtener de la siguiente manera:

$$\bar{\sigma} = \frac{\bar{R}}{d_2}$$

Donde  $\bar{R}$  es la media de los recorridos y  $d_2$  es un coeficiente tabulado cuyo valor depende de los grados de libertad con los que se ha obtenido  $\bar{R}$  (número de subgrupos  $m$  y el tamaño de los mismos  $n$ ). Tabla en anexos.

Por tanto sustituyendo  $\sigma$  por  $\bar{\sigma}$ , los límites de control quedarían de la siguiente manera:

$$LCS_{\bar{x}} = \mu + 3 \frac{\bar{R}}{d_2 \sqrt{n}}$$

$$LCI_{\bar{x}} = \mu - 3 \frac{\bar{R}}{d_2 \sqrt{n}}$$

#### 4.4 CÁLCULO GRÁFICOS DE CONTROL

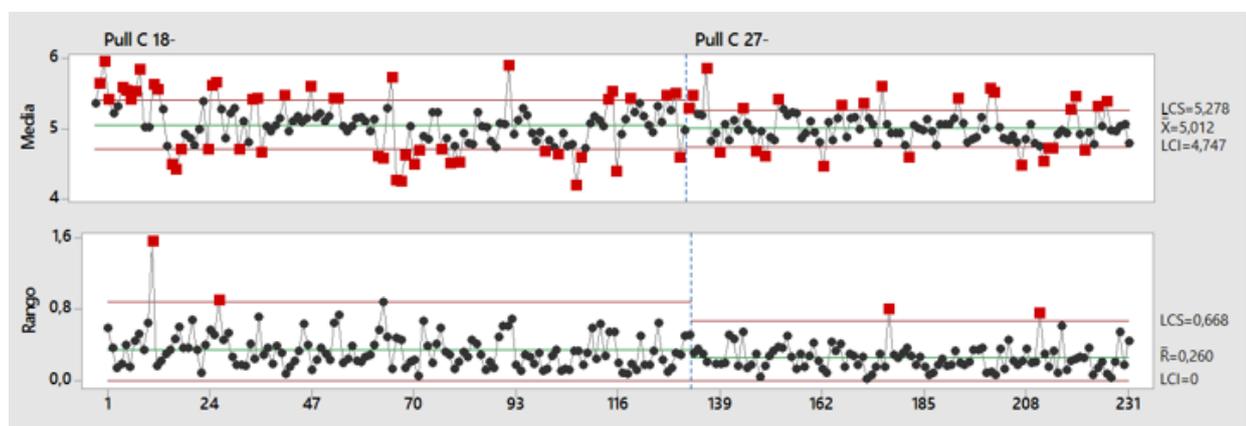


Figura 22. Límites de control

**PRUEBA PILOTO DE CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS EN LA SECCIÓN DE FÁCIL  
APERTURA DE AUXILIAR CONSERVERA**

Como bien se puede observar en la imagen, este gráfico de control muestra una serie de valores que van a ser a continuación calculados de forma manual a través de las fórmulas anteriormente presentadas. Se van a realizar los cálculos para el período temporal que abarca del 27 de Febrero al 2 de Marzo.

Los cálculos que se van a realizar son los siguientes:

- Para la media:

$$-LCS_{\bar{X}} = 5.278$$

$$-\bar{X} = 5.012$$

$$-LCI_{\bar{X}} = 4.747$$

- Para el Rango/Recorrido:

$$-LCS_R = 0.668$$

$$-\bar{R} = 0.260$$

$$-LCI_{\bar{R}} = 0$$

Tabla resultados Excel.

Para el gráfico de la media:

$\bar{R}_{VIA_C}$	0,2683
$\sigma_{VIA_C}$	0,1585
$\bar{X}_{VIA_C}$	5,0064

**PRUEBA PILOTO DE CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS EN LA SECCIÓN DE FÁCIL  
APERTURA DE AUXILIAR CONSERVERA**

$LCS_{\bar{x}VIA_C}$	5,2809
$LCI_{\bar{x}VIA_C}$	4,7318

$$\bar{\sigma} = \frac{0.2683}{1.693} = 0.1585$$

$$LCS_{\bar{x}} = \mu + 3 \frac{\bar{R}}{d_2 \sqrt{n}}$$

$$LCI_{\bar{x}} = \mu - 3 \frac{\bar{R}}{d_2 \sqrt{n}}$$

$$\bar{\bar{x}} = LC$$

$d_2$  obtenido de tabla adjuntada anexo

$$LSC_{\bar{x}} = 5.0064 + 3 * \frac{0.2683}{1.6930\sqrt{3}} = 5.2744$$

$$LCI_{\bar{x}} = 5.0064 - 3 * \frac{0.2683}{1.6930\sqrt{3}} = 4.7319$$

$$\bar{\bar{x}} = 5.0064$$

Para gráfica del Rango/Recorrido:

**PRUEBA PILOTO DE CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS EN LA SECCIÓN DE FÁCIL  
APERTURA DE AUXILIAR CONSERVERA**

$LCS_{\bar{R}VIA_C}$	0.6910
$LCI_{\bar{R}VIA_C}$	0

$$R = x_{max} - x_{min}$$

$$\bar{R} = \frac{R_1 + R_2 + \dots + R_m}{m}$$

$$LCS_R = D_4 \bar{R}$$

$$LC = \bar{R}$$

$$LCI_R = D_3 \bar{R}$$

$D_3$  y  $D_4$  obtenido de tabla adjuntada anexo

$$LCS_R = 2.5750 * 0.2683 = 0.6910$$

$$LC = 0.2683$$

$$LCI_R = 0 * 0.2683 = 0$$

Como se puede observar en los cálculos de los límites en el gráfico de control, los resultados son muy parejos, que no iguales, debido a la forma de redondeo y truncamiento de los respectivos software.

Al comienzo del proyecto se mencionó la Estadística Inferencial como una de las bases de este proyecto, siendo una parte de la estadística en la que el factor humano iba a tomar una gran responsabilidad.

#### 4.5 ESTADÍSTICA INFERENCIAL

La estadística inferencial es la otra parte de la estadística que no es la estadística descriptiva, que utiliza muestras extraídas de una población para comprobar y verificar las hipótesis planteadas. Este valor se representa mediante probabilidad. Esto es, se plantea un contraste de hipótesis con un grado de aceptación definido según un intervalo de confianza y regido mediante el p-valor. Dichas muestras podrán verificar que la población cumple con la hipótesis planteada en un caso, por ejemplo, al 95% de fiabilidad y un p-valor mayor que el nivel de significación escogido ( $\alpha$ , cuyo valor va de la mano con el intervalo de confianza). Uno de los puntos complicados de esta estrategia se encuentra en la óptima elección de la prueba a realizar. ¿Cuál es el objetivo a seguir? ¿Con qué tipo de datos se trabaja? Es necesario tener en cuenta los siguientes puntos:

1º ¿Cuál es el objetivo?

Respondiendo a la primera pregunta planteada, hemos de plantear dos tipos de técnicas.

¿Asociación o comparación?

- Asociación: Uno se puede hacer las siguientes preguntas, ¿cómo se encuentran relacionadas o qué tan fuerte es esta relación entre las variables que se quieren poner bajo estudio? ¿Qué pasaría si se incluyera una tercera variable?
- Comparación: En este caso, ¿qué variabilidad presentan las variables a estudiar? Si realizando una comparativa entre dos poblaciones distintas, ¿cuán diferentes son? ¿Existe una interacción entre ellas?

¿Qué tipo de muestra?

Otro parámetro a tener en cuenta sería el tipo de muestra que presenta nuestra muestra.

Estos son los tipos de muestra existentes:

-Muestras independientes: Como el propio nombre indica, cada muestra corresponde a un caso diferente.

**PRUEBA PILOTO DE CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS EN LA SECCIÓN DE FÁCIL  
APERTURA DE AUXILIAR CONSERVERA**

-Muestras apareadas (o relacionadas): En este caso se manejan varias observaciones del mismo caso. Este tipo de pruebas se realizan en casos donde la variable tiempo interviene antes y después, temporalmente hablando.

## 2° Tipo de datos

¿Qué tipo de variables representan?

Aunque esta pregunta parece obvia, ha de ser mencionado lo siguiente. Si el tipo de dato con el que se trabaja representa cualidades se define como categórica. Al contrario, si representa números, numéricas.

Otra pregunta que se debe hacer es la siguiente, ¿Los supuestos clásicos se cumplen? Cuando se trabaja de forma real, con datos verídicos extraídos de una población en un proceso determinado, estos supuestos no se suelen cumplir en su totalidad. Hablamos de los supuestos de normalidad, homogeneidad e independencia. Por ello se aplicarán un tipo de pruebas u otras. Estas son las pruebas paramétricas, no paramétricas o robustas.

Razones para emplear pruebas paramétricas:

- Son posiblemente válidas estas pruebas si la población es superior a 30 muestras y se encuentran afines a la Campana de Gauss.
- Si no existe una alta variabilidad en la homogeneidad de los datos.

Razones para emplear pruebas no paramétricas:

- Cuando la exigencia de supuestos como la simetría o continuidad es poco variable.
- Tamaño pequeño de muestra.
- Cuando analizamos datos ordinales o de rango.

Las pruebas robustas se utilizan en su defecto cuando la variabilidad en términos de normalidad y homogeneidad es pequeña. Este tipo de prueba es potente y se puede utilizar tanto si se cumplen o no los supuestos clásicos antes mencionados.

**PRUEBA PILOTO DE CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS EN LA SECCIÓN DE FÁCIL  
APERTURA DE AUXILIAR CONSERVERA**

		Tipo de datos			
		Numéricos (gaussiana)	Ordinal o numérica (no gaussiana)	Numéricos (outliers)	Nominal binaria (2 resultados posibles)
Objetivo	Comparar 2 grupos independientes	Prueba t para 2 muestras independientes	Prueba de Mann-Whitney	Prueba de Yuen para muestras independientes	Prueba de Fisher o Chi-cuadrado (para muestras grandes)
	Comparar 2 grupos relacionados	Prueba t para 2 muestras relacionadas	Prueba de Wilcoxon para muestras relacionadas	Prueba de Yuen para muestras relacionadas	Prueba de McNemar
	Comparar 3 o más grupos independientes	ANOVA de 1-vía para muestras independientes	Prueba de Kruskal-Wallis	ANOVA robusto de 1-vía para muestras independientes	Prueba Chi-cuadrado
	Comparar 3 o más grupos relacionados	ANOVA de 1-vía para muestras relacionadas	Prueba de Friedman	ANOVA robusto de 1-vía para muestras relacionadas	Prueba Q de Cochran
	Asociar 2 variables	Correlación de Pearson	Correlación de Spearman o Kendall	Correlación robusta	Coefficiente V de Cramer

Figura 23. Diferentes tipos de pruebas.

En este cuadro se puede observar que, dependiendo del tipo de dato y el objetivo a seguir, será empleada una u otra prueba. No se adentrará en este proyecto a la definición y clasificación de determinadas pruebas que se consideran innecesarias por la validez de los datos bajo criterios de normalidad con los que se trabaja. Sin embargo, pruebas como la Prueba t de 1 muestra, es necesaria su comprensión pues es imprescindible en el día a día.

## 5. PRUEBAS TEÓRICAS MINITAB

En el software Minitab se cuenta con numerosas opciones y pruebas con las que trabajar los datos. Debido a las necesidades existentes en este proyecto y los datos con los que se cuenta, se realizarán las siguientes pruebas:

**PRUEBA PILOTO DE CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS EN LA SECCIÓN DE FÁCIL  
APERTURA DE AUXILIAR CONSERVERA**

- Prueba t de 1 muestra
- Análisis de capacidad y estabilidad
- Estudio de potencia
- Estudio R&R

### 5.1 PRUEBA t DE 1 MUESTRA (CONTROL POR 1T)

La función de la prueba t de 1 muestra consiste en estimar la media de una población con el valor objetivo a seguir. Se trata de un proceso bastante denso pues es muy susceptible al supuesto de normalidad. El asistente Minitab verifica las siguientes pautas de los datos recopilados:

- Datos poco comunes: Se trata de valores atípicos que se encuentran fuera de los parámetros de estudio previamente establecidos que pueden alterar de forma significativa el resultado del estudio. Estos datos atípicos se suelen dar en la recogida de los mismos por fallos de medición, despistes o debido a comportamientos inusuales en el proceso.
- Normalidad: De acuerdo con (Soporte Minitab, 2020), la prueba t de 1 muestra se deriva bajo el supuesto de que la población está normalmente distribuida. Afortunadamente, incluso si los datos no están normalmente distribuidos, este método funciona adecuadamente cuando el tamaño de la muestra es suficientemente grande.
- Tamaño de la muestra: Como bien define (Soporte Minitab, 2020) por lo general, se realiza una prueba de hipótesis para recolectar evidencia con el fin de rechazar la hipótesis nula de que no existe diferencia. Si las muestras son demasiado pequeñas, la potencia de la prueba pudiera no ser adecuada para detectar una diferencia entre las medias que realmente existe.

**PRUEBA PILOTO DE CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS EN LA SECCIÓN DE FÁCIL  
APERTURA DE AUXILIAR CONSERVERA**

Siguiendo la base teórica pero desde un punto de vista práctico, el control por 1T ha sido, es y será un elemento muy importante de este proyecto. El control y la monitorización del proceso se basan en gráficos de control y en la prueba t de 1 muestra. Dicha prueba se realiza a través de la medición del parámetro de calidad *Pull*.

Mediante la monitorización de los patrones de datos en el gráfico de control se puede visualizar el comportamiento del proceso y de la existencia o no, de pautas de comportamiento que puedan ayudar a detectar errores en el mismo. Si existen puntos radicales fuera de control así como tendencias de datos, se realizará una prueba t de 1 muestra para comprobar si es necesario cambiar parámetros como la temperatura o calzos y si fuera necesario sacar un *Quick Response Quality Control (QRQC)* en caso de defectos en las piezas como corrosión, desajuste de anilla u otros y solventar este posible caso reincidente en el futuro.

**AJUSTE DE PARÁMETROS NECESARIO**

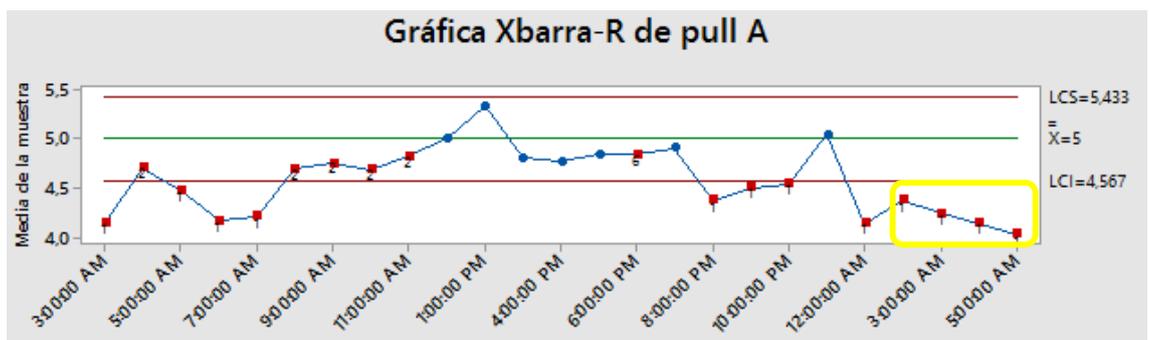


Figura 24. Tendencia en gráfico de control

Se puede ver como ante una tendencia negativa, se realiza el control 1T para el seguimiento de la media del proceso.

**PRUEBA PILOTO DE CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS EN LA SECCIÓN DE FÁCIL  
APERTURA DE AUXILIAR CONSERVERA**

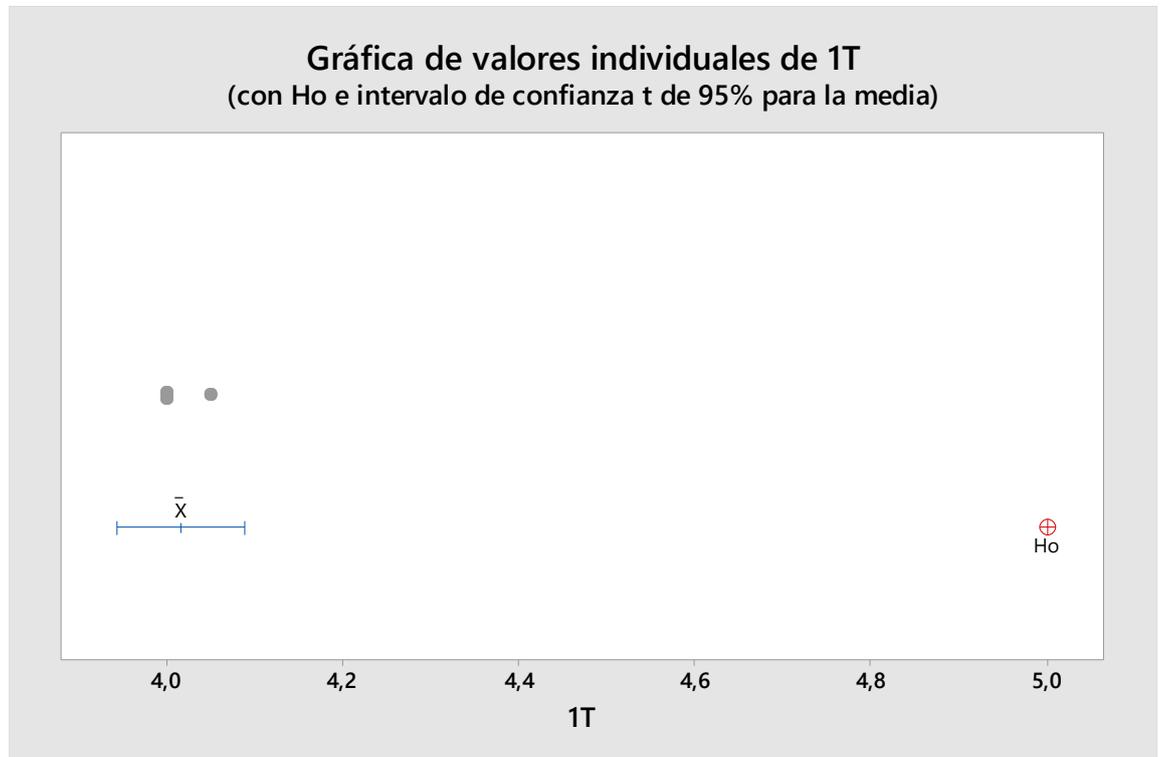


Figura 25. Prueba 1T para ajuste necesario

Esta imagen muestra que tras realizar dicha prueba,  $H_0$  (variable objetivo) se encuentra muy alejada de la media de la muestra extraída representante de la población. Tras este resultado se tomarán las medidas oportunas.

#### AJUSTE DE PARÁMETROS INNECESARIO

Asimismo en esta imagen se observa que el mismo patrón no va a necesitar ningún tipo de ajuste, ya que, respecto del mismo gráfico de control y realizando la prueba t de una muestra se obtiene lo siguiente...

PRUEBA PILOTO DE CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS EN LA SECCIÓN DE FÁCIL  
APERTURA DE AUXILIAR CONSERVERA

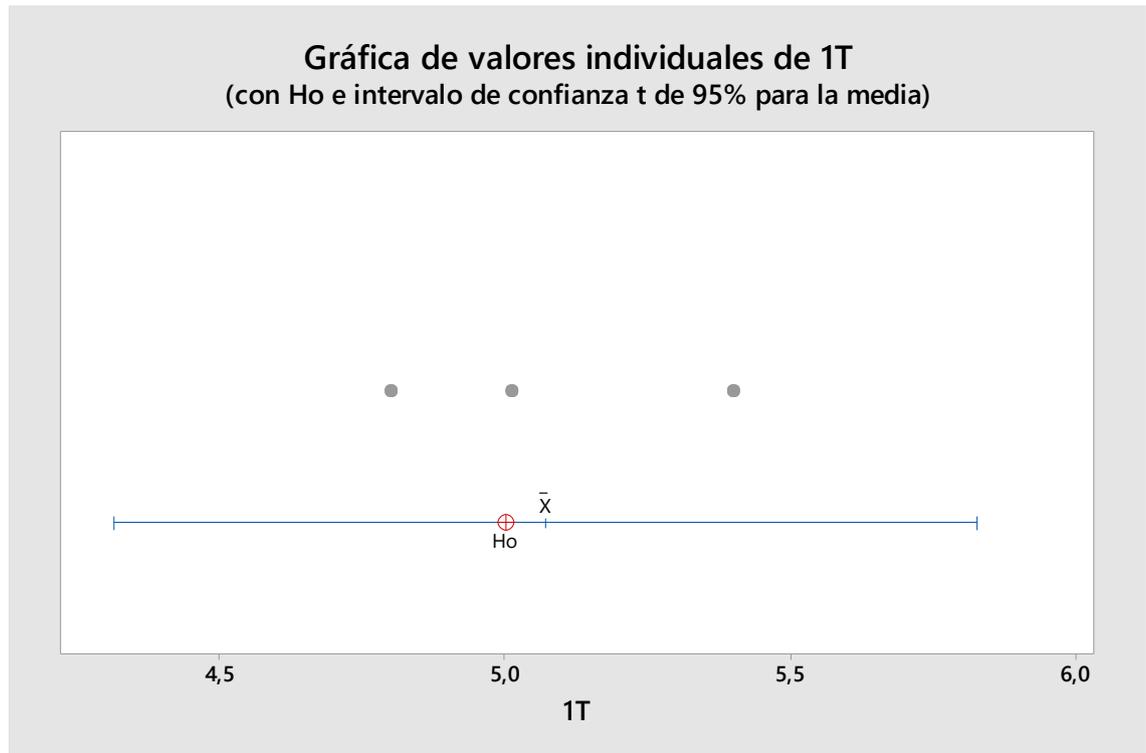


Figura 26. Prueba 1T para futuro ajuste innecesario

En este caso resulta equívoco ajustar ciertos parámetros y sobretodo lanzar un QRQC en este caso ya que estos se lanzan dados ciertos fallos tales como corrosiones, roturas, roces... Como se puede observar en la imagen, la muestra aleatoria sigue el valor objetivo  $H_0$  y por ende, esta muestra es representativa de la media del proceso. Por tanto no se podría rechazar la hipótesis nula, a pesar de la mostrada tendencia negativa.

## 5.2 ANÁLISIS DE CAPACIDAD Y ESTABILIDAD

El análisis de capacidad tiene como finalidad determinar si los requisitos de un cliente son favorables a través de la evaluación sobre si un proceso es capaz o no.

Se trata de un análisis sobre cuán capaz es un sistema a la hora de trabajar con una sola variable del mismo. Para valorar de forma correcta dicha capacidad y predecir la de un futuro cercano, los datos utilizados en este análisis han de proceder de un proceso estable y basado en una distribución normal. Es posible trabajar con un proceso no normal

## PRUEBA PILOTO DE CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS EN LA SECCIÓN DE FÁCIL APERTURA DE AUXILIAR CONSERVERA

pero teniendo en cuenta cuán asimétrico son los datos. Asimismo, es importante una carga adecuada de datos recogidos para que se le atribuya una precisión adecuada a esta evaluación. En base a lo comentado, el asistente realizará automáticamente comprobaciones en los datos de lo siguiente:

- **Estabilidad:** Para determinar con pulcritud la capacidad de un proceso. Se debe comprobar la estabilidad del proceso, el cual si no fuese estable, se identificará y eliminará aquellas causas que produzcan este problema. Se ha de basar en datos normales.
- **Normalidad:** Como no es de otra manera, queda definido por parte de soporte de (Soporte Minitab, 2020) lo siguiente: En el análisis de capacidad normal, una distribución normal se ajusta a los datos del proceso y los estadísticos de capacidad se calculan a partir de la distribución normal ajustada. Si la distribución de los datos del proceso no está cerca de la normal, estos cálculos pueden ser inexactos. La gráfica de probabilidad y la prueba de bondad de ajuste de Anderson-Darling (AD) pueden usarse para evaluar si los datos son normales.
- **Cantidad de datos:** Para realizar un correcto estudio se debe de haber recogido suficientes datos. Debido a la variabilidad de la muestra tomada de una población, los datos pueden estar lejos de la veracidad debido a una escasez de datos. Para mejorar notablemente el estudio, se tendría que aumentar el número de observaciones.

### 5.2.1 VARIABLES DE CAPACIDAD A TENER EN CUENTA A CORTO PLAZO

**C<sub>p</sub>:** Se define como el valor que representa la evaluación de la capacidad de un proceso basado en la dispersión del mismo. Esta variable muestra la capacidad que tendría un proceso si estuviera centrado si elimináramos los problemas a corto y medio plazo. Por lo general, un valor alto de C<sub>p</sub> indica que el proceso sería más capaz que en su defecto, un valor bajo.

**PRUEBA PILOTO DE CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS EN LA SECCIÓN DE FÁCIL  
APERTURA DE AUXILIAR CONSERVERA**

Cp bajo: En este caso, si la dispersión existente entre los elementos del subgrupo extraído de la población es mayor que la dispersión de especificación supondrá un Cp bajo haciendo que la capacidad del proceso sea insuficiente con respecto a la variabilidad del mismo.

Se define LEI como Límite de Especificación Inferior y LES como Límite de Especificación Superior (en adelante LEI y LES).

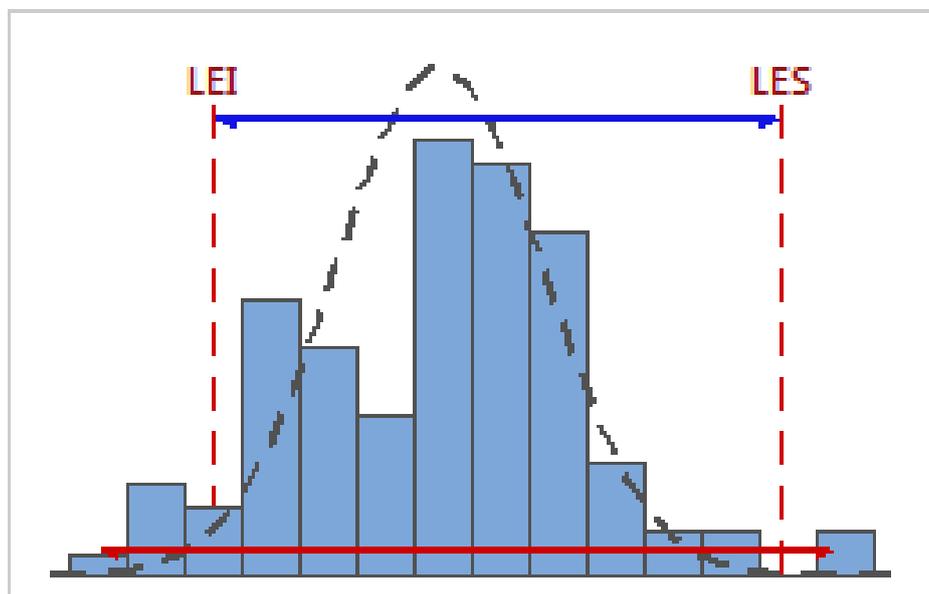


Figura 27. Cp bajo

Cp alto: en este caso ocurre al contrario. La dispersión existente en el subgrupo de las muestras extraídas de la población son menores que la propia dispersión de especificación por ende, tendremos una capacidad potencial adecuada en base al proceso y su variabilidad.

PRUEBA PILOTO DE CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS EN LA SECCIÓN DE FÁCIL  
APERTURA DE AUXILIAR CONSERVERA

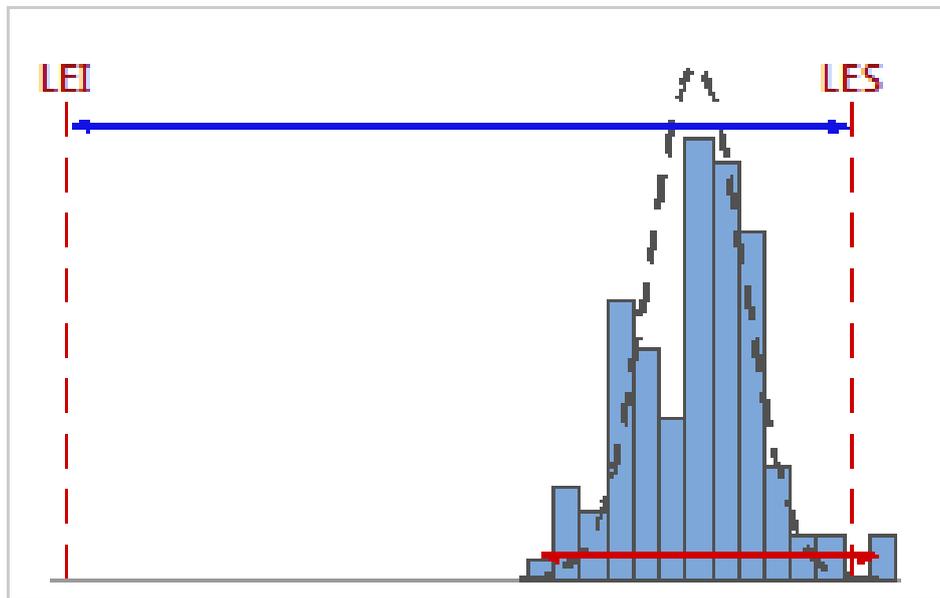


Figura 28. Cp alto

Por norma general, en la industria se utiliza como valor adecuado un Cp mayor o igual a 1,33. En el caso de que el valor fuera menor a este de referencia se tendría que tener en cuenta valorar cómo mejorar nuestro proceso en base a la variabilidad.

#### PRECACUCIÓN

Como se ha comentado anteriormente, esta variable no considera la ubicación del proceso, por lo que solamente observando este valor se podría caer en una problemática. En el siguiente ejemplo se ilustra este posible problema.

PRUEBA PILOTO DE CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS EN LA SECCIÓN DE FÁCIL  
APERTURA DE AUXILIAR CONSERVERA

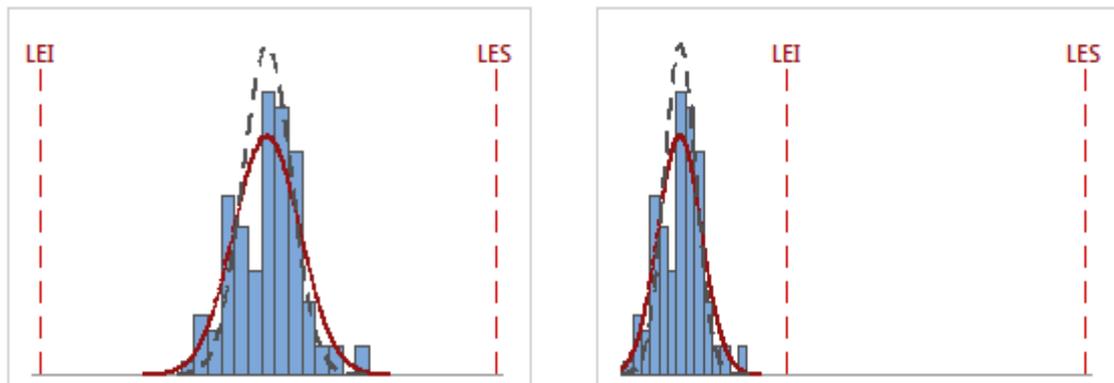


Figura 29. Desplazamiento de campana

Ambas ilustraciones cuentan con un  $C_p=3,13$ , pero no se tiene en cuenta dónde están posicionadas dichas campanas. Por tanto se debe de complementar esta variable con la siguiente de la lista.

- $C_{pk}$ : Se trata de una variable utilizada en la valoración de la capacidad potencial de un proceso, que a diferencia de la anterior si tiene en cuenta tanto la dispersión de las muestras extraídas como de la ubicación de la Campana de Gauss. Un valor de  $C_{pk}$  alto nos indica que un proceso es más capaz, sin embargo, si es bajo el proceso puede necesitar cambios.

$C_{pk}$  bajo: En este caso, (Soporte Minitab, 2020) , la distancia de la media del proceso al límite de especificación más cercano es menor que la dispersión unilateral del proceso. Por tanto el  $C_{pk} < 1,33$  es bajo, por ende, la capacidad potencial del proceso será deficiente.

PRUEBA PILOTO DE CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS EN LA SECCIÓN DE FÁCIL APERTURA DE AUXILIAR CONSERVERA

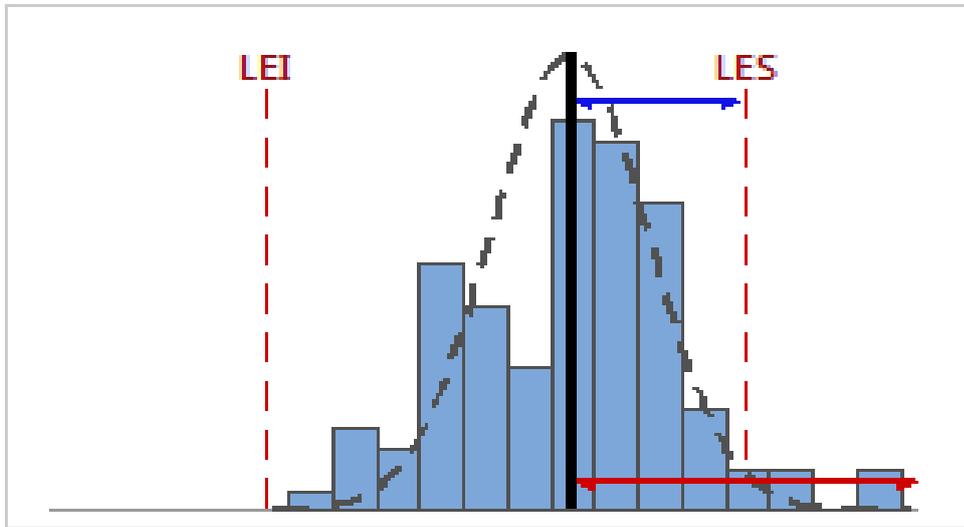


Figura 30. Cpk bajo

Cpk alto: En este caso, la dispersión unilateral del proceso es mayor que la distancia media del proceso al límite de especificación más cercano.

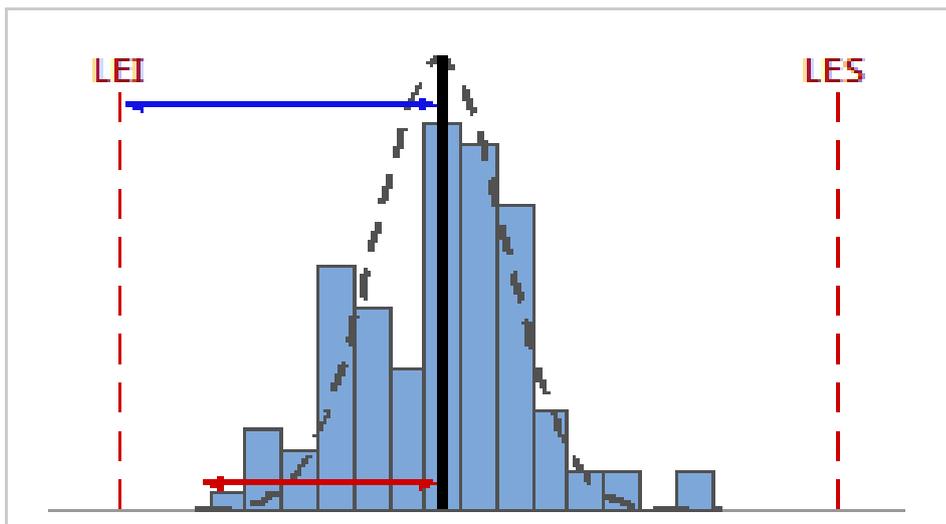


Figura 31. Cpk alto

**PRUEBA PILOTO DE CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS EN LA SECCIÓN DE FÁCIL  
APERTURA DE AUXILIAR CONSERVERA**

**CPL:** Basada en el LEI mide la capacidad potencial de un proceso. Se basa y compara lo siguiente según comenta (Soporte Minitab, 2020):

- La distancia de la media del proceso al LEI.
- La dispersión unilateral del proceso (la variación  $3\sigma$ ) con base en la desviación estándar dentro de los subgrupos.

**CPU:** Basada en LES mide la capacidad potencial de un proceso. Compara dos valores:

- La distancia de la media del proceso al LES.
- La dispersión unilateral del proceso (la variación de  $3\sigma$ ) con base en la variación dentro de los subgrupos, (Soporte Minitab, 2020).

**PRECAUCIÓN**

El índice Cpk solo tiene en cuenta un extremo de la curva del proceso sin tener en cuenta el otro:

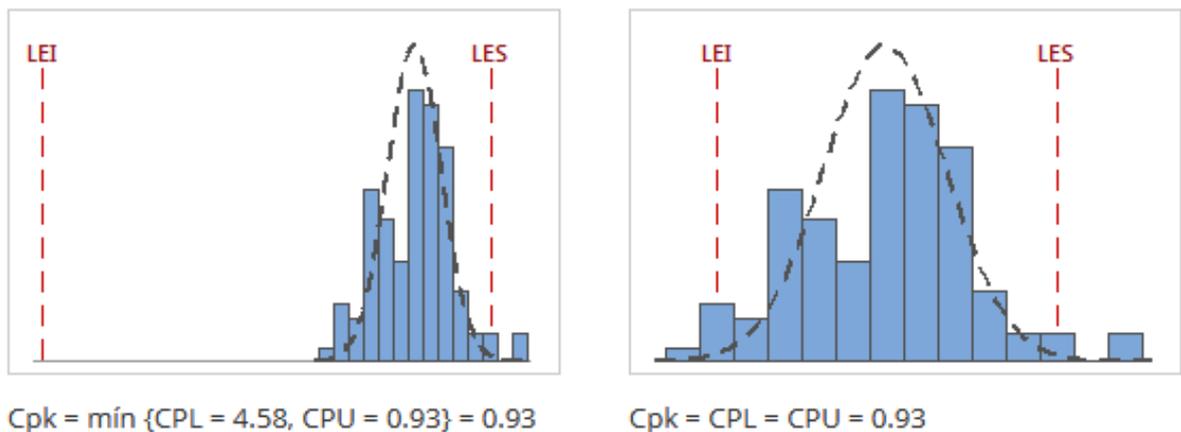


Figura 32. Cpk según desplazamiento de campana

### 5.2.2 VARIABLES DE CAPACIDAD A TENER EN CUENTA A LARGO PLAZO

Pp: Se conoce en un proceso como la variable que define la capacidad del mismo a largo plazo. Esta capacidad, a diferencia de la anterior a corto plazo, muestra un rendimiento real del proceso a lo largo del tiempo. Está basada en dos valores de dispersión descritos por (Soporte Minitab, 2020) a la perfección:

- La dispersión de especificación (LES-LEI).
- La dispersión del proceso (la variación de  $6\sigma$ ) con base en la desviación estándar a largo plazo.
- El Pp necesita tanto una variable LEI como una LES para ser calculada.

Pp bajo: Al igual que el Cp, un valor bajo del mismo indicaría la necesidad de mejorar el proceso bajo estudio. Al no considerar la ubicación del proceso, este indica la capacidad que podría alcanzar considerando una Campana de Gauss centrada. En este ejemplo la dispersión a largo plazo es mayor que la dispersión de especificación del proceso.

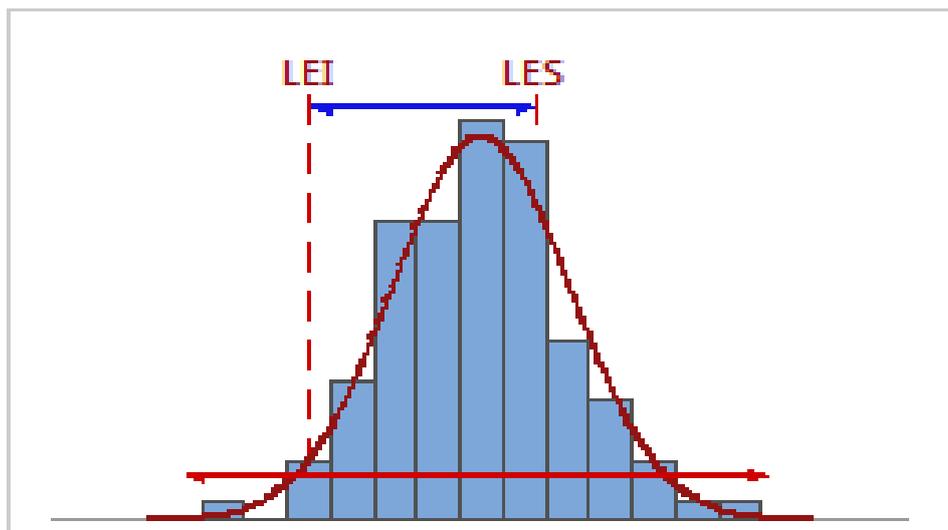


Figura 33.Pp bajo

**PRUEBA PILOTO DE CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS EN LA SECCIÓN DE FÁCIL  
APERTURA DE AUXILIAR CONSERVERA**

Pp alto: Al ser este valor adecuado, la dispersión a largo plazo del proceso es menor que la variabilidad a largo plazo del mismo.

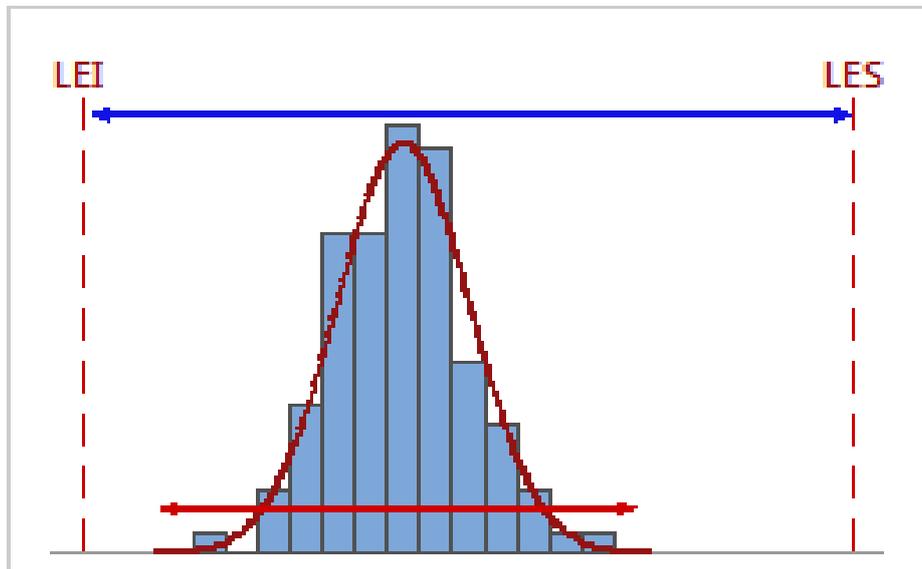


Figura 34. Pp alto

**PRECAUCIÓN**

Como se ha comentado, al no tenerse en cuenta cómo de centrado se encuentra la campana en el proceso, no se define cuán cerca se encuentra dicha campana de los límites de especificación.

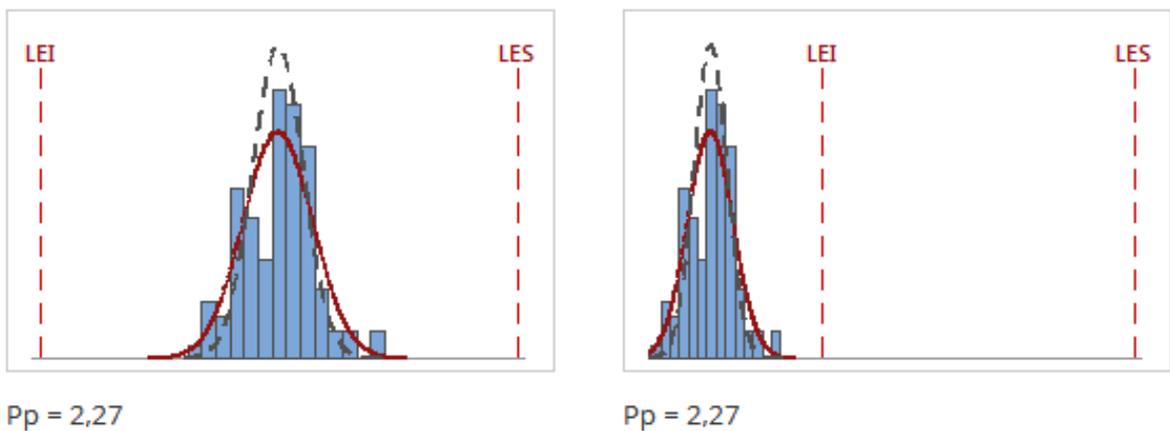


Figura 35. Precaución por desplazamiento Pp

**PRUEBA PILOTO DE CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS EN LA SECCIÓN DE FÁCIL  
APERTURA DE AUXILIAR CONSERVERA**

Como se puede observar en la imagen, ambos gráficos cuentan con el mismo valor de Pp, sin embargo la imagen de la derecha se encuentra totalmente fuera de uno de los límites de especificación. Por tanto, sería un proceso desastroso.

**Ppk:** Este término evalúa a largo plazo cuán capaz es el proceso teniendo en cuenta tanto la dispersión como la ubicación del proceso en nuestra referente Campana de Gauss. Se tienen en cuenta de nuevo de la siguiente manera (Soporte Minitab, 2020):

- La distancia de la media del proceso al límite de especificación más cercano (LES o LEI).
- La dispersión unilateral del proceso (la variación de  $3\sigma$ ) con base en su variación a largo plazo.

**Ppk bajo:** En este caso si la dispersión unilateral del proceso existente es mayor que la media del mismo al límite de especificación más cercano, se obtendrá un Ppk bajo y por ende, nuestro proceso será un deficiente.

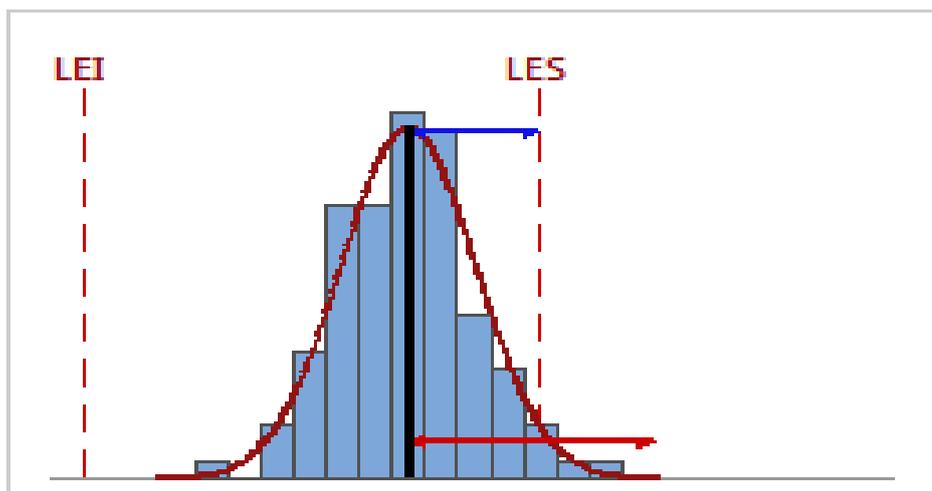


Figura 36. Ppk bajo

**PRUEBA PILOTO DE CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS EN LA SECCIÓN DE FÁCIL  
APERTURA DE AUXILIAR CONSERVERA**

Ppk alto: en este caso ocurre al contrario, si la dispersión unilateral del proceso es menor que la distancia media del proceso al límite de especificación obtendremos así, un proceso capaz.

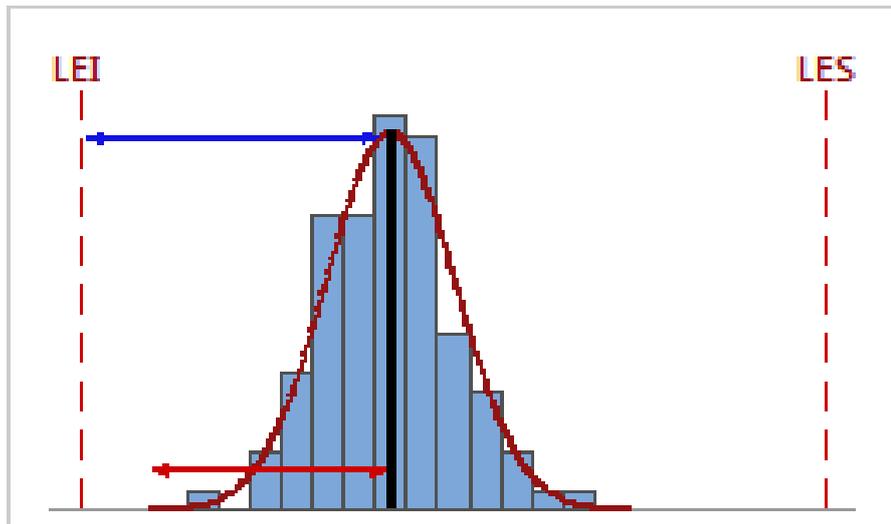


Figura 37. Ppk alto

**PRECAUCIÓN**

Como bien es sabido, la Campana de Gauss cuenta con dos colas y en este caso el Ppk representa únicamente una de ellas sin tener en cuenta el funcionamiento de la otra.

Para ejemplificarlo, se puede ver en la imagen como el valor en ambos gráficos es el mismo. Sin embargo, en el de la derecha se observa una violación de ambos límites de especificación mientras que en el izquierdo, uno de ellos.

**PRUEBA PILOTO DE CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS EN LA SECCIÓN DE FÁCIL  
APERTURA DE AUXILIAR CONSERVERA**

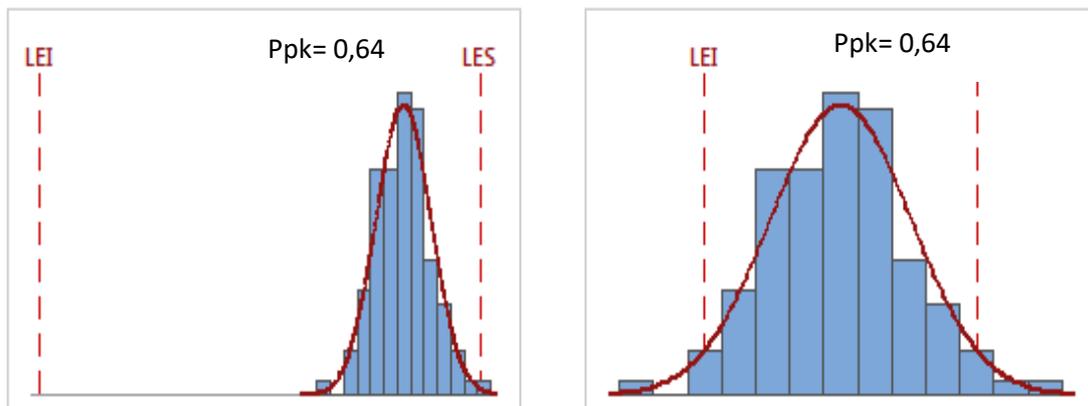


Figura 38. Precaución por desplazamiento Ppk

## 5.3 ESTUDIO DE POTENCIA

### 5.3.1 DEFINICIÓN TEÓRICA

En primer lugar, se definirá el término de potencia. El hecho de que el rechazo en un contraste de hipótesis, de la hipótesis nula sea más o menos probable, es lo que se definiría como potencia. Si la potencia de la prueba es baja, se podrían llegar a resultados equívocos puesto que no se detectarían ciertos efectos. Sin embargo, si es alta, ocurriría lo contrario, efectos muy pequeños se podrían concebir como significativos dándole importancia de más.

Es importante destacar que ninguna prueba es perfecta. Siempre puede pasar que los resultados obtenidos conduzcan a rechazar la hipótesis nula ( $H_0$ ) cuando en realidad es verdadera o a aceptarla cuando es falsa. Esto se debe a que se trabaja con muestras aleatorias, que son eso, aleatorias. De toda una población, se extraen equis muestras a partir de las cuales se realizará el estudio, pero uno no sabe qué tipo de muestras está extrayendo de la Campana. Cabe decir, que las posibilidades de extraer una muestra como lo mencionado es extremadamente difícil, pero en estadística, todo puede pasar por pequeña que sea la probabilidad.

**PRUEBA PILOTO DE CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS EN LA SECCIÓN DE FÁCIL  
APERTURA DE AUXILIAR CONSERVERA**

En este estudio entran en juego varias variables, desviación estándar, diferencia, tamaño de muestra y potencia. Se definirán estos últimos tres términos:

- Diferencia: Este parámetro representa la diferencia entre la media hipotética y la media real de la población.
- Tamaño de muestra: Minitab calcula cómo de grande ha de ser el tamaño de la muestra en función de la potencia exigida para detectar la diferencia especificada.
- Potencia: El software calcula la potencia en función de las otras dos variables. Por lo general, una potencia de 0,9 resulta adecuada. Este valor determina al 90% que se detectaría la diferencia entre la media de población y el objetivo cuando exista alguna diferencia.

### 5.3.2 DEFINICIÓN FORMA PRÁCTICA

Gracias a esta curva de potencia, en cualquier momento conociendo casi todos los parámetros se podrían calcular el resto de valores comentados anteriormente. Valorando la potencia con la que se quiere trabajar, la diferencia significativa en nuestro proceso y producto podríamos averiguar el tamaño de muestra necesario que cumpla los supuestos anteriores. Realizando distintas combinaciones se obtiene distintos resultados.

PRUEBA PILOTO DE CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS EN LA SECCIÓN DE FÁCIL  
APERTURA DE AUXILIAR CONSERVERA

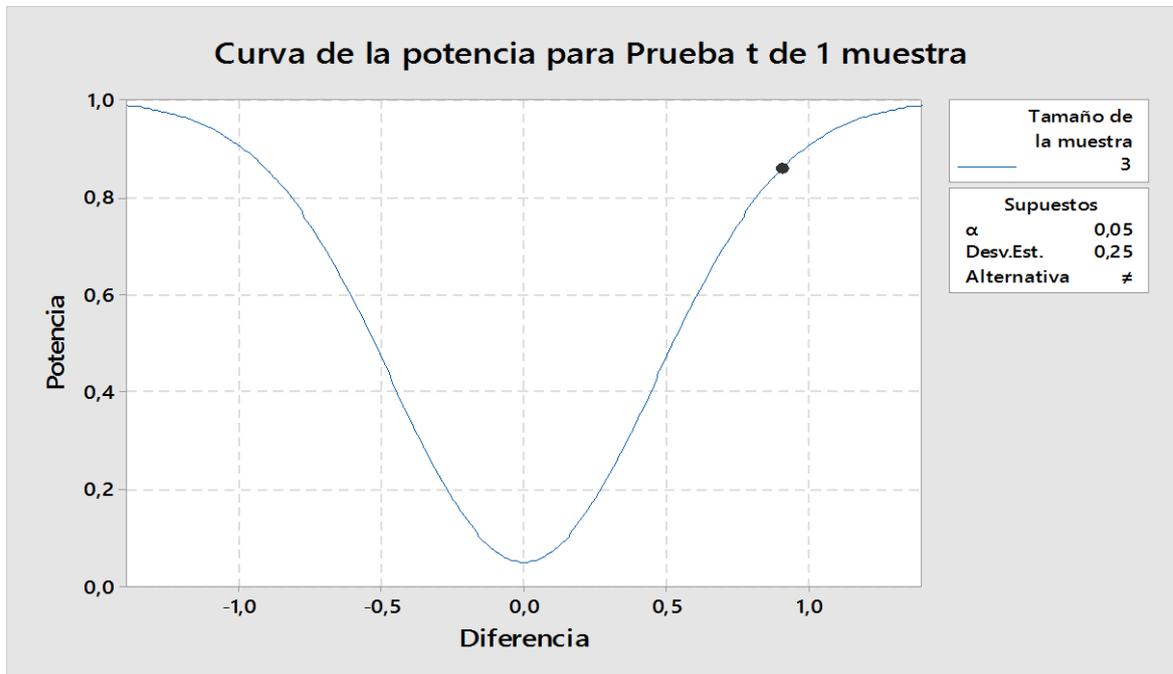


Figura 39. Curva de Potencia

Esta curva muestra un ejemplo de la prueba de potencia. Cuatro son los parámetros que entran en juego. Estos son la potencia, la desviación típica, el tamaño de muestra y la diferencia. A mayor potencia mayor fiabilidad tendremos del proceso. Suponiendo una potencia alta, interpretando de forma correcta posibles valores de diferencia y sabiendo la desviación típica del proceso, podremos calcular el número de muestra necesario para cubrir estas necesidades. Por tanto, para un proceso con una potencia del 85%, una desviación estándar de 0.25 y una diferencia no mayor a 0,8 se necesitará extraer una muestra de tamaño 3. De la misma forma, conociendo otros parámetros siempre se puede calcular el restante. Es importante saber que, esta prueba únicamente es capaz de calcular un valor.

## 5.4 ESTUDIO RR (REPRODUCIBILIDAD Y REPETIBILIDAD)

### 5.4.1 DEFINICIÓN TEÓRICA

Como ya es sabido, cualquier proceso necesita un sistema de medición que sea fiable a la hora de medir los parámetros estadísticos de los elementos producidos. Sobre este sistema de medición, son dos las variables que entran en juego:

- Instrumentación utilizada en la medición
- Personal que realiza esa medición

Estas dos variables generan un determinado ruido, unas debidas al azar y que son imposibles de solventar, y otras que sin embargo pueden ser corregidas y se deben a descuidos o accidentes. Como se ido comentando sobre la variabilidad, este nuevo método R&R permite aceptar o no la variabilidad presente en el proceso. Las bases de este estudio son:

-Reproducibilidad: Mediante la utilización de un mismo instrumento de medida, se define este término como la variación que presentan los distintos promedios de las mediciones llevadas a cabo por cada operador.

-Repetibilidad: Esta variación se produce en casos donde un mismo individuo realiza las mismas mediciones.

**PRUEBA PILOTO DE CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS EN LA SECCIÓN DE FÁCIL  
APERTURA DE AUXILIAR CONSERVERA**

**5.4.2 DEFINICIÓN PRÁCTICA**

A continuación, a modo de ejemplo se le da forma a la teoría expuesta en el apartado anterior.

Estudios RR para materia residual y Ø de remache.

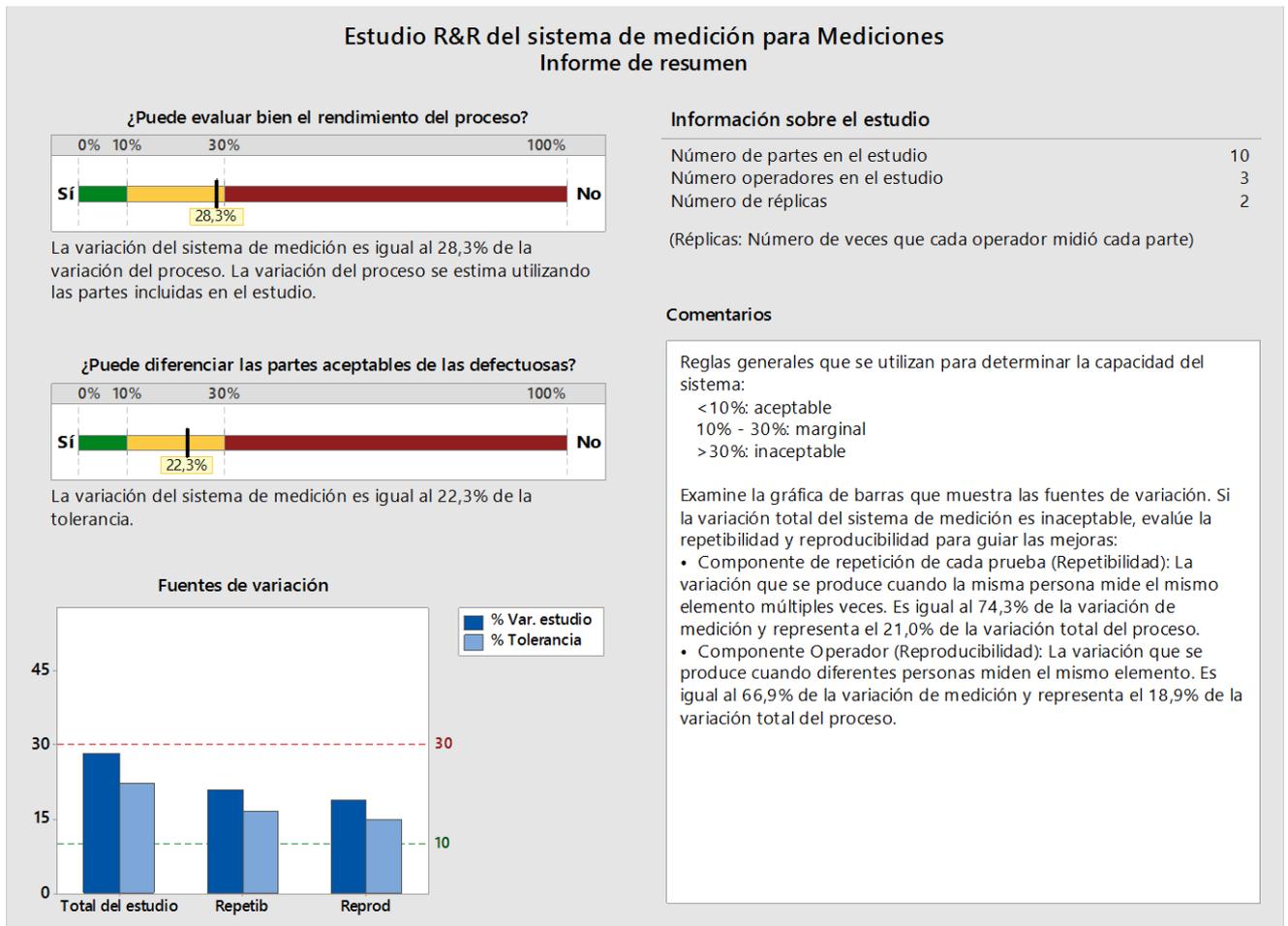


Figura 40. Resumen R&R

Este análisis R&R se realizó por parte de 3 operarios para un total de 10 muestras. Fue realizado dos veces. Como bien muestra el estudio, la evaluación del rendimiento del proceso es aceptable. No se trata del mejor resultado realizado que refleje una cantidad de información valiosa pero sí para analizar y comentar la situación.

**PRUEBA PILOTO DE CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS EN LA SECCIÓN DE FÁCIL  
APERTURA DE AUXILIAR CONSERVERA**

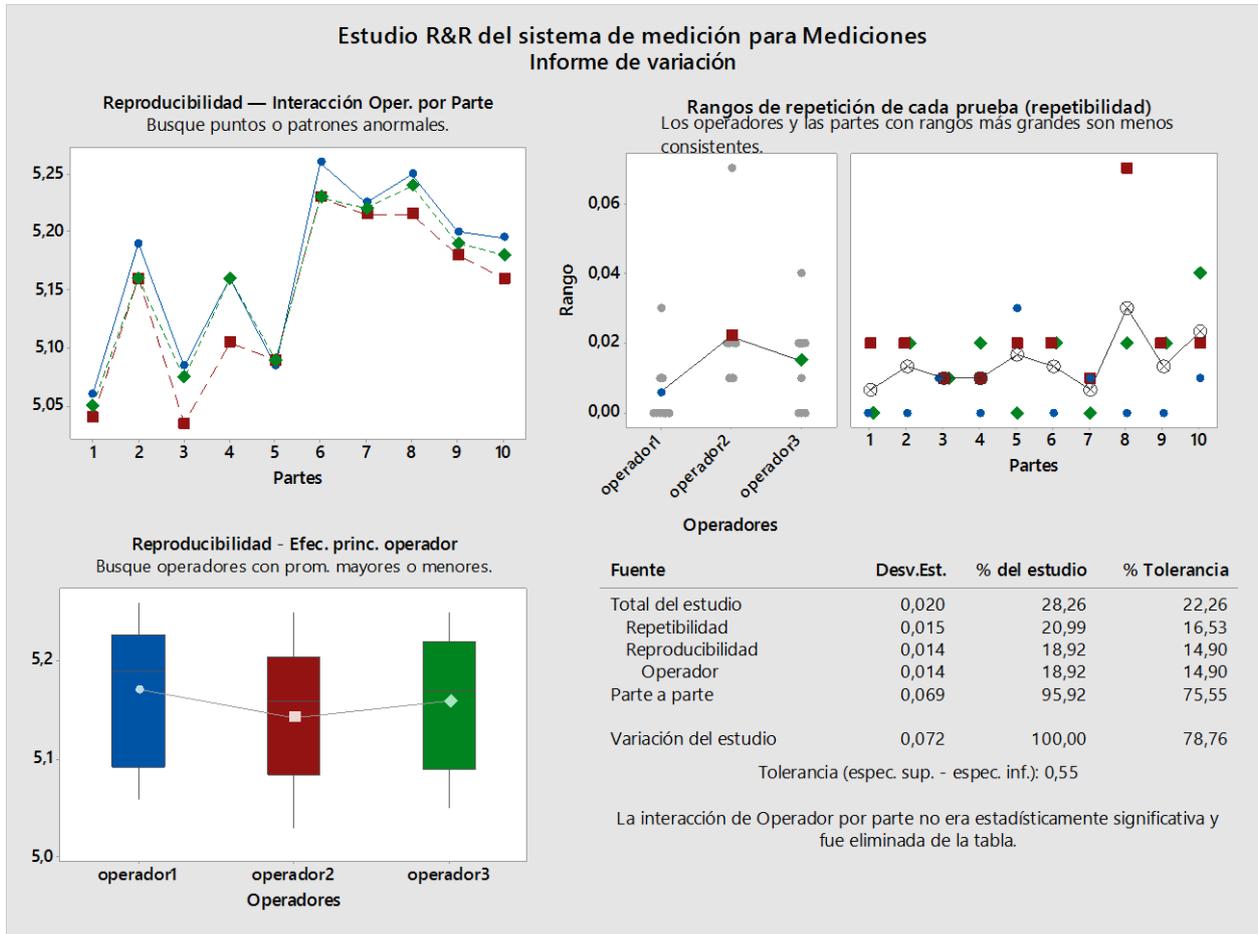


Figura 41. Informe de variación R&R

En esta serie de gráficas se muestra la variación tanto en reproducibilidad como en repetibilidad. El primer patrón de puntos lo marca la medición de las diez muestras por parte de cada operador. Así mismo, el resto de gráficas datan las mismas situaciones pero de forma distinta. Uno a través de los rangos y el otro mediante un diagrama de bigotes.

**PRUEBA PILOTO DE CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS EN LA SECCIÓN DE FÁCIL  
APERTURA DE AUXILIAR CONSERVERA**

## Informe de R&R del sistema de medición (ANOVA) para Mediciones

Nombre del sistema de medición :  
Fecha del estudio:

Notificado por:  
Tolerancia:  
Misc:

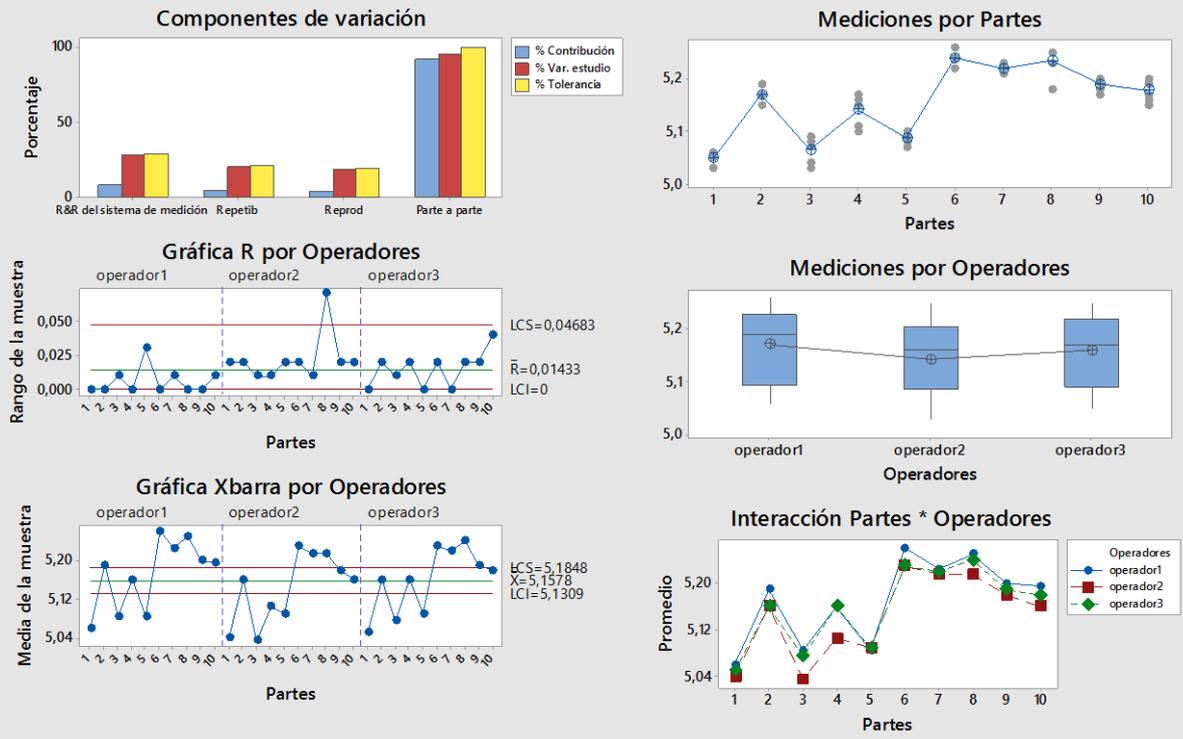


Figura 42. Informe ANOVA para R&R

El resultado del estudio muestra un NCD (Número de categorías distintas)  $NCD=4$ . Este valor es el mínimo posible para poder aceptar que el estudio es viable para tomar decisiones. Este conjunto de gráficas nos muestran datos comunes pero son a su vez diferentes entre sí. La gráfica R por Operadores viene a decir que los operadores 1 y 3 miden de forma muy similar excepto por una de las muestras que está distorsionada. La gráfica de Interacción por partes\*Operadores es una gráfica solapada que muestra un patrón como el de Mediciones por Partes solamente que este último solapado. Así sucesivamente vemos la variación entre las tomas de datos por parte de cada operador a través de distintas gráficas establecidas de una forma u otra.

Se puede confirmar que, el estudio estando bajo el intervalo marginal del 10-30% y contando con un  $NDC=4$ , se llega a la conclusión de que es aceptable la variabilidad

## PRUEBA PILOTO DE CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS EN LA SECCIÓN DE FÁCIL APERTURA DE AUXILIAR CONSERVERA

presente en el sistema. Se introduce dicha variabilidad por el equipo de medición, por el propio operador que realiza la misma o debido a ambos casos.

### 6. PRUEBA PRÁCTICA MINITAB

Se ha trabajado estos últimos meses en la recogida de datos de distintos parámetros que estudian las distintas variables de calidad en las 4 vías que conforman la máquina bajo estudio. A finales del año 2019 se pautaron ciertos objetivos para el año 2020 con el fin de mejorar y estabilizar la máquina en la que se basa este proyecto mediante una serie de mejoras y cambios en la toma de decisiones y en la manera de actuar.

Como ya se ha ido comentando, la necesidad de obtener mejores resultados en la producción conllevó poner en marcha un plan de actuación que pautara una serie de medidas preventivas y correctivas que resolviera estos puntos conflictivos reduciendo así la variabilidad del proceso y por ende, el ahorro de dinero proveniente de la merma.

#### 6.1 SITUACION ANTES Y DESPUES EN LOS DISTINTOS PARADIGMAS

Se ha de tener en cuenta una serie de puntos para comprender cuan significativo es este proceso que se está analizando. A continuación se nombran y explican algunos de estos:

- Recopilación de datos:

Situación anterior: Previamente a realizar las acciones preventivas se recopilaban datos medios en SAP *Systemanalyse und Programmentwicklung* (Análisis de Sistemas y Desarrollo de Programas) que no daban pie a tratar de base el problema.

Consecuencia:

-Pérdida de valor de la información.

**PRUEBA PILOTO DE CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS EN LA SECCIÓN DE FÁCIL  
APERTURA DE AUXILIAR CONSERVERA**

Situación posterior: Se almacenaban valores que permitían almacenar rango, desviación estándar y medias pudiendo así evaluar la presencia de datos anómalos, tendencias...

Ventaja:

-Una alta calidad de datos y un elevado potencial de análisis de la información así como un precedente a la hora de la edición y organización de nuevos registros.

- Ajuste de proceso al nominal y monitorización del mismo:

Situación anterior: El proceso es ajustado para que el valor medido de las piezas de control esté dentro de especificación.

Consecuencia:

-Resultó una falta de detección y por ende, de evaluación, de una gran cantidad de tapas. Se asumían paradas por ajuste ante una posible salida de tolerancia (valores muy cercanos a los límites de especificación).

Situación posterior: Se ajusta el proceso con el objetivo de que el 100% de las piezas fabricadas se encuentren dentro de los límites de control de proceso (nivel  $3\sigma$ ) para el parámetro crítico identificado.

Ventaja:

- Se evalúa estabilidad y capacidad del proceso: la cantidad de piezas fabricadas fuera de especificación y el potencial de los procesos para el cumplimiento de especificaciones (indicador Cpk).

- Evaluación de los sistemas de medición:

Situación anterior: Equipos de medición calibrada, pero sin evaluar la variabilidad del conjunto equipo-método-analista.

Consecuencia:

-Se desconoce la variabilidad que introduce el sistema de medición a los resultados reales del producto.

Situación después: Sistema de medición evaluada.

## PRUEBA PILOTO DE CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS EN LA SECCIÓN DE FÁCIL APERTURA DE AUXILIAR CONSERVERA

Ventaja:

-Sistemas de medición mejorados y con garantías de que la variabilidad de la medición no influye sobre la variabilidad del proceso.

### 6.2 PROCESOS EN LOS QUE SE TIENE EN CUENTA ESTUDIO DE CAPACIDAD

- Soporte arranque (acompañamiento hasta estabilización del proceso)

Situación antes: Plan de control sistemático independientemente de la situación de la máquina (no se adapta a situación de arranque/falta de estabilización).

Consecuencia:

-Como consecuencia del proceso de estabilización de la máquina, las condiciones de fabricación varían de forma progresiva dando lugar a producción de piezas fuera de especificación.

Situación después: Se elaboraba un borrador de primera tapa buena. Esto consiste en recopilar muestras para analizar y realizar un seguimiento en la puesta en marcha de la máquina a previo arranque de forma continuada hasta que los datos no sean los correctos no se arranca de forma continua.

Ventaja:

-Evitando así producir tapas fuera de especificación como se puede observar en el siguiente ejemplo:

### 6.3 EJEMPLO PRÁCTICO COMPARACION CAPACIDAD DEL PROCESO PARA 1ª TAPA BUENA

#### 6.3.1 1ª TAPA BUENA

**PRUEBA PILOTO DE CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS EN LA SECCIÓN DE FÁCIL  
APERTURA DE AUXILIAR CONSERVERA**

Primera tapa buena es un método de aseguramiento de la calidad del proceso a través del arranque de máquina mediante el cual se asegura que el proceso va a comenzar la producción de manera correcta. Esto es, respondiendo con calidad y exactitud ciertos parámetros y asegurando que estos estarán bajo control y que la máquina será capaz. Primera tapa buena, en la sección de FA, se trata de llevar a raja tabla. Cada puesta en marcha que se realiza se tiene en cuenta esta estrategia. Para ello, es necesario ajustar una serie de parámetros como son *Pull*, *Pop* o *Diámetro de remache* para conseguir que estén en condiciones nominales.

### 6.3.2 MÉTODO

La forma de actuar en la sección consiste en el arranque de máquina y realizar una serie de controles estándar de los que se han ido mencionando con anterioridad, para comprobar cómo salen las tapas. El arranque de turno lleva un rato, además del tiempo que se tarda en realizar las pruebas de calidad cada vez que se realiza un ajuste. ¿Por qué se realizan varias pruebas? La máquina nunca va a arrancar en valores nominales, sobre todo cuando empieza la semana pues no ha trabajado posiblemente durante el fin de semana. Por tanto es comprensible que no siga valores nominales, ya que al haber estado parada, la máquina se encuentra fría y necesita un tiempo de estabilización de parámetros tales como el tonelaje, presiones, temperaturas etc. Por tanto una vez arrancada la máquina se realiza la primera prueba de calidad. A continuación se realizarán los ajustes necesarios en la prensa para maquillar esas décimas que se andan buscando. Así sucesivamente, se realizará una, dos o las veces que sea necesario, hasta que se alcancen los valores requeridos y la máquina comience a trabajar en continuo.

**PRUEBA PILOTO DE CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS EN LA SECCIÓN DE FÁCIL  
APERTURA DE AUXILIAR CONSERVERA**

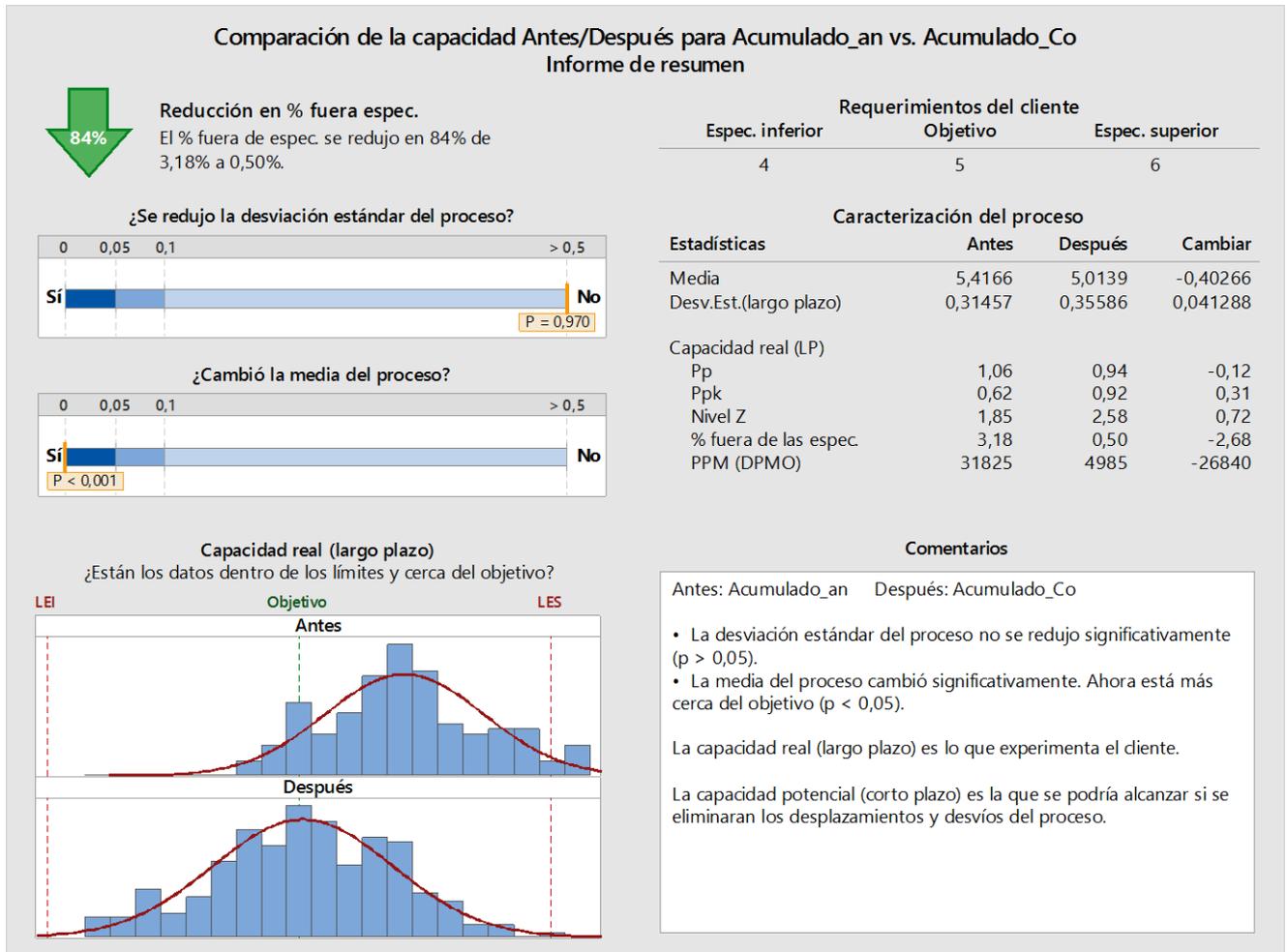


Figura 43. Método estabilización 1ªtapa buena

Esta imagen representa la acumulación de los datos de las distintas vías el 4 de Febrero de 2020 sin aplicar la corrección realizada del Soporte de Arranque (acompañamiento hasta estabilización del proceso) que se contrasta con el día 25 de Marzo, una vez aplicada.

Como se puede visualizar, mediante este control de 1ªtapa buena se ha conseguido reducir en un 84% la cantidad de piezas fuera de especificación para el parámetro *Pull*. Se consiguió encauzar el valor nominal por parte de la media de las muestras pero no así la desviación típica.

**PRUEBA PILOTO DE CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS EN LA SECCIÓN DE FÁCIL  
APERTURA DE AUXILIAR CONSERVERA**

### VERIFICACIÓN TRAS AJUSTES

**Situación antes:** Control horario Se realizaban controles horarios pero sin un orden ni una frecuencia establecida estudiada.

**Consecuencia:**

-No se evalúa la eficacia del ajuste, por ello en ocasiones se producen tapas fuera de especificación.

**Situación después:** Control horario según Plan de Control: El simple hecho de pautar unas medidas preventivas y correctivas proporciona de forma obligada a un control frecuente en la máquina durante todo el turno de trabajo.

Además del control habitual según la frecuencia establecida de una hora, si se han tomado medidas como el cambio de calzo en la prensa es necesario un control a los 10-15 minutos tras ajuste/cambio de condiciones para comprobar el efecto y volviendo atrás, un acompañamiento hasta la estabilización.

**Ventajas:**

-Se evita fabricación de piezas fuera de especificación.

-Reducción de la variabilidad.

-Aumento de Cpk (capacidad) – Se podrá observar en la siguiente imagen.

- Formación en variabilidad y Gráficos de Control:

**Situación antes:** No se considera la influencia de la variabilidad.

**Consecuencia:**

-Interpretación de resultados en forma pasa/no pasa dejando mucha responsabilidad al operario de calidad en la toma de decisión.

**PRUEBA PILOTO DE CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS EN LA SECCIÓN DE FÁCIL  
APERTURA DE AUXILIAR CONSERVERA**

Situación después: Acciones de concienciación, formación y acompañamiento del personal.

Ventaja:

- Personal formado, concienciado y alineado con los propósitos del proyecto.

- Identificación de causas asignables de variación:

Situación antes: No se evaluaba la variabilidad.

Consecuencia:

-Las causas asignables de variación provocan paradas y realización de sobre ajustes.

-Producción de tapas fuera de especificación.

Situación después:

Se estudia la estabilidad del proceso y se detectan dos causas asignables de variabilidad.

-Temperatura del yunque.

-Material

Ventajas:

-Temperatura del yunque: Potencial reducción de la variabilidad.

-Material: Demostrada influencia significativa en diversas propiedades del material como en el límite elástico.

**PRUEBA PILOTO DE CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS EN LA SECCIÓN DE FÁCIL  
APERTURA DE AUXILIAR CONSERVERA**

- Verificación de hipótesis: Temperatura del yunque:

El período de estudio previo a la medida correctiva se produce del 18 al 22 de febrero de 2020 en una de las vías, la 'C'.

Se plantea un contraste de hipótesis donde la hipótesis nula es la independencia de la temperatura en la variabilidad del proceso. La hipótesis alternativa sería lo contrario, que dependiera de ella. Por tanto, al depender de temperatura, el rechazo de la hipótesis nula es claro.

La confirmación de mejora del proceso después de aplicar dichas medidas se data bajo estudio del período del 27 de febrero al 01 de Marzo

Situación antes: Rango de temperatura de 20°F (aproximadamente).

Situación después: Rango de temperatura de 7°F (aproximadamente).

(Alrededor de 4,2°C).

#### 6.4 EJEMPLO GRÁFICO DE CONTROL PARA SALTOS DE TEMPERATURA

**PRUEBA PILOTO DE CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS EN LA SECCIÓN DE FÁCIL**  
**APERTURA DE AUXILIAR CONSERVERA**

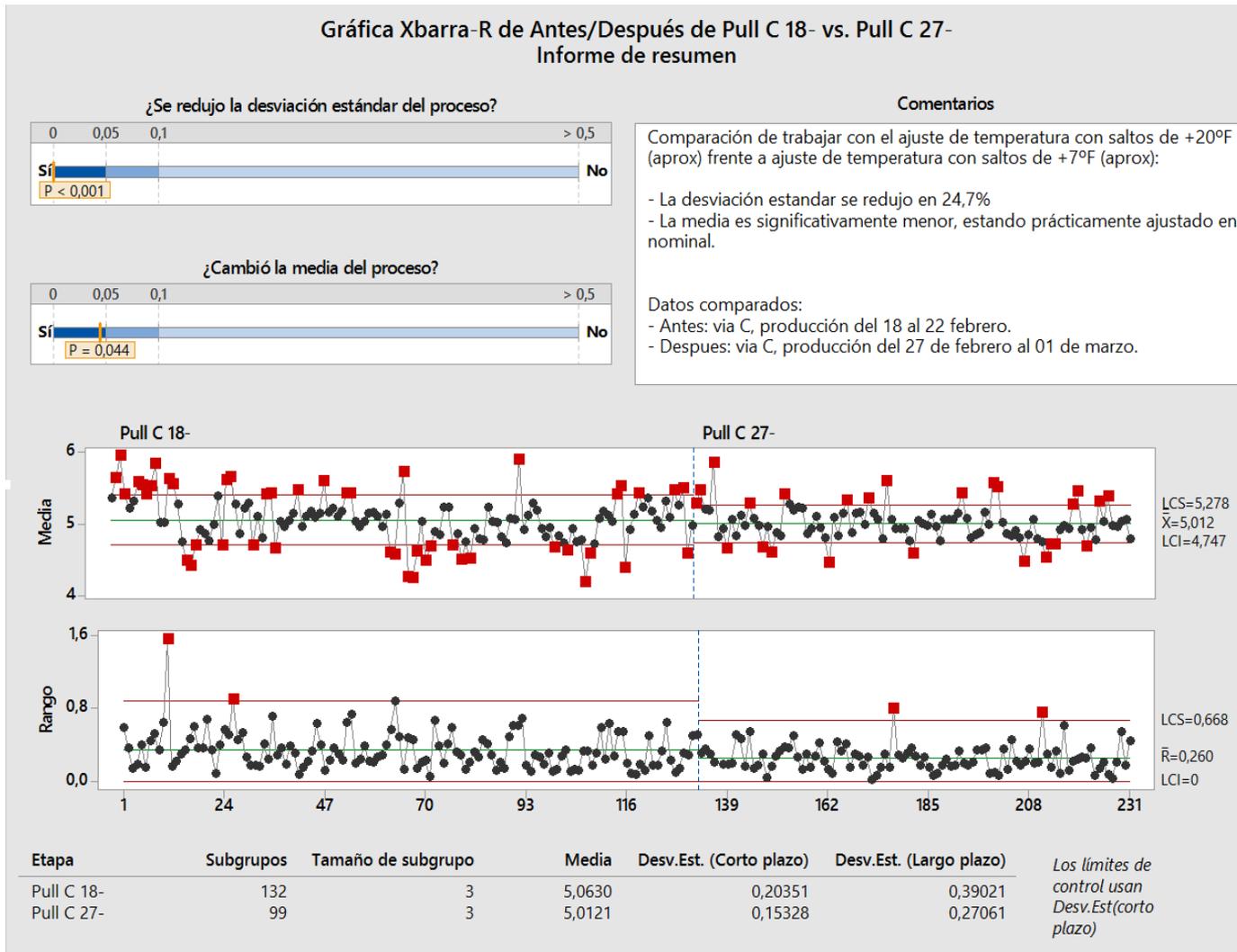


Figura 44. Variación por ajuste de temperatura

Como se puede observar, a la izquierda de la imagen se visualiza que el p-valor es menor a 0,05 por tanto se rechaza la hipótesis nula de que no hay diferencias notables en los saltos de temperatura respecto a la variabilidad. En particular un 24% se ha reducido la desviación estándar.

En la situación anterior, se estuvo trabajando con saltos de temperatura de aproximadamente 20° Fahrenheit, esto es, unos 6,67°C. Posteriormente la media impuesta fue cambiar ese salto de temperatura y reducirlo a unos 7° Fahrenheit, esto es, unos 4,2°C.

**PRUEBA PILOTO DE CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS EN LA SECCIÓN DE FÁCIL  
APERTURA DE AUXILIAR CONSERVERA**

Esta gran reducción de la desviación estándar como bien se puede ver en la parte derecha de la gráfica de la media, hace que el proceso se encuentre muy cercano al ansiado valor nominal.

### 6.5 EJEMPLO VARIABILIDAD EN LA INFLUENCIA DEL MATERIAL

Verificación de hipótesis: Influencia del material.

Se plantea en el contraste, la no influencia del material en la variabilidad como hipótesis nula, la cual se busca rechazar.

Situación antes:

Es sabido que variaciones de límite elástico dentro del mismo material (TH435) provocan cambios en características de las tapas, lo que puede provocar la producción de tapas fuera de especificación.

No se ha evaluado el impacto del límite elástico sobre la variabilidad.

Situación después:

De observaciones realizadas durante los controles diarios, así como del análisis de datos de la prueba especial, podemos afirmar que diferencias de material en Límite Elástico y Resistencia ocasionan diferencias significativas en las respuestas de:

La variabilidad en la influencia del material se refleja en dos de los parámetros de los que se ha ido mencionando a lo largo de este proyecto. Se trata de los siguientes:

- Esfuerzo de apertura (*Pull*)

PRUEBA PILOTO DE CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS EN LA SECCIÓN DE FÁCIL  
APERTURA DE AUXILIAR CONSERVERA

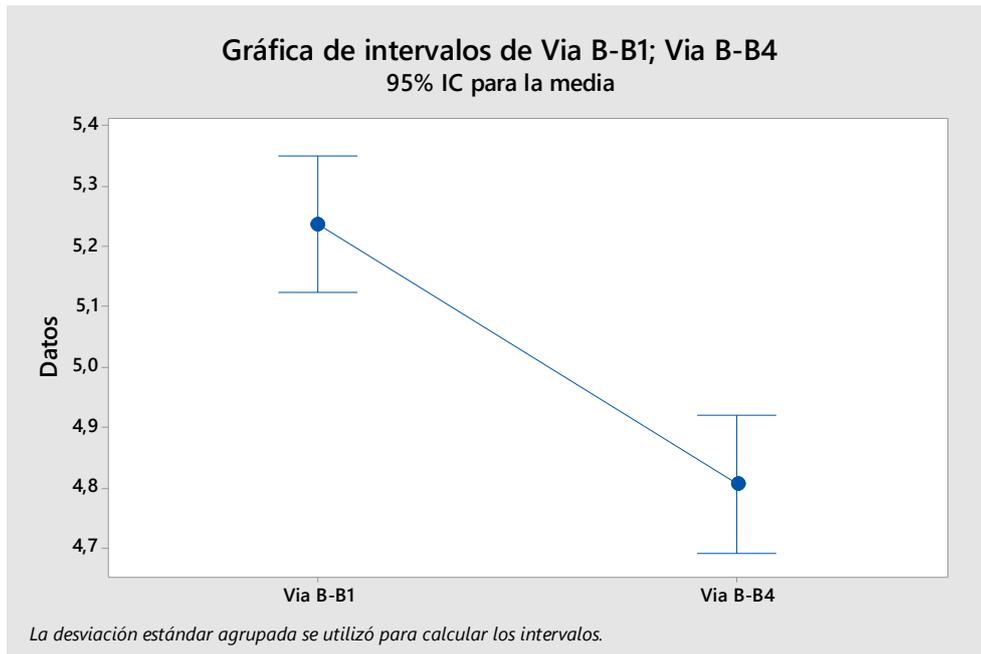


Figura 45. Variación por propiedades mecánicas

En la vía B, trabajando con la bobina número 1 de límite elástico de  $391\text{N/mm}^2$  y comparándola con una bobina número 4 de límite elástico  $429\text{ N/mm}^2$  se puede apreciar cómo varía la una de la otra. La primera bobina trabaja en unos niveles por encima del nominal (5) mientras que la otra por debajo. Por lo tanto, se puede observar cuán influyente es la materia prima con la que se comienza a trabajar según una de sus propiedades mecánicas.

- Materia residual

**PRUEBA PILOTO DE CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS EN LA SECCIÓN DE FÁCIL  
APERTURA DE AUXILIAR CONSERVERA**

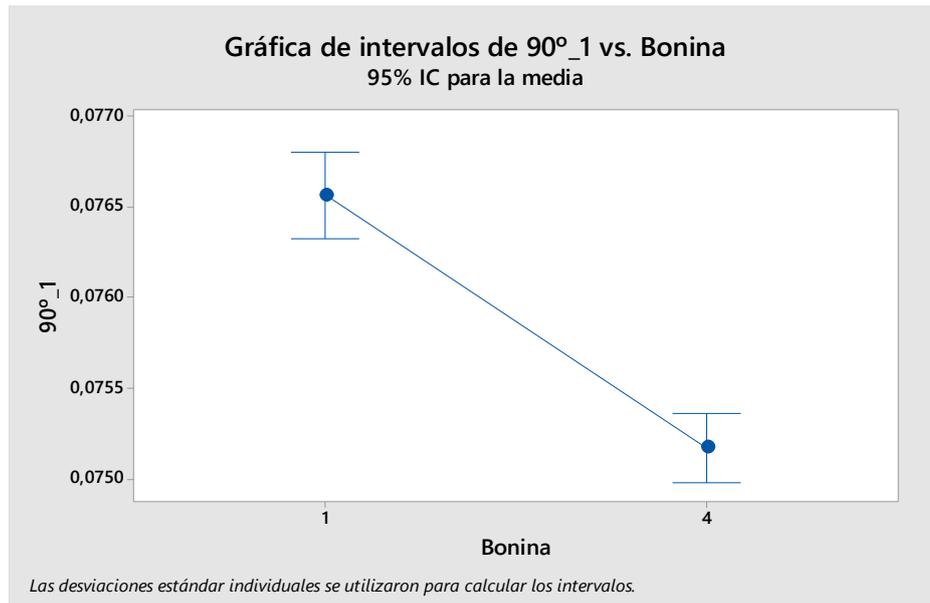


Figura 46. Material residual a 90°

Así mismo ocurre con la materia residual. Se observa una diferencia significativa entre las bobinas 1 y 4.

**PRUEBA PILOTO DE CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS EN LA SECCIÓN DE FÁCIL  
APERTURA DE AUXILIAR CONSERVERA**

**6.6 EJEMPLO CAPACIDAD DEL PROCESO DE DICIEMBRE A FEBRERO  
POST CAMBIOS EN TEMPERATURA Y MATERIAL**

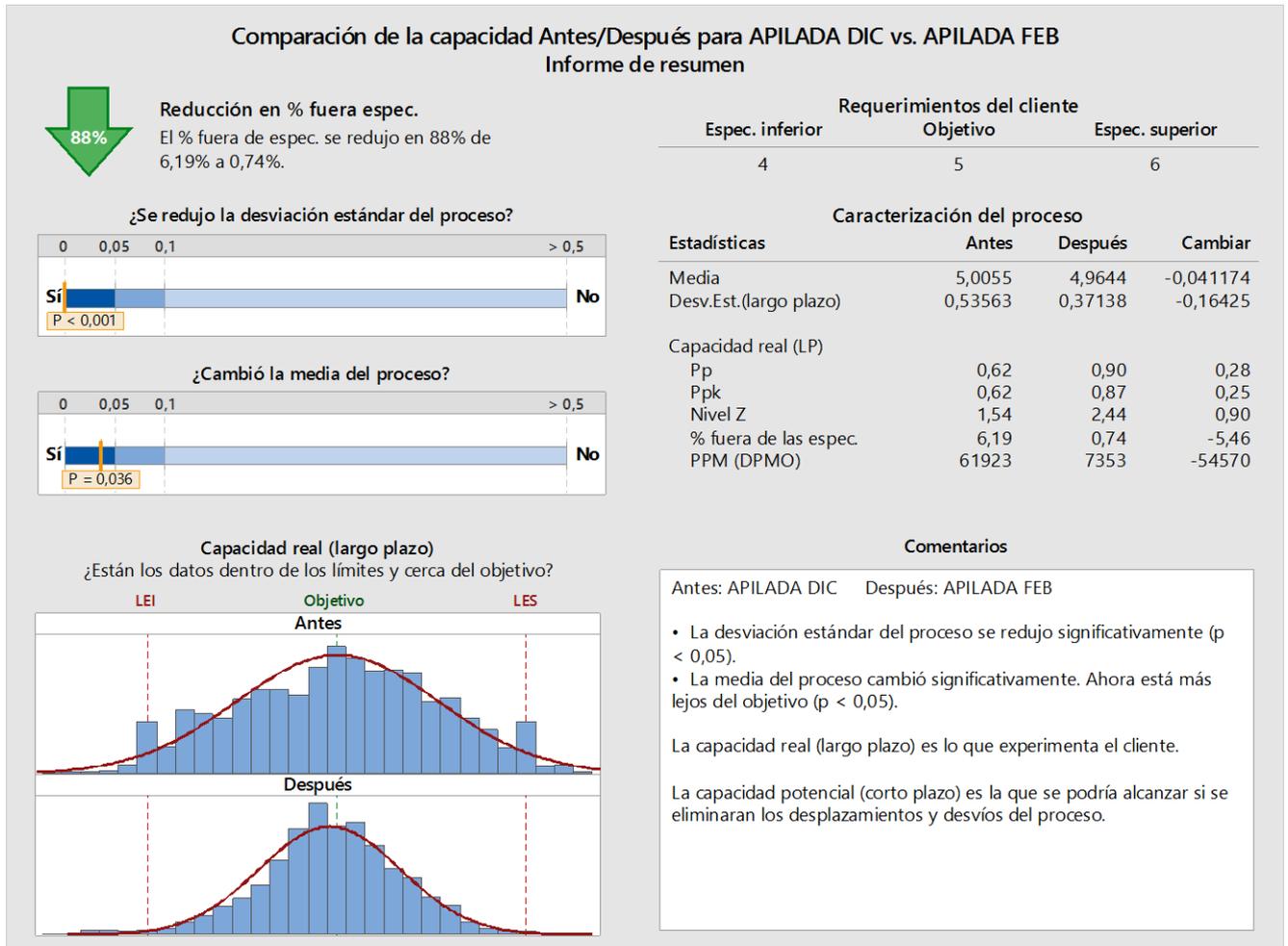


Figura 47. Mejora Capacidad tras cambios

Teniendo en cuenta los materiales que se han ido trabajando introduciendo los palés de forma correlativa para así no alterar el funcionamiento de la máquina, ha hecho posible conseguir notables diferencias. Sobre todo ha sido, el cambio en la forma de actuar respecto a la temperatura. Grandes saltos de alrededor de 10°C que se iban implementando generaba mucho ruido en el proceso pues era un cambio bastante agresivo. Un incremento o reducción de alrededor de 5°C ha conseguido una mayor estabilización del proceso y por tanto una reducción en la variabilidad y por tanto, reducción de pérdidas económicas.

PRUEBA PILOTO DE CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS EN LA SECCIÓN DE FÁCIL  
APERTURA DE AUXILIAR CONSERVERA

**Consecuencias directas:**

- Procesos más centrados.
- Reducción de un 32% de la variabilidad percibida por el cliente.
- Reducción de un 88% la producción de piezas fuera de

<b>MEJORA DE PRODUCTIVIDAD</b>
DICIEMBRE 2019
65.813 tapas/h
ENERO 2020
72.914 tapas/h
FEBRERO 2020
79.483 tapas/h

-Ha aumentado la autonomía del personal.

-Estamos aumentando el conocimiento de las máquinas y de los procesos.

-Se están cuestionando afirmaciones que hasta la fecha estaban consolidadas.

Figura 48. Mejoras tras cambio

7. QRQC

**PRUEBA PILOTO DE CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS EN LA SECCIÓN DE FÁCIL  
APERTURA DE AUXILIAR CONSERVERA**

*Quick Response Quality Control (QRQC)* es un método de actuación de forma inminente ante cualquier problemática de calidad para una mejora continua en un determinado proceso. Este método engloba a los responsables de las distintas secciones de una empresa, más concretamente a los responsables del departamento de calidad y producción, los cuales se reúnen para buscar una rápida respuesta que solvante el problema. Este tipo de decisiones son robustas y vienen para quedarse, esto es, una vez encontrada una solución a un problema este no debe de volver a aparecer. Su utilización abarca entornos de producción como es la aeronáutica, electrodomésticos, automóviles...

Este tipo de sistema es muy recomendable llevarlo a cabo en empresas donde el factor limitante es el tiempo, bien porque cuenta con líneas dispuestas en serie donde no puede haber paradas o porque los costes del material a trabajar es muy caro y no se conciben fallos de calidad y producción.

¿Cómo funciona?

El QRQC se basa en un ciclo donde en primer lugar se observa y se localiza el problema, en segundo lugar se analiza y comunica, posteriormente en tercer lugar se toman medidas correctivas. En el cuarto y último lugar se comprueba que no vuelve a fallar.

1º Detección de incidencias

Este tipo de fallos o alteraciones se deben comunicar al resto del personal y estudiar para así decidir cuán importante es, para tomar una decisión. Dependiendo de la gravedad del problema, se barajará si bien continuar con el proceso o parar la máquina.

2º Comunicar las incidencias

Toda incidencia ha de ser comunicada a los responsables del proceso para que estos tomen la decisión correcta en función de la severidad de la situación. En función de la severidad de la situación será o no necesario un contacto inmediato con los responsables, siendo en un caso leve, posible comunicar la incidencia más tarde. Es de vital importancia, que con cierta frecuencia (semanal, mensual), se reúna el personal responsable implicado en el proceso para la propuesta de mejoras ya que estos tendrán un conocimiento superior del

**PRUEBA PILOTO DE CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS EN LA SECCIÓN DE FÁCIL  
APERTURA DE AUXILIAR CONSERVERA**

proceso que el resto de compañeros. Estas reuniones han de quedar por escrito, describiendo el problema a resolver, la importancia de este y la medida correctiva consensuada por todo el equipo.

**3º Analizar y decidir las acciones de actuación**

Siempre que se detecte una incidencia, el proceso está bajo un grado de peligrosidad. Se puede actuar de dos maneras:

- **Corrección:** Ver la manera de actuar con los elementos que han salido defectuosos debido a la incidencia.
- **Acción correctiva:** Determinar la manera de evitar este mismo fallo en el futuro.

**4º Verificar la eficacia**

Este último paso es el que comprueba que la intervención llevada a cabo es suficientemente eficaz como para continuar llevándola a cabo. Si se habla de una acción correctiva es necesario esperar un tiempo prudencial y cuantificar su eficacia. Con esto se intenta asegurar que el problema no se vuelva a repetir.

A modo de ejemplo, se presenta como anexo un claro ejemplo de una acción QRQC en ANEXO.

## 8. CONCLUSIÓN

**PRUEBA PILOTO DE CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS EN LA SECCIÓN DE FÁCIL  
APERTURA DE AUXILIAR CONSERVERA**

El presente proyecto ha supuesto un descubrimiento personal sobre el SPC. Como se define en el estudio, la filosofía marcada por Auxiliar Conservera es un primer paso muy importante para la revolución del análisis y control de datos. A través de un meticuloso proceso de toma de datos, análisis de los mismos, toma de decisiones y comprobación de dichas decisiones por parte de un gran conjunto de personal, ha permitido una mejora que era impensable meses atrás. El conocimiento del entorno de producción, el estudio del mercado, así como de los propios recursos de la empresa es clave para la consecución de cualquier logro. Estos meses de toma de datos y análisis de los mismos han reconducido a la sección de FA hacia el buen camino. Este ha de ser tomado de ejemplo por el resto de secciones pues, trabajando todos a una se puede llegar a términos muy competentes.

Los convincentes resultados han hecho que se cuestionen situaciones que se creían bajo cierta seguridad. La concienciación que ha adquirido todo el personal gracias a la comprobación de que hechos como el ‘sobre toqueteo’ o la revisión de tapas con una mayor frecuencia, ha jugado un importante papel. No es sencillo convencer a la gente sobre algo tan poco empírico. La importancia de los distintos materiales proporcionados por los proveedores ha reflejado una serie de inconvenientes en la producción, pues unas características mecánicas u otras, afectan más de lo que parece.

El comportamiento de la línea de producción varía en función de muchísimos parámetros que aún están por estudiar. Este inicio en SPC ha proporcionado una serie de descubrimientos y motivaciones para continuar indagando en este campo. Parámetros como el barniz o como la falta de estudio y seguimiento en la sección de ‘Prensas Básicas’, podrían suponer numerosos problemas en la sección de FA sin estos saberlo.

Las innumerables pruebas realizadas para la consecución de objetivos tales como la reducción de la variabilidad o un mayor control de la situación, ha sido fruto del esfuerzo colectivo. Sin embargo, este fruto ha de madurar. Quedan aún muchas pruebas, mucha recogida de datos pues la calidad es una carrera de fondo, cada vez más exigida. De nada sirve si no se continúa andando, mirando atrás únicamente para aprender de los errores.

**PRUEBA PILOTO DE CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS EN LA SECCIÓN DE FÁCIL  
APERTURA DE AUXILIAR CONSERVERA**

El propósito de esta entidad de posicionarse con los mejores, ha permitido la mejora de competencia situándose en primera línea cuando se trata de satisfacción del cliente.

## 9. BIBLIOGRAFÍA

- Soporte Minitab.* (s.f.). Obtenido de Prueba t de 1 muestra: [https://support.minitab.com/es-mx/minitab/18/Asistente\\_Prueba\\_t\\_de\\_1\\_muestra.pdf](https://support.minitab.com/es-mx/minitab/18/Asistente_Prueba_t_de_1_muestra.pdf)
- Anónimo. (2020). *Stadistic Process Control. Curso impartido en AC.*
- Arvelález, B. (Diciembre de 2007). *Universidad Tecnológica de Pereira.* Obtenido de <file:///acfs10/DatosUsuarios/fbermudezc/Downloads/4181-2717-1-PB.pdf>
- Bernal, J. J. (05 de Junio de 2013). *PDCA Home.* Obtenido de PDCA Home: <https://www.pdcahome.com/4563/qrc-control-de-calidad-de-respuesta-rapida-quick-response-quality-control/>
- Clavería, A. P. (febrero de 2020). *Optimización de una planta de producción.* Obtenido de [https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/181438/Memoria%20TFG\\_Perpi%c3%b1%c3%a1n%20Claver%c3%ada%2c%20Alberto.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/181438/Memoria%20TFG_Perpi%c3%b1%c3%a1n%20Claver%c3%ada%2c%20Alberto.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Conservera, A. (2016). AC-Hojalata.
- Dr. Carlos Hernández Pedreral, I. F. (s.f.). *Aplicación del control estadístico de procesos (CEP) en el control de su calidad.* Obtenido de [http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S2224-61852016000100010&script=sci\\_arttext&tIng=pt](http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S2224-61852016000100010&script=sci_arttext&tIng=pt)
- Fernández, A. (1997). *Uso de la distribución normal en la evaluación del aprendizaje.* Obtenido de [https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=S0718-07051997000100005&script=sci\\_arttext](https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=S0718-07051997000100005&script=sci_arttext)
- Google imágenes.* (s.f.). Obtenido de [https://www.google.com/search?q=despaletizador+cleverttech&rlz=1C1GCEB\\_enES876ES876&source=Inms&tbm=isch&sa=X&ved=2ahUKEwj4hJi94qHrAhVIExoKHf8iBoAQ\\_AUoAnoECAsQBA&biw=1920&bih=969#imgrc=PPb2yFVWtIAoOM](https://www.google.com/search?q=despaletizador+cleverttech&rlz=1C1GCEB_enES876ES876&source=Inms&tbm=isch&sa=X&ved=2ahUKEwj4hJi94qHrAhVIExoKHf8iBoAQ_AUoAnoECAsQBA&biw=1920&bih=969#imgrc=PPb2yFVWtIAoOM)
- Google imágenes.* (s.f.). Obtenido de [https://www.google.com/search?q=PRENSA+MINSTER+ECH+125&rlz=1C1GCEB\\_enES876ES876&source=Inms&tbm=isch&sa=X&ved=2ahUKEwjKs8rp4aHrAhWN4iUKHYLLCWUQ\\_AUoAXoECAsQAw&biw=1920&bih=969#imgrc=BQ\\_-1VhYt\\_AVcM](https://www.google.com/search?q=PRENSA+MINSTER+ECH+125&rlz=1C1GCEB_enES876ES876&source=Inms&tbm=isch&sa=X&ved=2ahUKEwjKs8rp4aHrAhWN4iUKHYLLCWUQ_AUoAXoECAsQAw&biw=1920&bih=969#imgrc=BQ_-1VhYt_AVcM)

**PRUEBA PILOTO DE CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS EN LA SECCIÓN DE FÁCIL  
APERTURA DE AUXILIAR CONSERVERA**

Juan.López, R. F. (s.f.). *Máxima formación*. Obtenido de Data Science:

<https://www.maximaformacion.es/blog-dat/guia-para-encontrar-tu-prueba-estadistica/>

Minitab, L. (2019). *Support Minitab*. Obtenido de [https://support.minitab.com/es-](https://support.minitab.com/es-mx/minitab/18/help-and-how-to/statistics/power-and-sample-size/how-to/hypothesis-tests/power-and-sample-size-for-1-sample-t/interpret-the-results/key-results/?SID=119050)

[mx/minitab/18/help-and-how-to/statistics/power-and-sample-size/how-to/hypothesis-tests/power-and-sample-size-for-1-sample-t/interpret-the-results/key-results/?SID=119050](https://support.minitab.com/es-mx/minitab/18/help-and-how-to/statistics/power-and-sample-size/how-to/hypothesis-tests/power-and-sample-size-for-1-sample-t/interpret-the-results/key-results/?SID=119050)

Minitab, M. d. (s.f.).

mundolatas. (s.f.). *Nociones básicas sobre hojalata*. Obtenido de

<https://mundolatas.com/nociones-basicas-sobre-hojalata/>

Pértegas Díaz S., P. F. (2001). *La distribución normal*. Obtenido de

[https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/56695193/\\_0\\_CurvaNormal\\_Pita\\_1\\_1.pdf?152](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/56695193/_0_CurvaNormal_Pita_1_1.pdf?1527721026=&response-content-)

[7721026=&response-content-](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/56695193/_0_CurvaNormal_Pita_1_1.pdf?1527721026=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DInvestigacion_La_distribucion_normal_La.pdf&Expires=1597339469&Signature=escw8ZVzRikoHxCZdlmKE99K6umxVn~KJTjwkaOf6ImP)

[disposition=inline%3B+filename%3DInvestigacion\\_La\\_distribucion\\_normal\\_La.pdf&Expires=1597339469&Signature=escw8ZVzRikoHxCZdlmKE99K6umxVn~KJTjwkaOf6ImP](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/56695193/_0_CurvaNormal_Pita_1_1.pdf?1527721026=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DInvestigacion_La_distribucion_normal_La.pdf&Expires=1597339469&Signature=escw8ZVzRikoHxCZdlmKE99K6umxVn~KJTjwkaOf6ImP)

*Soporte Minitab*. (2020). Obtenido de [https://support.minitab.com/es-mx/minitab/18/help-](https://support.minitab.com/es-mx/minitab/18/help-and-how-to/quality-and-process-improvement/capability-analysis/how-to/capability-analysis/normal-capability-analysis/interpret-the-results/all-statistics-and-graphs/potential-within-capability/)

[and-how-to/quality-and-process-improvement/capability-analysis/how-to/capability-analysis/normal-capability-analysis/interpret-the-results/all-statistics-and-](https://support.minitab.com/es-mx/minitab/18/help-and-how-to/quality-and-process-improvement/capability-analysis/how-to/capability-analysis/normal-capability-analysis/interpret-the-results/all-statistics-and-graphs/potential-within-capability/)

[graphs/potential-within-capability/](https://support.minitab.com/es-mx/minitab/18/help-and-how-to/quality-and-process-improvement/capability-analysis/how-to/capability-analysis/normal-capability-analysis/interpret-the-results/all-statistics-and-graphs/potential-within-capability/)

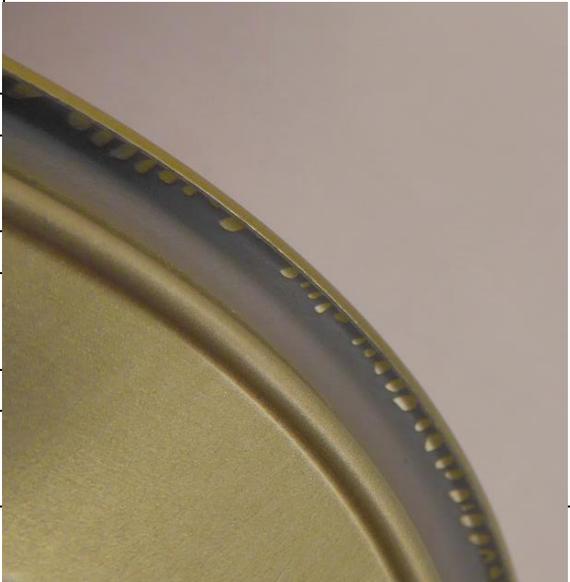
Vargas, B. C. (2017). Validación estadística de los procesos de formado y remachado en una línea de producción de dispositivos médicos utilizados en la remoción de pólipos. San José, Costa Rica.

Vélez, L. M. (2010). Permeabilidad y Porosidad en Concreto. *Tecno Lógica*, 14- 20.

## ANEXO

**PRUEBA PILOTO DE CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS EN LA SECCIÓN DE FÁCIL  
APERTURA DE AUXILIAR CONSERVERA**

QRQC EJEMPLO

1		INFORMACIÓN GENERAL		2		VISUALIZACIÓN DE COMPONENTE/MÁQUINA			
FECHA DE INICIO	02/07/2020	Nº QRQC	214	OK COMPONENTE/OK MÁQUINA					
MÁQUINA/COMPONENTE	PRENSA								
QRQC DENUNCIANTE	DEPARTAMENTO CALIDAD								
QRQC LEADER	ANTONIO ABELLÁN OLIVARES								
<b>5W(What/Why/Where/When/Who) y 2H (How/How many)</b>									
<b>¿QUÉ HA SUCEDIDO?</b>									
RECHAZO MATERIAL POR POROSIDAD EN PANELLING INTERIOR									
<b>¿POR QUÉ ES UN PROBLEMA?</b>									
POSIBLES PROBLEMAS ORGANOLÉPTICOS DEL ENVASADO EN EL FUTURO									
<b>¿CUÁNDO FUE DETECTADO? ¿DESDE CUANDO TENEMOS ESE PROBLEMA?</b>								NO OK COMPONENTE/NO OK MÁQUINA	
01/07/2020									
<b>¿DÓNDE FUE DETECTADO?</b>									
LABORATORIO CALIDAD									
<b>¿QUIÉN LO HA DETECTADO?</b>									
OPERARIO DE CALIDAD									
<b>¿CÓMO FUE DETECTADO?</b>									
REALIZANDO PRUEBA DE POROSIDAD									

**PRUEBA PILOTO DE CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS EN LA SECCIÓN DE FÁCIL  
APERTURA DE AUXILIAR CONSERVERA**

¿CUÁNTOS COMPONENTES/MÁQUINAS SE HAN VISTO AFECTADOS?							
PALÉ DE TAPAS							
3	MEDIDAS DE CONTENCIÓN			4	ANÁLISIS DE OCURRENCIA		
MEDIDAS DE CONTENCIÓN	QUIÉN	FECHA	STATUS	¿POR QUÉ HA SUCECIDO?			
RETIRO DEL PALÉ	DPO.CALIDAD	01/07/2020	BLOQUEADO	1ºPOR QUÉ	MEDIDA INADECUADA PARA EL BULBO		
				2º POR QUÉ	VARIACIÓN ENSAMBLAJE ANILLA-TAPA		
5	CONTRAMEDIDAS				6	CIERRE QRQC	
ACCIONES CORRECTIVAS PERMANENTES			QUIÉN	FECHA	STATUS	FECHA	03/07/2020
AJUSTE DE BULBO			OPERARIO	01/07/2020	APTO	FIRMA	
AJUSTE DE ENSAMBLAJE			OPERARIO	01/07/2020	APTO		

**TABLA CONSTANTES PARA CÁLCULO DE LOS LÍMITES DE CONTROL**

Observaciones en la muestra, <i>n</i>	Carta de promedios				Carta para desviaciones estándar						Carta para rangos					
	Factores para los límites de control			Factores para la línea central	Factores para los límites de control				Factores para la línea central	Factores para los límites de control						
	<i>A</i>	<i>A</i> <sub>2</sub>	<i>A</i> <sub>3</sub>	<i>c</i> <sub>4</sub>	<i>1/c</i> <sub>4</sub>	<i>B</i> <sub>3</sub>	<i>B</i> <sub>4</sub>	<i>B</i> <sub>5</sub>	<i>B</i> <sub>6</sub>	<i>d</i> <sub>2</sub>	<i>1/d</i> <sub>2</sub>	<i>d</i> <sub>3</sub>	<i>D</i> <sub>1</sub>	<i>D</i> <sub>2</sub>	<i>D</i> <sub>3</sub>	<i>D</i> <sub>4</sub>
2	2.121	1.880	2.659	0.7979	1.2533	0	3.267	0	2.606	1.128	0.8865	0.853	0	3.686	0	3.267
3	1.732	1.023	1.954	0.8862	1.3284	0	2.568	0	2.276	1.693	0.5907	0.888	0	4.358	0	2.575
4	1.500	0.729	1.628	0.9213	1.0854	0	2.266	0	2.088	2.059	0.4857	0.880	0	4.698	0	2.282
5	1.342	0.577	1.427	0.9400	1.0638	0	2.089	0	1.964	2.326	0.4299	0.864	0	4.918	0	2.115
6	1.225	0.483	1.287	0.9515	1.0510	0.030	1.970	0.029	1.874	2.534	0.3946	0.848	0	5.078	0	2.004
7	1.134	0.419	1.182	0.9594	1.0423	0.118	1.882	0.113	1.806	2.704	0.3698	0.833	0.204	5.204	0.076	1.924
8	1.061	0.373	1.099	0.9650	1.0363	0.185	1.815	0.179	1.751	2.847	0.3512	0.820	0.388	5.306	0.136	1.864
9	1.000	0.337	1.032	0.9693	1.0317	0.239	1.761	0.232	1.707	2.970	0.3367	0.808	0.547	5.393	0.184	1.816
10	0.949	0.308	0.975	0.9727	1.0281	0.284	1.716	0.276	1.669	3.078	0.3249	0.797	0.687	5.469	0.223	1.777
11	0.905	0.285	0.927	0.9754	1.0252	0.321	1.679	0.313	1.637	3.173	0.3152	0.787	0.811	5.535	0.256	1.744
12	0.866	0.266	0.886	0.9776	1.0229	0.354	1.646	0.346	1.610	3.258	0.3069	0.778	0.922	5.594	0.283	1.717
13	0.832	0.249	0.850	0.9794	1.0210	0.382	1.618	0.374	1.585	3.336	0.2998	0.770	1.025	5.647	0.307	1.693
14	0.802	0.235	0.817	0.9810	1.0194	0.406	1.594	0.399	1.563	3.407	0.2935	0.763	1.118	5.696	0.328	1.672
15	0.775	0.223	0.789	0.9823	1.0180	0.428	1.572	0.421	1.544	3.472	0.2880	0.756	1.203	5.741	0.347	1.653
16	0.750	0.212	0.763	0.9835	1.0168	0.448	1.552	0.440	1.526	3.532	0.2831	0.750	1.282	5.782	0.363	1.637
17	0.728	0.203	0.739	0.9845	1.0157	0.466	1.534	0.458	1.511	3.588	0.2787	0.744	1.356	5.820	0.378	1.622
18	0.707	0.194	0.718	0.9854	1.0148	0.482	1.518	0.475	1.496	3.640	0.2747	0.739	1.424	5.856	0.391	1.608
19	0.688	0.187	0.698	0.9862	1.0140	0.497	1.503	0.490	1.483	3.689	0.2711	0.734	1.487	5.891	0.403	1.597
20	0.671	0.180	0.680	0.9869	1.0133	0.510	1.490	0.504	1.470	3.735	0.2677	0.729	1.549	5.921	0.415	1.585
21	0.655	0.173	0.663	0.9876	1.0126	0.523	1.477	0.516	1.459	3.778	0.2647	0.724	1.605	5.951	0.425	1.575
22	0.640	0.167	0.647	0.9882	1.0119	0.534	1.466	0.528	1.448	3.819	0.2618	0.720	1.659	5.979	0.434	1.566
23	0.626	0.162	0.633	0.9887	1.0114	0.545	1.455	0.539	1.438	3.858	0.2592	0.716	1.710	6.006	0.443	1.557
24	0.612	0.157	0.619	0.9892	1.0109	0.555	1.445	0.549	1.429	3.895	0.2567	0.712	1.759	6.031	0.451	1.548
25	0.600	0.153	0.606	0.9896	1.0105	0.565	1.435	0.559	1.420	3.931	0.2544	0.708	1.806	6.056	0.459	1.541