

## VI. CAPACIDAD DE PROCESOS

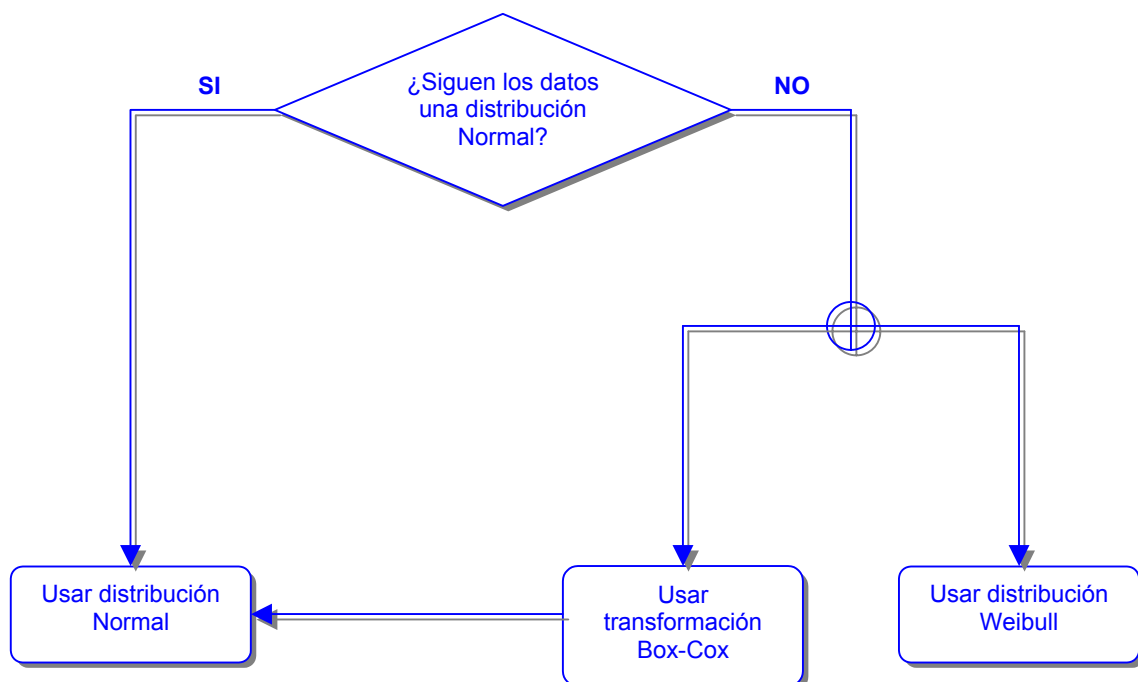
### INTRODUCCIÓN

Una vez hayamos comprobado que el proceso está bajo control, estaremos interesados en saber si es un **proceso capaz**, es decir, si cumple con las especificaciones técnicas deseadas.

Para determinar si un proceso es o no capaz haremos uso de herramientas gráficas (histogramas, gráficos de control, y gráficos de probabilidad). También utilizaremos los llamados **índices de capacidad**, que vendrán determinados por los cocientes entre la variación natural del proceso y el nivel de variación especificada. En principio, para que un proceso sea considerado capaz, su variación actual no debería representar más del 75% de la variación permitida.

El programa **Minitab** nos permite realizar análisis de capacidad basados en la **distribución normal** o en la **distribución Weibull**. La opción basada en el modelo normal nos proporciona un mayor número de estadísticos, si bien para usar esta opción es necesario que los datos originales sigan una distribución aproximadamente normal. Así, por ejemplo, esta opción nos dará estimaciones del número de unidades (o partes) por millón que no cumplen con las especificaciones. Tales estimaciones pueden transformarse en probabilidades de producir unidades que no cumplan con las especificaciones. Es importante recordar que para interpretar correctamente estos estadísticos es necesario que: (1) los datos se han obtenido a partir de un proceso bajo control, y (2) éstos siguen una distribución aproximadamente normal. De forma análoga, también es posible basarnos en el modelo Weibull para calcular las partes por millón que no cumplen con las especificaciones.

Si los datos siguen una distribución notablemente asimétrica, probabilidades basadas en el modelo normal no serían muy buenos estimadores de las verdaderas probabilidades de producir unidades que no cumplan con las especificaciones. En tal caso, podríamos optar por: (1) usar la transformación de Box-Cox para transformar los datos en otros cuya distribución sea aproximadamente normal, o (2) usar el modelo Weibull.



A continuación se presentan en una tabla las distintas opciones que ofrece el programa:

| OPCIÓN  | DESCRIPCIÓN   |
|---|---|
| <b>Análisis de Capacidad Normal</b>           | Dibuja un histograma de capacidad de las observaciones individuales superpuesto a una curva normal basada en la media y desviación estándar del proceso (lo cual permite visualizar el supuesto de normalidad). También incluye una tabla con índices de capacidad, tanto estadísticos a corto plazo como a largo plazo.  |
| <b>Análisis de Capacidad Weibull</b>          | Dibuja un histograma de capacidad de las observaciones individuales superpuesto a una curva Weibull basada en la forma y escala del proceso (lo cual permite visualizar el supuesto de que los datos siguen una Weibull). También incluye una tabla con índices de capacidad, todos ellos estadísticos a largo plazo.   |
| <b>Resumen (sixpack) de Capacidad Normal</b>  | Combina los siguientes gráficos junto a diversos índices de capacidad: <ul style="list-style-type: none"> <li>• X-barra (o Individuales), R (o MR), y gráfico de rachas, a partir de los cuales podemos estudiar si el proceso está o no bajo control</li> <li>• Un histograma de capacidad superpuesto a una curva normal, a partir del cual podemos analizar si se cumple la hipótesis de normalidad</li> <li>• Un gráfico de capacidad, el cual muestra la variabilidad del proceso comparándola con las especificaciones</li> </ul>                               |
| <b>Resumen (sixpack) de Capacidad Weibull</b> | Combina los siguientes gráficos junto a diversos índices de capacidad: <ul style="list-style-type: none"> <li>• X-barra (o Individuales), R (o MR), y gráfico de rachas, a partir de los cuales podemos estudiar si el proceso está o no bajo control</li> <li>• Un histograma de capacidad superpuesto a una curva Weibull, a partir del cual podemos analizar si se cumple la hipótesis de que los datos siguen dicha distribución</li> <li>• Un gráfico de capacidad, el cual muestra la variabilidad del proceso comparándola con las especificaciones</li> </ul> |

Los análisis basados en el modelo normal calculan tanto la **variación a corto plazo** como la **variación a largo plazo**, mientras que los basados en el modelo Weibull sólo calculan la variación a largo plazo. Los estadísticos o índices de capacidad asociados a la variación a corto plazo son Cp, Cpk, CPU, y CPL; por otro lado, los índices de capacidad asociados a la variación a largo plazo son Pp, Ppk, PPU, y PPL.

Así, para calcular los estadísticos Cp, Cpk, CPU, y CPL, se estima la variación (a corto plazo) a partir de la variación dentro de los subgrupos, pero no se consideran las diferencias entre los distintos subgrupos. Por tal motivo, estos índices representan la **capacidad potencial**, i.e., estiman la capacidad del proceso bajo la hipótesis de que no existen diferencias entre las medias de los subgrupos.

Por su parte, los estadísticos Pp, Ppk, PPU, y PPL estiman la **capacidad global** o a largo plazo del proceso. Al calcular tales estadísticos, se estima la variabilidad a largo plazo considerando para ello todo tipo de variación, tanto la que se produce dentro de los subgrupos como la que se produce entre ellos.

La capacidad global o a largo plazo nos dice cómo se está comportando el proceso respecto a las especificaciones prefijadas. La capacidad potencial o a corto plazo nos dice cómo se comportaría el proceso si consiguiésemos eliminar la variabilidad entre los distintos subgrupos. La existencia de diferencias entre ambas capacidades nos indica la oportunidad de mejorar del proceso respecto a su estado actual.

## ANÁLISIS DE CAPACIDAD (MODELO NORMAL)

Usaremos el análisis de capacidad con el modelo normal cuando los datos provengan de una distribución aproximadamente normal. El informe que genera el programa incluye un histograma de capacidad con una curva normal superpuesta, y una tabla completa de índices de capacidad a corto y largo plazo. La curva normal se obtiene usando la media y desviación típica muestral.

El informe también incluye otros estadísticos de los datos del proceso, tales como la media, el valor esperado a priori u objetivo (en caso de haberlo indicado), la tolerancia natural del proceso, las desviaciones estándar a corto y largo plazo, las especificaciones del proceso, el comportamiento observado, y los comportamientos esperados a corto y largo plazo. De esta forma, el informe permite analizar de forma visual si los datos siguen o no un patrón normal, si el proceso está o no centrado en el objetivo, y si el proceso es capaz o no (es decir, si cumple con las especificaciones preestablecidas).

Los **índices de capacidad** son estimaciones numéricas de la capacidad del proceso, es decir, nos dan una idea de cuán capaz es el proceso (a qué nivel cumple con las especificaciones). Estos estadísticos son muy útiles ya que, aparte de ser sencillos de calcular, no tienen unidades de medida, por lo que permiten comparar distintos procesos. Básicamente, **son el cociente entre la amplitud tolerable del proceso** (la distancia entre los límites de tolerancia o límites de especificación), **y la amplitud real o natural del proceso** (recordemos que, habitualmente, la distancia entre los límites de control es de 6 sigma). Algunos de estos estadísticos se definen a partir de la media del proceso o del objetivo.

Los índices de capacidad asociados con la variación a corto plazo son Cp, Cpk, CPU, y CPL; por otro lado, los asociados con la variación a largo plazo son Pp, Ppk, PPU, y PPL. En la práctica, se suele considerar que 1,33 es el valor mínimo aceptable para un índice de capacidad (es decir, cualquier valor por debajo de esta cifra indicaría que, aunque esté bajo control estadístico, el proceso no cumple con las especificaciones deseadas).

A continuación se muestran algunas referencias sobre cuándo usar cada uno de los índices:

| ÍNDICE    | USO  | DEFINICIÓN   | FORMULA  |
|-----------|--|--|--|
| Cp o Pp   | El proceso está centrado en los límites de especificación                                  | Es el radio entre la amplitud permitida (distancia entre los límites de especificación) y la amplitud natural  | $(LES - LEI) / 6\sigma$                                    |
| Cpk o Ppk | El proceso no está centrado en los límites de especificación, pero está contenido en ellos | Es el cociente entre la amplitud permitida y la amplitud natural, teniendo en cuenta la media del proceso respecto al punto medio de ambas límites de especificación | $\text{Min}\{ (LES - \mu)/3\sigma, (\mu - LEI)/3\sigma \}$ |
| CPU o PPU | El proceso sólo tiene un límite de especificación superior                                 |  | $(LES - \mu) / 3\sigma$                                    |
| CPL o PPL | El proceso sólo tiene un límite de especificación inferior                                 |  | $(\mu - LEI) / 3\sigma$                                    |

**Ejemplo (análisis de capacidad normal):** Supongamos que trabajamos para la industria del automóvil, concretamente en el departamento de ensamblaje de motores. Una de las partes del motor debe tener una longitud de  $600 \pm 2$  mm para satisfacer las especificaciones técnicas. Hemos tenido un problema con algunas de estas partes, las cuales no cumplían las citadas especificaciones.

Tales partes pueden provenir de dos suministradores distintos y externos a la empresa. Tras realizar un gráfico de control X-barra/R, observamos que las partes obtenidas del suministrador 2 provenían de un proceso que estaba fuera de control, por lo que optamos por prescindir de sus servicios hasta que su producción vuelva a estar bajo control.

Una vez parada la adquisición de partes provenientes del suministrador 2, observamos que el número de defectos en la línea de ensamblaje ha descendido significativamente, aunque los problemas no han desaparecido por completo. Decidimos pues realizar un análisis de capacidad para estudiar si el suministrador 1 es capaz, él sólo, de cumplir con nuestras especificaciones técnicas. Los datos sobre el tamaño de las partes provenientes de este suministrador se guardan en el archivo [partes.mtw](#).

☞ Seleccionar *Stat > Quality Tools > Capability Analysis (Normal)*:

**Capability Analysis (Normal Distribution)**

Data are arranged as

Single column: 'Sumin\_1'

Subgroup size: 5  
(use a constant or an ID column)

Subgroups across rows of:

Lower spec: 598  Hard limit

Upper spec: 602  Hard limit

Historical mean:  (optional)

Historical sigma:  (optional)

Buttons: Estimate..., Options..., Select, Help, OK, Cancel

**Normal Capability Analysis - Options**

Box-Cox power transformation ( $W = Y^{**}\Lambda$ )

Lambda = 0 (natural log)

Lambda = 0.5 (square root)

Other (enter a value between -5 and 5):

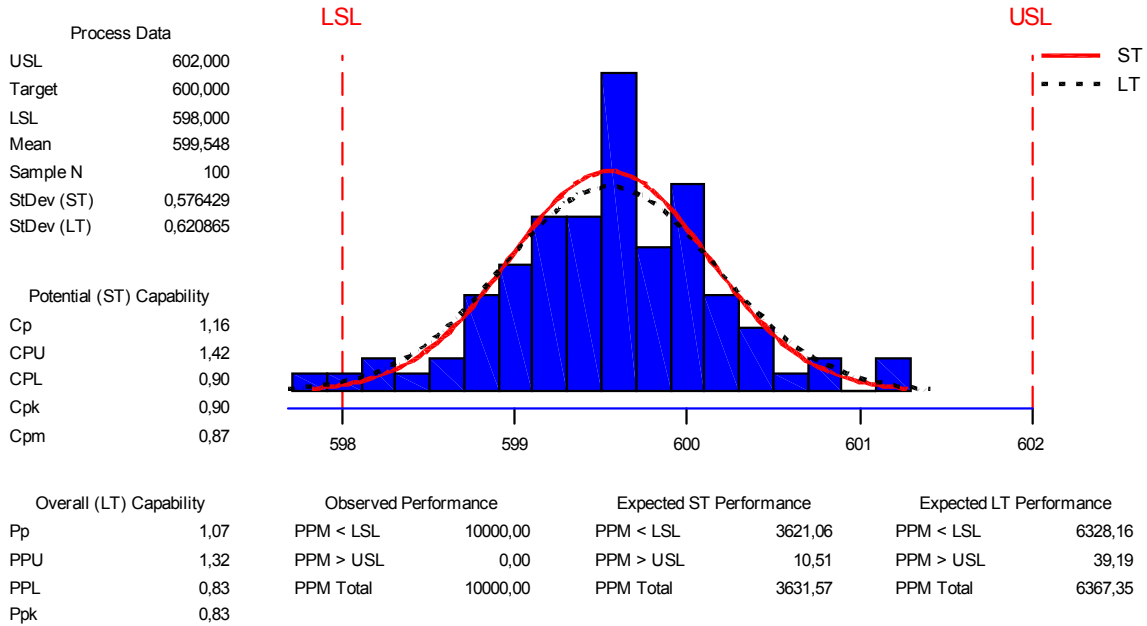
Target (adds Cpm to table): 600

Calculate statistics using: 6.0 sigma tolerance

Title:

Buttons: Help, OK, Cancel

Process Capability Analysis for Sumin\_1



Para poder interpretar correctamente los índices de capacidad obtenidos necesitamos verificar primero que nuestros datos provienen de una distribución aproximadamente normal, lo cual parece cumplirse a raíz del histograma anterior.

Podemos ver, sin embargo, que la media del proceso es algo inferior al objetivo, y que la cola izquierda de la distribución cae fuera del límite de especificación inferior (LSL en el gráfico). Esto significa que veremos ocasionalmente algunas partes que no cumplen la especificación inferior de 598 mm.

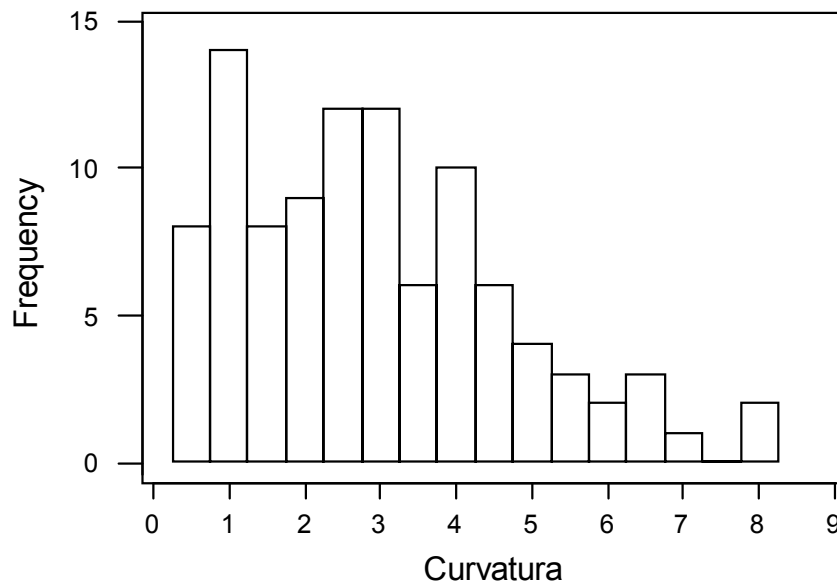
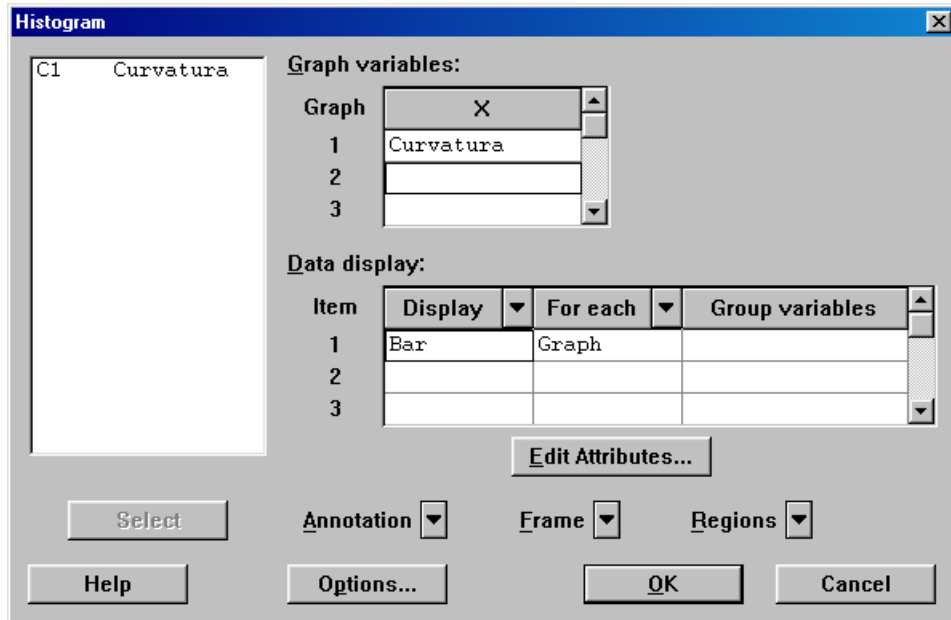
El índice Cpk nos sirve para determinar si el proceso generará unidades que verifiquen las especificaciones. En este caso, el Cpk para el suministrador 1 es de sólo 0,90. Ello significa que nuestro suministrador debe mejorar su proceso vía una reducción de la variación y un mejor ajustado al objetivo.

De forma similar, el valor de PPM < LSL (i.e., el número esperado de partes por millón cuya longitud será inferior al LEI) es de 3621,06.

**Ejemplo (análisis de capacidad usando Box-Cox):** Supongamos que trabajamos en una fábrica que produce baldosas para el suelo, y que estamos interesados en estudiar la curvatura de las mismas a fin de garantizar la calidad de la producción. A tal efecto, medimos la curvatura de 10 muestras diarias durante un período total de 10 días. Los datos están contenidos en el archivo `baldosas.mtw`.

En primer lugar, realizaremos un histograma de los datos:

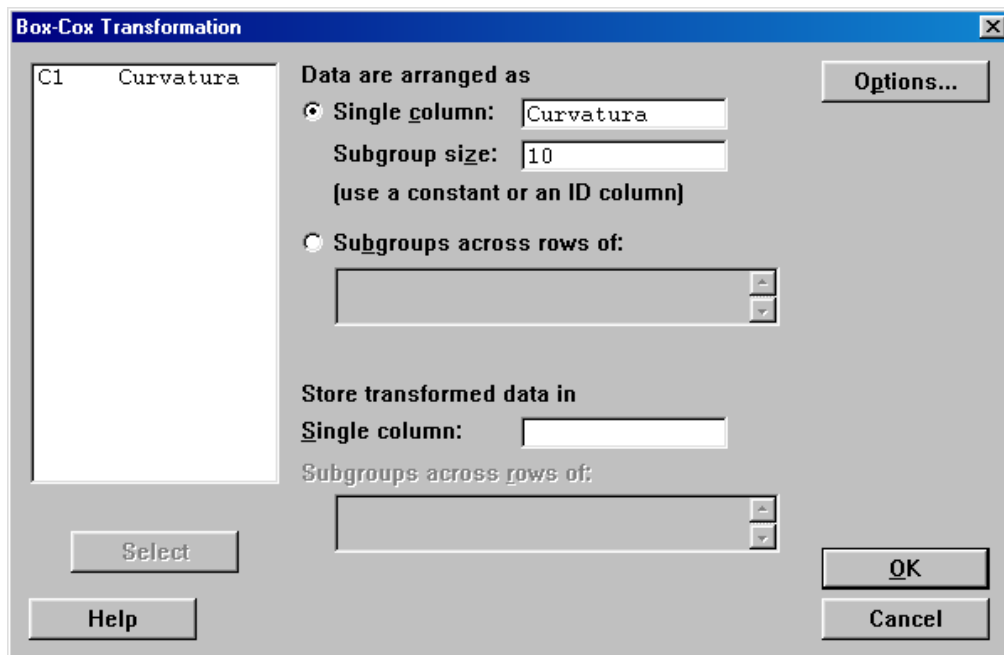
☞ Seleccionar **Graph > Histogram** :



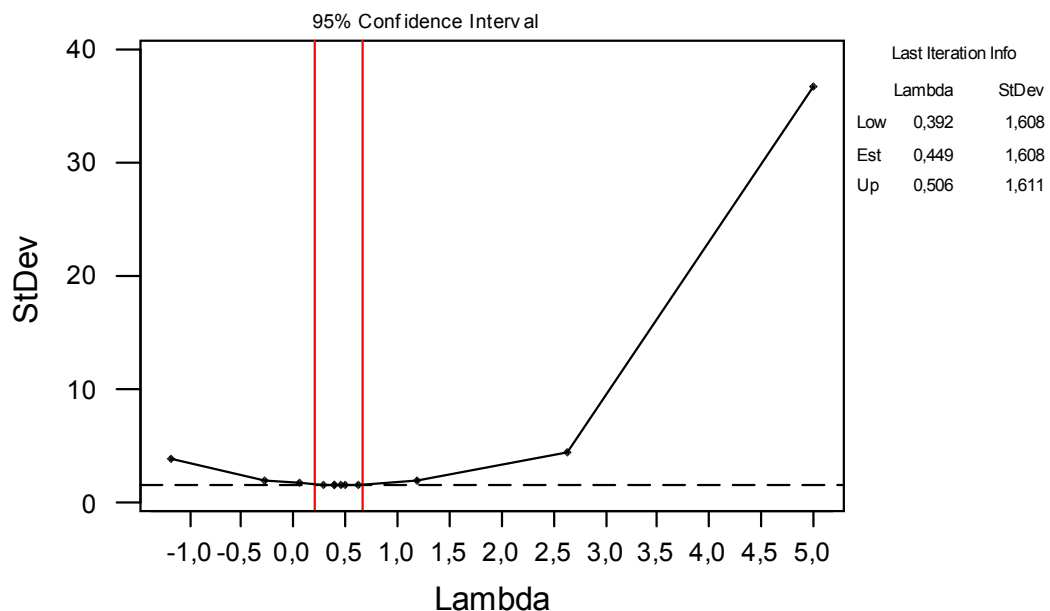
El histograma anterior muestra claramente que los datos no se distribuyen normalmente, por lo que optaremos por usar una transformación de Box-Cox a fin de obtener datos cuya distribución se aproxime a la de una normal.

En primer lugar, deberemos hallar el valor de  $\lambda$  óptimo para realizar la transformación. Después, realizaremos el análisis de capacidad eligiendo la opción transformación Box-Cox con el  $\lambda$  obtenido:

☐ Seleccionar *Stat > Control Charts > Box-Cox Transformation* :

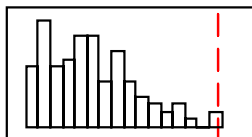
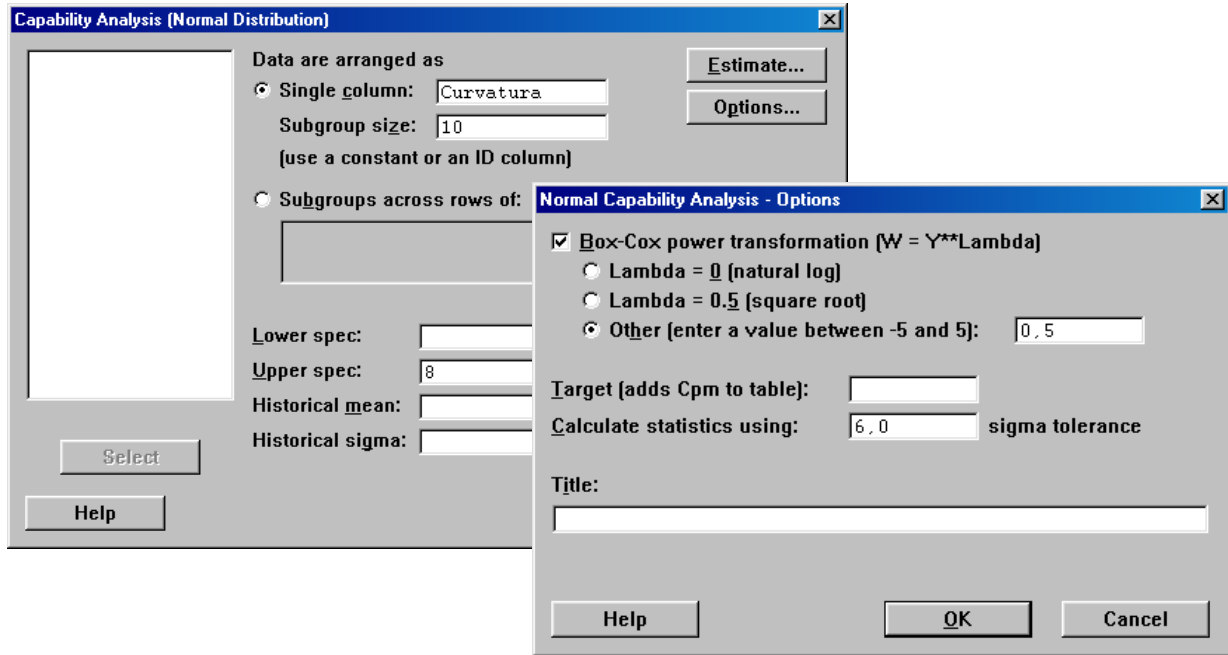


### Box-Cox Plot for Curvatura



Observamos que el mejor estimador para  $\lambda$  es 0,449. A efectos prácticos, podríamos tomar  $\lambda = 0,5$  ya que esta transformación (la raíz cuadrada) es mucho más intuitiva y además está dentro del intervalo de confianza del 95% (denotado por las líneas rojas verticales). Por tanto, realizaremos ahora un análisis de capacidad usando una transformación de Box-Cox con  $\lambda = 0,5$ :

☐ Seleccionar *Stat > Quality Tools > Capability Analysis (Normal)* :



### Process Capability Analysis for Curvatura

Box-Cox Transformation, With Lambda = 0,5

Process Data

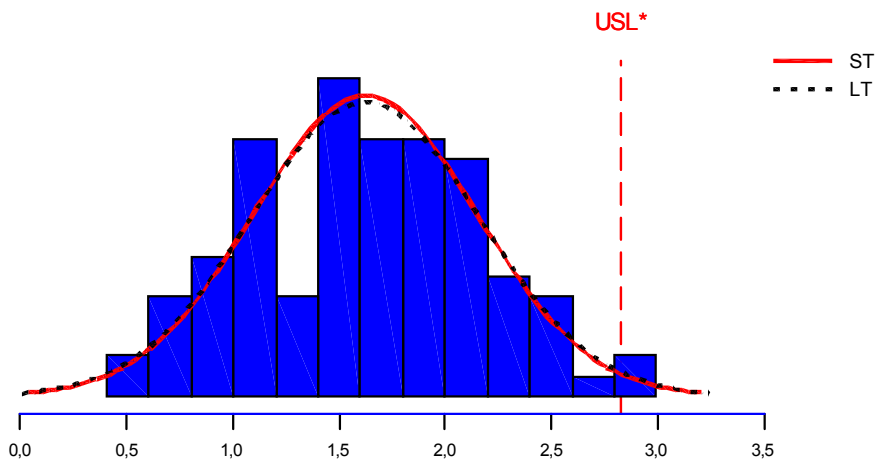
|             |         |
|-------------|---------|
| USL         | 8,00000 |
| USL*        | 2,82843 |
| Target      | *       |
| LSL         | *       |
| LSL*        | *       |
| Mean        | 2,92307 |
| Mean*       | 1,62374 |
| Sample N    | 100     |
| StDev (ST)  | 1,75687 |
| StDev* (ST) | 0,52794 |
| StDev (LT)  | 1,79048 |
| StDev* (LT) | 0,53934 |

Potential (ST) Capability

|     |      |
|-----|------|
| Cp  | *    |
| CPU | 0,76 |
| CPL | *    |
| Cpk | 0,76 |
| Cpm | *    |

Overall (LT) Capability

|     |      |
|-----|------|
| Pp  | *    |
| PPU | 0,74 |
| PPL | *    |
| Ppk | 0,74 |



| Observed Performance |          | Expected ST Performance |          | Expected LT Performance |          |
|----------------------|----------|-------------------------|----------|-------------------------|----------|
| PPM < LSL            | *        | PPM < LSL               | *        | PPM < LSL               | *        |
| PPM > USL            | 20000,00 | PPM > USL               | 11248,77 | PPM > USL               | 12754,26 |
| PPM Total            | 20000,00 | PPM Total               | 11248,77 | PPM Total               | 12754,26 |

Como se puede apreciar en el histograma central, la transformación utilizada ha logrado “normalizar” los datos. Por tanto, los índices de capacidad obtenidos serán válidos.

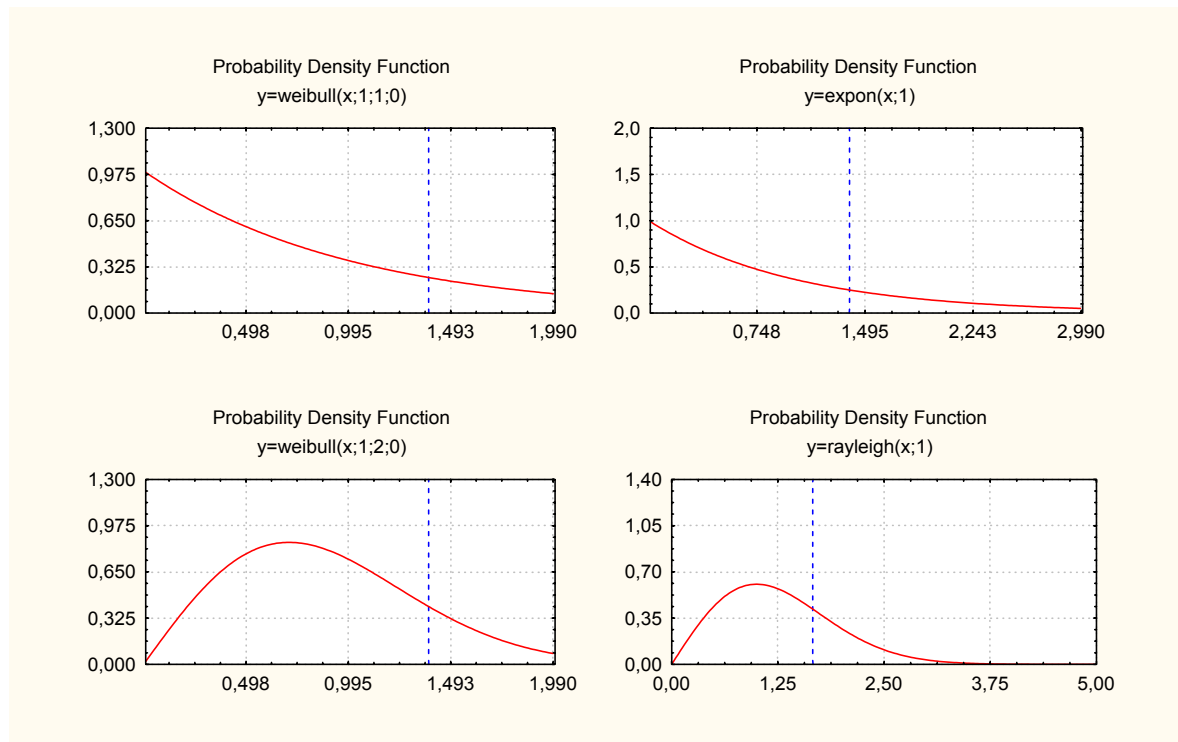
Dado que sólo introdujimos el límite de especificación superior, los índices que aparecen son el CPU y el Cpk. Ambos estadísticos valen 0,76, valor muy inferior a nuestro valor de referencia de 1,33. Por tanto, nuestro proceso no parece ser capaz. De hecho, también es posible apreciar en el histograma que algunos de los datos caen fuera del límite de especificación superior (línea roja vertical).

El siguiente paso sería realizar un análisis de capacidad para estos datos usando un modelo Weibull.

## ANÁLISIS DE CAPACIDAD (MODELO WEIBULL)

Conviene recordar en este punto que la distribución de Weibull es, en realidad, toda una familia de distribuciones que incluyen, como casos particulares, la distribución Exponencial y la de Rayleigh. Sus parámetros son la **forma** ( $\beta$ ) y la **escala** ( $\delta$ ).

La apariencia de la curva Weibull varía notablemente en función del valor de  $\beta$ . Así por ejemplo, para  $\beta=1$  tenemos una distribución Exponencial, mientras que para  $\beta=2$  estamos ante una distribución de Rayleigh:



Como ya dijimos en la introducción, usaremos el análisis de capacidad modelo Weibull cuando los datos sigan una distribución que se pueda aproximar por una Weibull. El informe que se genera incluye un histograma de capacidad superpuesto a una curva Weibull (cuyos parámetros se estiman a partir de las observaciones), junto con una tabla de índices de capacidad a largo plazo.

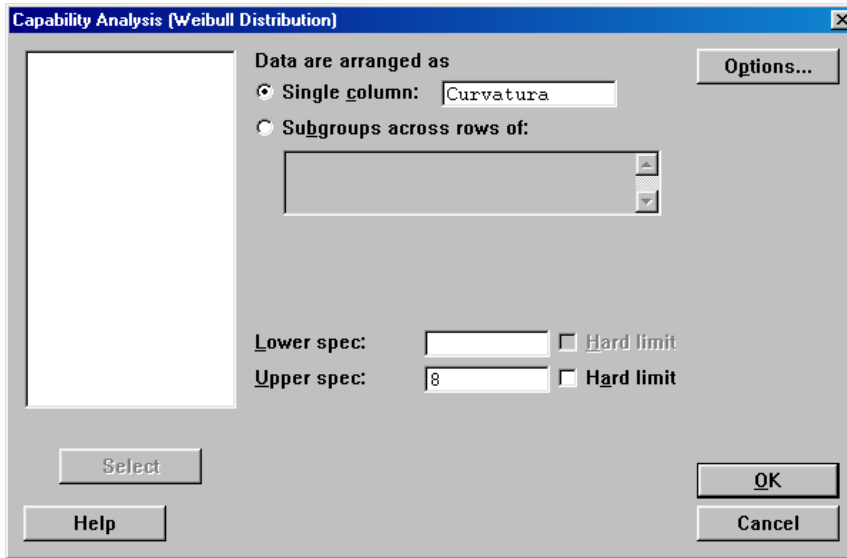
También se incluyen en el informe otros estadísticos asociados al proceso, tales como la media, los parámetros de la distribución (forma y escala), el objetivo (si se ha especificado), la tolerancia natural o real del proceso, los límites de especificación, la capacidad real a largo plazo, etc.

De esta forma, el informe permite determinar de forma visual el comportamiento del proceso respecto al objetivo, analizar si los datos siguen una distribución Weibull, y estudiar la capacidad o no del proceso.

En el modelo Weibull, el programa calcula los índices de capacidad a largo plazo, i.e., Pp, Ppk, PPU, y PPL. Dichos cálculos se basan en estimadores de máxima verosimilitud para los parámetros de la distribución Weibull. En caso de estar interesados en calcular índices a corto plazo (como el Cp y el Cpk) para datos no normales, deberemos usar el modelo normal aplicando antes una transformación de Box-Cox.

**Ejemplo (análisis de capacidad Weibull):** Volveremos a nuestro ejemplo anterior de las baldosas (*baldosas.mtw*) para realizar ahora un análisis de capacidad basado en el modelo Weibull.

Seleccionar *Stat > Quality Tools > Capability Analysis (Weibull)* :



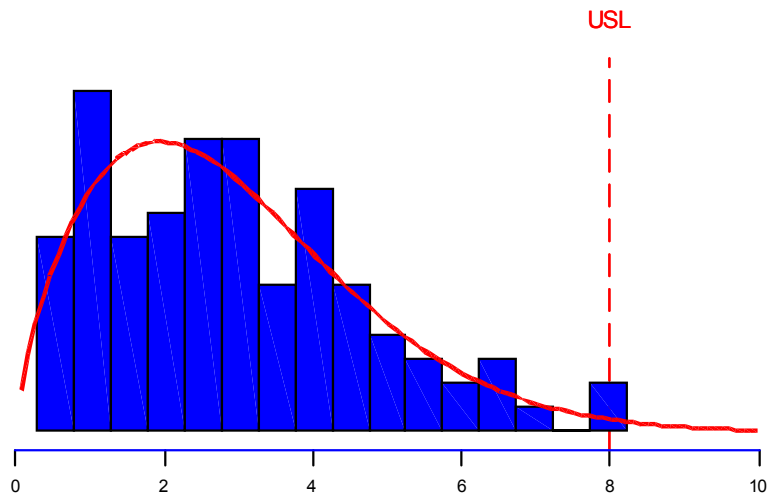
Process Data  
 USL 8,00000  
 Target \*  
 LSL \*  
 Mean 2,92564  
 Sample N 100  
 Shape 1,69368  
 Scale 3,27812

Process Capability Analysis for Curvatura  
 Calculations Based on Weibull Distribution Model

Overall (LT) Capability  
 Pp \*  
 PPU 0,77  
 PPL \*  
 Ppk 0,77

Observed LT Performance  
 PPM < LSL \*  
 PPM > USL 20000,00  
 PPM Total 20000,00

Expected LT Performance  
 PPM < LSL \*  
 PPM > USL 10764,53  
 PPM Total 10764,53



En primer lugar, observamos que el histograma de capacidad parece confirmar que los datos se pueden aproximar bastante bien por una Weibull.

De todas formas, se aprecia que la cola derecha de la distribución cae fuera del límite de especificación superior. Ello significa que hay baldosas cuya curvatura supera el valor especificado de 8 mm.

Los índices Ppk y PPU nos ayudan a determinar si el proceso es o no capaz. Ambos índices valen 0,77, valor que queda bastante por debajo de nuestro valor de referencia 1,33. Parece pues que el proceso no es capaz (no cumple las especificaciones técnicas deseadas).

De igual forma, el valor de PPM > USL es de 20.000, lo que significa que en cada millón de baldosas producidas, 20.000 de ellas no cumplirán con las especificaciones sobre la curvatura.

## RESUMEN (SIXPACK) DE CAPACIDAD NORMAL

Usaremos esta opción cuando queramos generar un informe rápido y completo que nos permita analizar si un proceso es o no capaz. Este informe incluye las siguientes partes:

- Un gráfico de control X-barra (o Individuales)
- Un gráfico de control R (o MR)
- Un gráfico de rachas de los últimos 25 subgrupos (o datos individuales)
- Un histograma de las observaciones
- Un gráfico de probabilidad Normal
- Un gráfico de capacidad del proceso
- Índices de capacidad a corto plazo (Cp, Cpk), y a largo plazo (Pp, Ppk)

Los gráficos X-barra y R, junto con el de rachas nos permitirán determinar si el proceso está o no bajo control estadístico. El histograma y el gráfico de probabilidad normal nos permitirán verificar el supuesto de que los datos se distribuyen según una Normal. Finalmente, el gráfico de capacidad nos proporciona información visual de la variabilidad del proceso en comparación con la variabilidad permitida. Al combinar toda esta información con los índices de capacidad, deberíamos ser capaces de:

- (1) determinar si el proceso está bajo control, y
- (2) si el proceso cumple con las especificaciones técnicas (es capaz).

**Ejemplo (sixpack normal):** Regresando a nuestro ejemplo de la cadena de ensamblaje para motores (archivo [partes.mtw](#)), veamos cómo podríamos aplicar aquí la opción “sixpack” en el caso de nuestro suministrador 1:

☞ Seleccionar *Stat > Quality Tools > Capability Sixpack (Normal)* :

**Capability Sixpack (Normal Distribution)**

Data are arranged as

Single column: 'Sumin\_1'

Subgroup size: 5

(use a constant or an ID column)

Subgroups across rows of:

Lower spec: 598

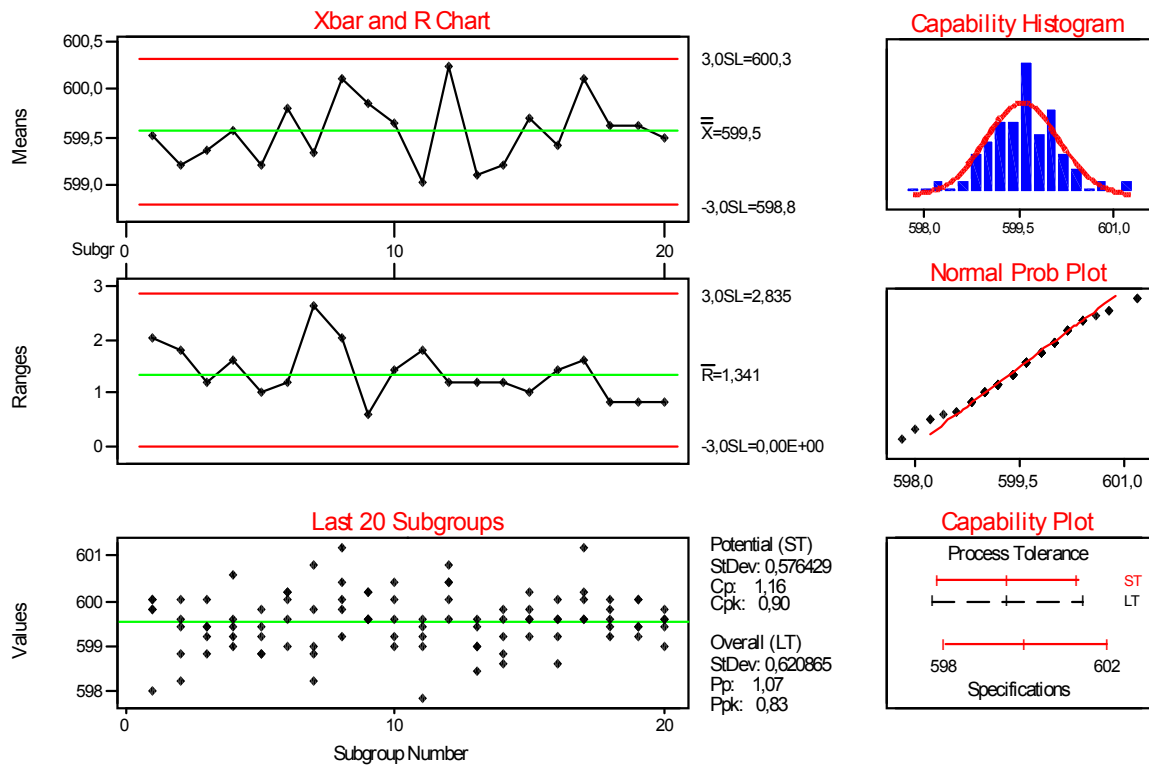
Upper spec: 602

Historical mean: [ ] [optional]

Historical sigma: [ ] [optional]

Buttons: Tests..., Estimate..., Options..., Select, Help, OK, Cancel

## Process Capability Sixpack for Sumin\_1



En ambos gráficos de control (X-barra y R), se observa que los puntos siguen un patrón aleatorio y que en ningún caso éstos exceden los límites de control, por lo que podemos considerar que el proceso productivo de nuestro suministrador 1 está bajo control estadístico. Conviene recordar aquí la importancia de comparar el comportamiento evolutivo de los puntos en X-barra y R para ver si ambos están relacionados. En este caso no se aprecia ningún tipo de dependencia.

Los puntos del diagrama de rachas forman una nube aleatoria y bastante horizontal, en la que no se observan tendencias ni desplazamientos. Ello también contribuye a considerar que el proceso está bajo control y se muestra estable.

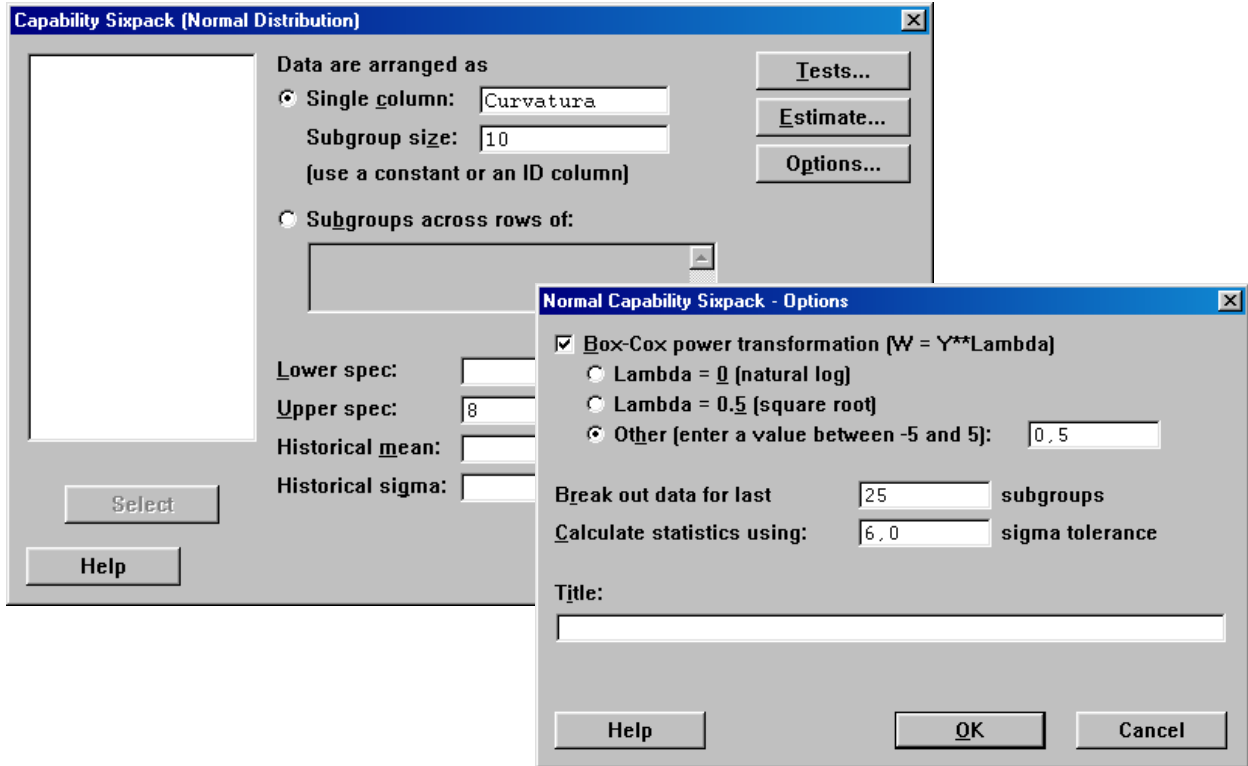
Para poder interpretar correctamente los índices de capacidad obtenidos, debemos comprobar que se verifica la hipótesis de normalidad. A raíz de lo que muestran tanto el histograma como el gráfico de probabilidad, no parece haber mayor problema en este sentido.

Sin embargo, llegados al gráfico de capacidad observamos que la tolerancia del proceso cae por debajo del límite de especificación inferior. Esto significa que nos encontraremos piezas que no cumplan con la especificación mínima de medir 598 mm.

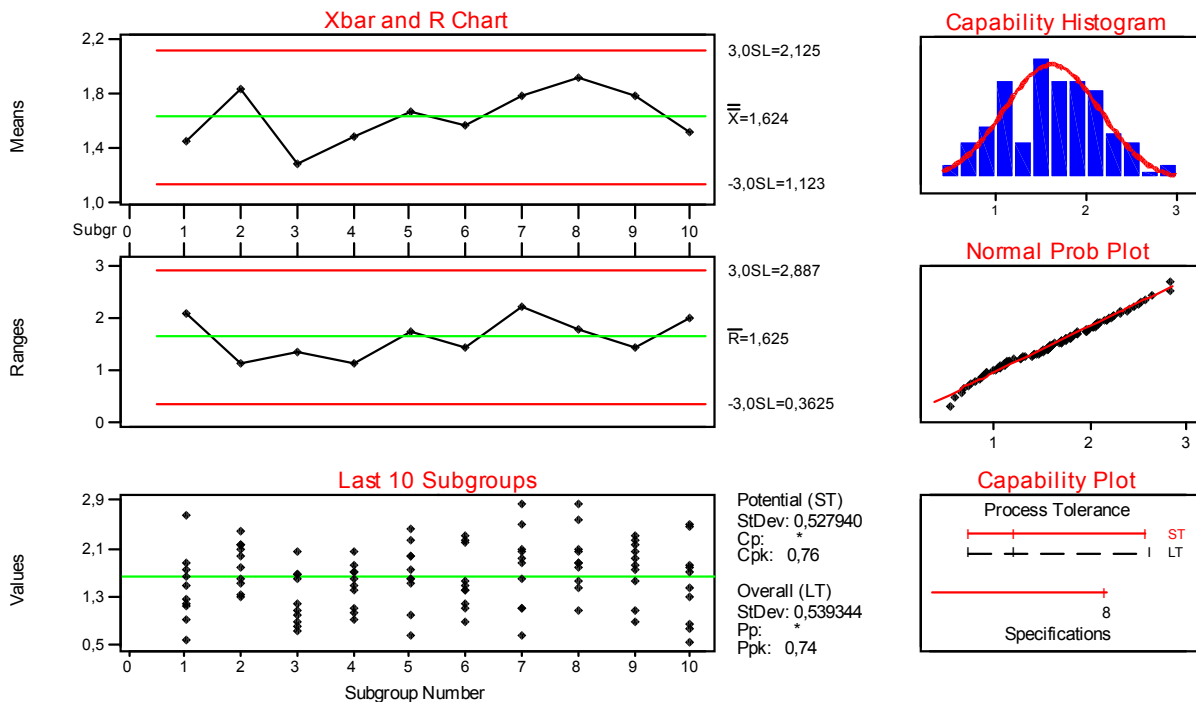
De forma coherente con el gráfico de capacidad, el valor de los índices Cp (1,16) y Cpk (0,90) es inferior a nuestro valor de referencia (1,33), por lo que concluimos que nuestro suministrador 1 necesitará mejorar su proceso de producción para lograr que éste sea capaz.

**Ejemplo (sixpack normal usando Box-Cox):** Volvamos ahora al ejemplo de la fábrica de baldosas para el suelo ( baldosas.mtw ). En un análisis anterior ya dedujimos que era oportuno aplicar una transformación Box-Cox a los datos con  $\lambda = 0,5$ . Veamos cómo generar un informe “sixpack” en tales condiciones:

☐ Seleccionar *Stat > Quality Tools > Capability Sixpack (Normal)* :



Process Capability Sixpack for Curvatura  
Box-Cox Transformation With Lambda = 0,5



Una vez más, comprobamos que tanto en el gráfico X-barra como en el R los puntos se distribuyen de forma aleatoria y dentro de los límites de control, por lo que el proceso parece estable. Además, no parece existir relación alguna entre el comportamiento de los puntos en un gráfico y el en el otro.

Por su parte, la nube de puntos que aparece en el gráfico de rachas parece no seguir ninguna tendencia especial, y su forma horizontal refuerza la idea de un proceso bajo control.

A partir del histograma y del gráfico de probabilidad, podemos pensar que los datos (tras la transformación Box-Cox) se distribuyen de forma aproximadamente normal, por lo que los índices que obtengamos serán válidos a la hora de interpretar la capacidad del proceso.

Finalmente, constatamos que el proceso no parece cumplir con las especificaciones: en el gráfico de capacidad ya vemos cómo la tolerancia del proceso excede el límite de especificación superior, idea que resulta coherente con el hecho de que los índices de capacidad Cpk y Ppk sean ambos inferiores al valor de referencia 1,33.

## RESUMEN (SIXPACK) DE CAPACIDAD WEIBULL

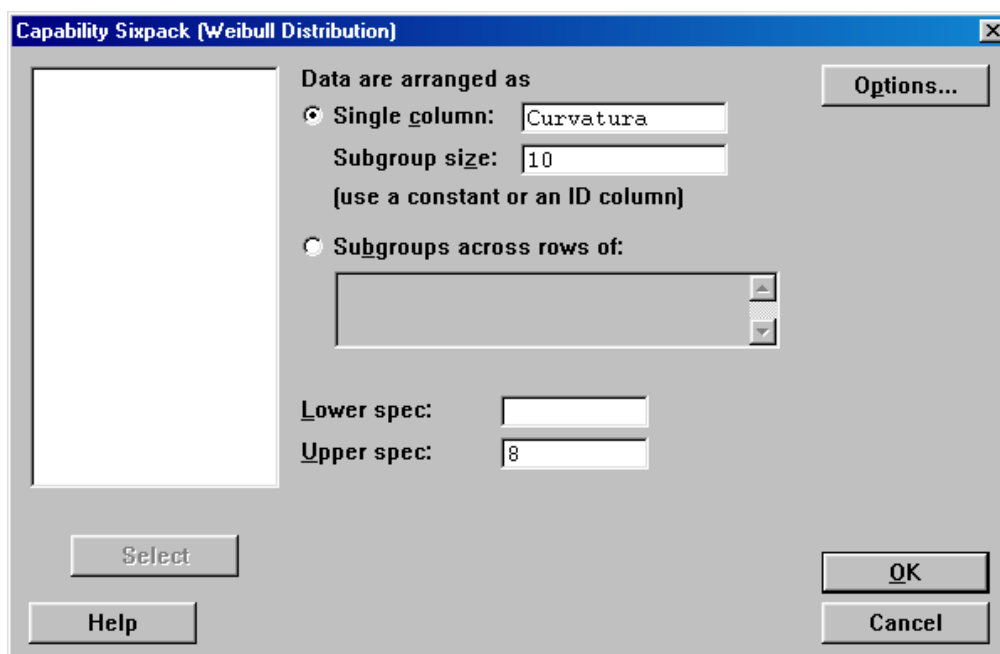
Usaremos esta opción cuando queramos generar un informe rápido y completo que nos permita analizar si un proceso es o no capaz. Este informe es análogo al del modelo normal con los cambios correspondientes:

- Un gráfico de probabilidad Weibull
- Índices de capacidad a largo plazo (Pp, Ppk)

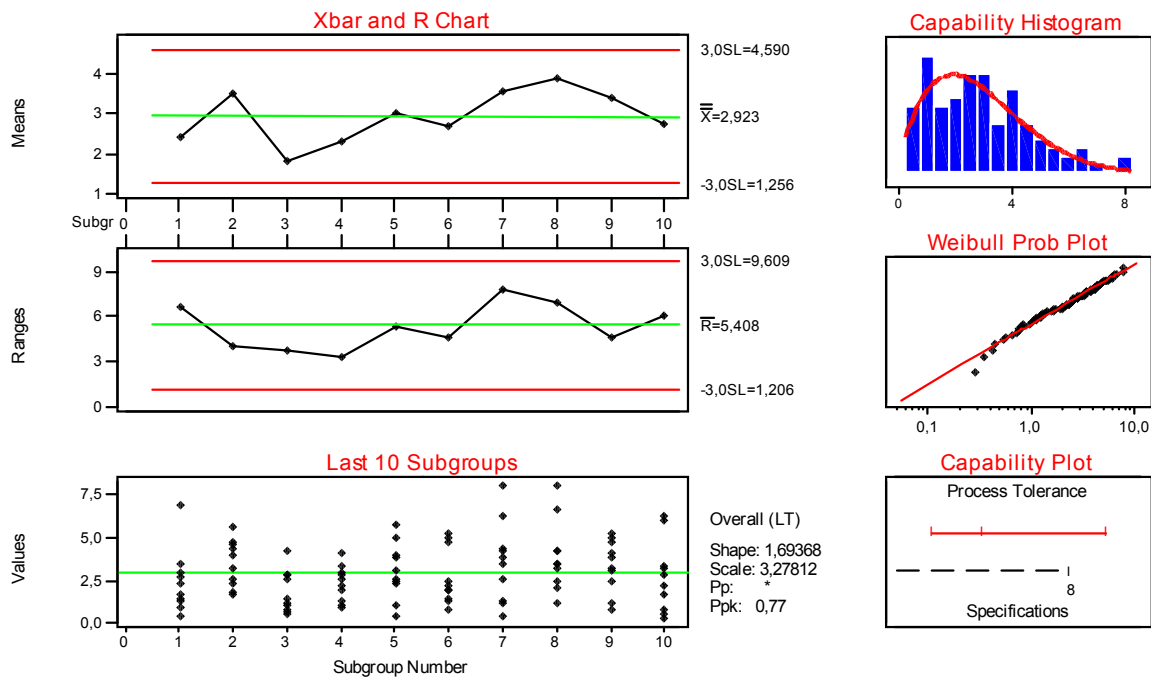
De forma análoga al modelo normal, los gráficos X-barra y R, junto con el de rachas nos permitirán determinar si el proceso está o no bajo control estadístico. El histograma y el gráfico de probabilidad Weibull nos permitirán verificar el supuesto de que los datos se distribuyen según una Weibull. Finalmente, el gráfico de capacidad nos proporciona información visual de la variabilidad del proceso en comparación con la variabilidad permitida. Al combinar toda esta información con los índices de capacidad, deberíamos ser capaces de determinar si el proceso está bajo control y de confirmar si el proceso cumple con las especificaciones técnicas (es un proceso capaz).

**Ejemplo (sixpack Weibull):** Continuando con el ejemplo de las baldosas, veamos cómo podríamos aplicar aquí la opción “sixpack” sin recurrir a una transformación Box-Cox:

☞ Seleccionar *Stat > Quality Tools > Capability Sixpack (Weibull)* :



## Process Capability Sixpack for Curvatura



En ambos gráficos de control (X-barra y R), se observa que los puntos siguen un patrón aleatorio y que en ningún caso éstos exceden los límites de control, por lo que podemos considerar que el proceso productivo está bajo control estadístico. Conviene recordar aquí la importancia de comparar el comportamiento evolutivo de los puntos en X-barra y R para ver si ambos están relacionados. En este caso no se aprecia ningún tipo de dependencia.

Los puntos del diagrama de rachas forman una nube aleatoria y bastante horizontal, en la que no se observan tendencias ni desplazamientos. Ello también contribuye a considerar que el proceso está bajo control y se muestra estable.

Para poder interpretar correctamente los índices de capacidad obtenidos, debemos comprobar que se verifica la hipótesis de que los datos se distribuyen siguiendo una Weibull. A raíz de lo que muestran tanto el histograma como el gráfico de probabilidad, no parece haber mayor problema en este sentido.

Sin embargo, llegados al gráfico de capacidad observamos que la tolerancia del proceso excede con mucho el límite de especificación superior. Esto significa que nos encontraremos con baldosas que no cumplan con la especificación máxima de 8 mm.

De forma coherente con el gráfico de capacidad, el valor del índice Ppk es inferior a nuestro valor de referencia (1,33), por lo que concluimos que nuestro proceso no es capaz.