

Universidad Internacional de La Rioja
Máster Universitario en Dirección de Operaciones y Calidad

Aseguramiento de la Calidad del Proceso con el Indicador "Capacidad del Proceso"

Proyecto Fin de Máster
presentado por: Oscar Romero Pérez
Director/a: Dr. César Andrés Sánchez

Ciudad: Logroño

Fecha: 18 de febrero de 2021

Firmado por:

CATEGORÍA TESAURO:

AGRADECIMIENTOS

A la **Universidad Internacional de La Rioja, UNIR**, porque este trabajo no podría haberse realizado sin los conocimientos adquiridos en el presente Máster; aportándome las nociones necesarias para llevar a cabo este trabajo.

La realización del presente Trabajo Final de Máster es fruto de las orientaciones, sugerencias y dirección del profesor **Dr. César Andrés Sánchez**, a quien agradezco el tiempo dedicado y sus indicaciones.

Asimismo, agradecer la colaboración de la empresa **Bexiflon, SL** para la realización de este trabajo, y en especial de **Oscar Peciña Iturbe** como principal exponente de la misma, y así como a **Carlos García Bacho** de **cgiconsultores** por su labor de coordinación durante la realización del presente trabajo.

DEDICATORIA

Dedicado con amor y cariño a **Maite** y **Víctor**.

RESUMEN

El presente Trabajo Fin de Master versa sobre el aseguramiento de la calidad del proceso a través del indicador "Capacidad del Proceso" dentro de una industria, **Bexiflon**, que fabrica, desde hace más de 40 años, piezas mecanizadas de teflón según los requerimientos del cliente.

El indicador Capacidad del Proceso compara los requerimientos o especificaciones del cliente con la variación real del proceso de fabricación, con el objetivo valorar estadísticamente, si el proceso es capaz de satisfacer el cumplimiento de dichas especificaciones. En resumen, si el proceso es capaz o no.

Con la puesta en marcha de este proyecto, se deja de controlar el producto y se pasa a controlar el proceso. Asimismo, la calidad del proceso y del producto deja de depender del departamento de calidad y pasa a ser responsabilidad de todos los integrantes de la empresa.

Adicionalmente, la puesta en marcha de este proyecto es un primer paso para la obtención de la certificación IATF 16949, exclusiva de la industria de la automoción, la cual permitirá a la empresa poder cumplir uno de sus objetivos estratégicos: convertirse en suministrador dentro del sector de la automoción.

Palabras clave: Análisis del sistema de medida, Estabilidad, Sesgo, Linealidad, Estudio GR&R, Control estadístico del proceso, Plan de control, Análisis de capacidad, Nivel sigma.

ABSTRACT

This Master's Final Project deals with the quality assurance of the process through the indicator "Process Capacity" within an industry, **Bexiflon**, which has been manufacturing, for more than 40 years, machined teflon parts according to customer requirements. The Process Capacity compares the customer's requirements or specifications with the real variation of the manufacturing process, in order to statistically assess whether the process is capable of satisfying compliance with said specifications. In short, if the process is capable or not.

With the implementation of this project, the product is no longer controlled and the process is controlled. Likewise, the quality of the process and the product ceases to depend on the quality department and becomes and becomes the responsibility of all the members of the company.

Additionally, the implementation of this project is a first step towards obtaining the IATF 16949, certification exclusive to the automotive industry, which may allow the company to meet one of its strategic objectives: to become a supplier within the automotive industry.

Keywords: Measurement system análisis (MSA), Stability, Bias, Linearity, GR&R study, Statistical process control (SPC), Control plan, Capacity Analysis, Sigma level.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

AGRADECIMIENTOS.....	1
DEDICATORIA.....	1
RESUMEN.....	2
ABSTRACT.....	2
1. INTRODUCCIÓN.....	8
1.1. OBJETIVOS DEL PROYECTO.....	8
1.2. EMPRESA.....	11
2. MARCO TEÓRICO.....	14
2.1. NORMA IATF 16949: 2016.....	14
2.2. ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD.....	19
2.2.1. <i>Equipo del proyecto para el aseguramiento de la calidad</i>	20
2.3. METODOLOGÍA SEIS SIGMA.....	21
2.4. HERRAMIENTAS SEIS SIGMA DEL PROYECTO.....	22
2.4.1. <i>Análisis del sistema de medida</i>	22
2.4.1.1. <i>Instrumento de medida</i>	22
2.4.1.2. <i>Resolución del instrumento de medida</i>	24
2.4.1.3. <i>Estudio de estabilidad</i>	25
2.4.1.4. <i>Estudio de sesgo</i>	26
2.4.1.5. <i>Estudio de linealidad</i>	26
2.4.1.6. <i>Estudio de repetibilidad y reproducibilidad (GR&R)</i>	27
2.4.2. <i>Prueba de normalidad de los datos</i>	29
2.4.3. <i>Control estadístico del proceso</i>	30
2.4.4. <i>Capacidad del proceso</i>	33
2.4.5. <i>Porcentaje de producto defectuoso</i>	36
2.4.6. <i>Nivel sigma del proceso</i>	36
3. DESCRIPCIÓN DE LA SITUACION DE PARTIDA.....	37
3.1. PRODUCTO.....	37
3.1.1 <i>Plano del producto</i>	37
3.1.2. <i>Materia prima utilizada</i>	38
3.1.3. <i>Acabado final del producto</i>	38
3.1.4. <i>Característica crítica de calidad (CTQ)</i>	39
3.1.5. <i>Aplicación práctica del producto</i>	39
3.2. PROCESO AS-IS DE FABRICACIÓN.....	40
3.2.1. <i>Misión del proceso AS-IS de fabricación</i>	40
3.2.2. <i>Actividades del proceso AS-IS de fabricación</i>	40
3.2.3. <i>Mapa AS-IS del proceso de fabricación</i>	45
4. RESULTADOS DEL PROYECTO.....	46
4.1. ANÁLISIS DEL SISTEMA DE MEDIDA.....	46
4.1.1. <i>Estudio de resolución del instrumento de medida</i>	46
4.1.2. <i>Estudio de estabilidad</i>	46
4.1.3. <i>Estudio de sesgo</i>	46
4.1.4. <i>Estudio de linealidad</i>	47
4.1.5. <i>Estudio de repetibilidad y reproducibilidad (GR&R)</i>	47
4.2. PRUEBA DE NORMALIDAD DE LOS DATOS.....	48

4.2.1. Prueba gráfica de normalidad de los datos.....	48
4.2.2. Prueba Anderson-Darling de normalidad de los datos	48
4.3. CONTROL ESTADÍSTICO DEL PROCESO.....	49
4.4. CAPACIDAD DEL PROCESO.....	50
4.5. PORCENTAJE DE PRODUCTO DEFECTUOSO.....	50
4.6. NIVEL SIGMA DEL PROCESO.....	51
4.7. PROCESO TO-BE DE FABRICACIÓN.....	51
4.7.1. Visión del proceso TO-BE de fabricación.....	51
4.7.2. Actividades del proceso TO-BE de fabricación.....	51
4.7.3. Mapa del proceso TO-BE de fabricación.....	52
5. CONCLUSIONES DEL PROYECTO Y SUGERENCIAS DE MEJORA DEL PROCESO.....	53
5.1. CUMPLIMIENTO DE OBJETIVOS.....	53
5.1.1. Cumplimiento del objetivo general del proyecto.....	53
5.1.2. Cumplimiento de los objetivos específicos del proyecto.....	53
5.2. ESTUDIO DE LA RENTABILIDAD DEL PROYECTO.....	54
5.3. SUGERENCIAS DE MEJORA.....	55
5.3.1. Sugerencia de mejora 1: formación en metodología Lean.....	55
5.3.2. Sugerencia de mejora 2: implantar las 5S.....	55
5.3.3. Sugerencia de mejora 3: establecer el punto de pedido.....	55
5.3.4. Sugerencia de mejora 4: implantar el sistema SMED.....	56
5.3.5. Sugerencia de mejora 5: implantar el TPM.....	56
5.3.6. Sugerencia de mejora 6: implantar el indicador OEE.....	56
5.3.7. Sugerencia de mejora 7: implantar el sistema Kanban.....	56
5.3.8. Sugerencia de mejora 8: instalar paneles de actividades.....	57
5.3.9. Sugerencia de mejora 9: implantar el cálculo ABC de costes.....	57
6. BIBLIOGRAFÍA, WEBGRAFÍA Y VIDEOGRAFÍA.....	58
6.1. BIBLIOGRAFÍA.....	58
6.2. WEBGRAFÍA.....	58
6.3. VIDEOGRAFÍA.....	59
ANEXOS.....	60
ANEXO I: ESTUDIO DE RESOLUCIÓN DEL INSTRUMENTO DE MEDIDA.....	60
ANEXO II: ESTUDIO DE ESTABILIDAD.....	62
ANEXO III: ESTUDIO DE SESGO.....	66
ANEXO IV: ESTUDIO DE LINEALIDAD.....	69
ANEXO V: ESTUDIO DE REPETIBILIDAD Y REPRODUCIBILIDAD (GR&R).....	75
ANEXO VI: PRUEBA DE NORMALIDAD DE LOS DATOS.....	83
ANEXO VII: CONTROL ESTADÍSTICO DEL PROCESO.....	91
ANEXO VIII: PLAN DE CONTROL.....	98
ANEXO IX: CAPACIDAD DEL PROCESO.....	101
ANEXO X: PORCENTAJE DE PRODUCTO DEFECTUOSO.....	106
ANEXO XI: NIVEL SIGMA DEL PROCESO.....	109

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Representación gráfica del proyecto.....	10
Figura 2.	Organigrama de la empresa.....	12
Figura 3.	Mapa de procesos de alto nivel de la empresa.....	12
Figura 4.	Core Tools.....	18
Figura 5.	Fases del proyecto de aseguramiento de la calidad.....	20
Figura 6.	Fases del proyecto Seis Sigma.....	21
Figura 7.	Reloj comparador digital μ S229.....	23
Figura 8.	Reloj comparador y sus componentes.....	23
Figura 9.	Diferencia entre precisión y exactitud o sesgo.....	24
Figura 10.	Definición gráfica de la estabilidad.....	25
Figura 11.	Definición gráfica del sesgo.....	26
Figura 12.	Definición gráfica de la linealidad.....	27
Figura 13.	Definición gráfica de la repetibilidad.....	28
Figura 14.	Definición gráfica de la reproducibilidad.....	28
Figura 15.	Propiedades de la distribución normal.....	30
Figura 16.	Elementos de un gráfico de control.....	31
Figura 17.	Variación de proceso.....	31
Figura 18.	Documento del plan de control.....	33
Figura 19.	Relación entre la voz del proceso vs. la voz de cliente.....	33
Figura 20.	Porcentaje de producto defectuoso.....	36
Figura 21.	Plano del producto.....	37
Figura 22.	Acabado final del producto.....	38
Figura 23.	Aplicación práctica del producto.....	39
Figura 24.	Materia prima almacenada.....	40
Figura 25.	Equipo de extrusión.....	41
Figura 26.	Tubo extrusionado almacenado.....	41
Figura 27.	Equipo de rectificado.....	41
Figura 28.	Tubo rectificado almacenado.....	42
Figura 29.	Equipo de mecanizado.....	42
Figura 30.	Control de calidad del producto final.....	43
Figura 31.	Equipo de limpieza.....	43
Figura 32.	Embalaje del producto final.....	44
Figura 33.	Producto final almacenado.....	44
Figura 34.	Mapa AS-IS del proceso de fabricación.....	45
Figura 35.	Mapa TO-BE del proceso de fabricación.....	52
Figura 36.	Panel de actividades.....	57
Figura 37.	"Regla de los Dieces".....	60
Figura 38.	Gráfico de control de medidas individuales.....	63
Figura 39.	Gráfico de control de rangos móviles.....	64
Figura 40.	Histograma para el estudio del sesgo.....	67
Figura 41.	Gráfico de los sesgos individuales.....	70
Figura 42.	Gráfico de los sesgos medios.....	70
Figura 43.	Gráfico de los sesgos individuales y sesgos medios y la línea de ajuste	71

Figura 44.	Gráfico de los sesgos individuales y sesgos medios, la línea de ajuste, los límites de confianza y la línea de sesgo cero.....	72
Figura 45.	Gráfico de control de rangos.....	77
Figura 46.	Gráfico de control de medias.....	77
Figura 47.	Histograma para el estudio de la normalidad.....	84
Figura 48.	Gráfico de normalidad de las medidas.....	85
Figura 49.	Gráfico de probabilidad de medidas.....	90
Figura 50.	Gráfico de control de medias.....	94
Figura 51.	Gráfico de control de rangos.....	94
Figura 52.	Gráfico de medias y recorridos de medidas_1.....	96
Figura 53.	Gráfico de medias y recorridos de medidas_2.....	97
Figura 54.	Documento final del plan de control.....	100
Figura 55.	Gráfico de distribución de las medidas.....	105
Figura 56.	Informe de capacidad del proceso.....	105
Figura 57.	Informe de porcentaje de producto defectuoso.....	108
Figura 58.	Informe de nivel sigma del proceso.....	110

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Principales características del APQP.....	15
Tabla 2.	Principales características del FMEA.....	16
Tabla 3.	Principales características del MSA.....	16
Tabla 4.	Principales características del SPC.....	17
Tabla 5.	Principales características del PPAP.....	17
Tabla 6.	Relación entre Cp y Cpk.....	34
Tabla 7.	Nivel Sigma del proceso.....	36
Tabla 8.	Valores de la capacidad del proceso.....	50
Tabla 9.	Porcentajes de producto defectuoso.....	50
Tabla 10.	Coste total del proyecto.....	54
Tabla 11.	Incremento de ventas y beneficios.....	55
Tabla 12.	Primer conjunto de datos para el cálculo de la "Regla de los Dieces".....	60
Tabla 13.	Segundo conjunto de datos para el cálculo de la "Regla de los Dieces"...	61
Tabla 14.	Medidas para el estudio de la estabilidad.....	62
Tabla 15.	Medidas y rangos móviles para el estudio de la estabilidad.....	63
Tabla 16.	Medidas para el cálculo del sesgo.....	66
Tabla 17.	Datos para la construcción del histograma.....	66
Tabla 18.	Medidas para el cálculo de la linealidad.....	69
Tabla 19.	Sesgos para cada una de las medidas.....	69
Tabla 20.	Límites de confianza para x_0 desde 5 hasta 30.....	72
Tabla 21.	Medidas obtenidas para el estudio GR&R.....	75
Tabla 22.	Parámetros para el cálculo de los límites de control.....	75
Tabla 23.	Cálculo de los promedios y de los rangos.....	78
Tabla 24.	Valores de K_1	79
Tabla 25.	Valores de K_2	79
Tabla 26.	Valores de K_3	80
Tabla 27.	Resultados del estudio GR&R en Minitab.....	82
Tabla 28.	Medias obtenidas del proceso.....	83
Tabla 29.	Datos para la construcción del histograma.....	83
Tabla 30.	Datos para la construcción del gráfico.....	85
Tabla 31.	Cálculos para obtener el estadístico Anderson-Darling y el Valor p.....	89
Tabla 32.	Medidas para el cálculo de los parámetros.....	91
Tabla 33.	Cálculo de las medias y los rangos.....	92
Tabla 34.	Medidas para los gráficos de control.....	93
Tabla 35.	Veinte muestras de 5 unidades.....	101
Tabla 36.	Valores de d_2	102
Tabla 37.	Medias, rangos y desviaciones estándar.....	102

1 INTRODUCCIÓN

1.1. OBJETIVOS DEL PROYECTO

El presente Trabajo Fin de Master titulado «**Aseguramiento de la Calidad del Proceso con el Indicador "Capacidad del Proceso"**» pretende garantizar, estadísticamente hablando, el cumplimiento por parte del proceso, y por consiguiente del producto, de los requerimientos o especificaciones del cliente. Con la implantación de este proyecto se pretende eliminar la inspección final que se realiza actualmente, con el consiguiente ahorro en costes que ello conlleva, ya que la inspección final es una actividad que no añade valor, y por tanto se le puede considerar como un desperdicio.

Como ya se sabe, la metodología Lean Six Sigma, la utilizada en este proyecto, contempla la existencia de siete tipos de desperdicio: sobreproducción, inventario, transporte, defecto, sobreproceso, movimiento y espera. Hay autores que consideran un octavo desperdicio: el talento.

En este caso en particular, la inspección final estaría dentro del desperdicio clasificado como defecto (éste supone los defectos en sí mismos, los costes de intervención para encontrar los defectos, las contestaciones a las reclamaciones de los clientes, la puesta en marcha de las soluciones, y todo aquello que represente un aumento del coste debido a los defectos).

El presente Trabajo Fin de Master se realiza dentro de la empresa **Bexiflon**, (www.bexiflon.com) que fabrica, desde hace más de 40 años, piezas mecanizadas de teflón según los requerimientos del cliente.

La puesta en marcha de este proyecto, además del consiguiente ahorro en costes, supondrá para la empresa un primer paso para la consecución de uno de sus objetivos estratégicos, la certificación IATF 16949, que le permitiría introducirse como suministrador, de segundo, tercer o cuarto nivel (Tier 2, 3 o 4), en la industria de la automoción.

La certificación IATF 16949, como ya verá más adelante en este mismo trabajo, es una certificación exclusiva de dicha industria, y requisito casi imprescindible, una restricción, para ser un actor dentro de este sector.

Por otro lado, la puesta en marcha de este proyecto, además le permitirá mejorar la competitividad de sus procesos actuales, y por consiguiente de sus productos, al incidir sobre los tres principales factores que influyen sobre la competitividad de una empresa: el coste, la calidad y el plazo de entrega. Tres factores a mejorar por medio de la implantación de algunas herramientas del Lean Six Sigma, a través de la realización de eventos Kaizen (por lo general de una semana de duración).

Este proyecto se basa principalmente en el control y la mejora de la calidad, con herramientas principalmente de Six Sigma, lo cual repercutirá directa o indirectamente en los otros dos factores de la competitividad: el coste y el plazo de entrega.

Como ya se ha expuesto anteriormente, el reto de este proyecto es la mejora del actual control de la calidad del proceso, y por consiguiente del producto. Para ello, se va a calcular el indicador de capacidad del proceso (Cpk) que compara los requerimientos o especificaciones (tolerancias) del cliente con la variación real que tiene el proceso de fabricación.

Dependiendo del valor obtenido de este indicador se podrá deducir, estadísticamente hablando, si el proceso es o no capaz de satisfacer los requerimientos del cliente.

El cálculo de este indicador implica que con anterioridad el proceso de fabricación tiene que estar en estado de control estadístico, es decir tiene que ser un proceso estable y predecible.

Para ello se implantará el control estadístico del proceso, a través del cual se controlará la evolución de las variables que se consideren críticas para el cliente (en el presente proyecto, por razones de eficacia y eficiencia, se trabajará con una sola CTQ – Critical To Quality).

Con la implantación de esta herramienta se controlará la evolución de la variable, la CTQ, a lo largo del tiempo para ver si se mantiene o no dentro de los límites de control establecidos.

Antes de implantar el control estadístico del proceso, es necesario comprobar dos aspectos:

En primer lugar, que el sistema de medida utilizado para realizar el control estadístico del proceso es aceptable. El análisis del sistema de medida implica la realización de cuatro estudios diferentes:

1. Estudio de estabilidad
2. Estudio de sesgo
3. Estudio de linealidad
4. Estudio GR&R

En segundo lugar, que las medidas obtenidas de la CTQ se distribuyen según la distribución normal. El estudio de la distribución de los datos, medidas, se realizará de dos formas:

- Gráficamente, a través de un histograma y del gráfico de normalidad de las medidas y de la línea de ajuste.
- Numéricamente, a través de la prueba de Anderson-Darling de normalidad de los datos y del cálculo de Valor p.

Estos dos puntos se verán con detalle a lo largo del presente trabajo.

Una vez comprobado que el sistema de medida utilizado es aceptable, que los datos se distribuyen según la distribución normal (campana de Gauss), que el proceso está en estado de control estadístico y que el proceso es capaz, para finalizar se calculará el porcentaje de producto defectuoso que queda estadísticamente fuera de las especificaciones del cliente y el nivel sigma de proceso.

El nivel sigma es un indicador que refleja el nivel de calidad del proceso (se mide en número de desviaciones estándar) y permite comparar varios procesos entre sí e incluso hacer la comparación con procesos de otras empresas del mismo sector o de sectores diferentes, siempre y cuando el procedimiento de cálculo sea el mismo.

El **objetivo general de este proyecto**, Trabajo Fin de Master, es el siguiente:

- Asegurar estadísticamente la calidad del producto a través del control estadístico del proceso y del indicador de capacidad del proceso, eliminando de este modo, el despilfarro que supone la inspección final realizada por el departamento de calidad.

Los **objetivos específicos de este proyecto**, Trabajo Fin de Master, son los siguientes:

- Analizar el sistema de medida utilizado en el proceso, estudiando la estabilidad, el sesgo, la linealidad, la repetibilidad y reproducibilidad (GR&R) del sistema de medida.
- Analizar la distribución de los datos, medidas, para ver si siguen o no la distribución normal.
- Implantar el control estadístico del proceso y el plan de control del proceso.
- Calcular la capacidad del proceso.
- Calcular el porcentaje de producto defectuoso que genera, estadísticamente, el proceso de fabricación y el nivel sigma del proceso.
- Facilitar a la empresa unas herramientas informáticas, que le permitan realizar todos los estudios y cálculos enumerados anteriormente. De este modo la empresa no tendrá que invertir en una herramienta específica, como podría ser Minitab.
- Comenzar la migración del departamento de calidad hacia un departamento de mejora continua que, se responsabilice en el futuro de la mejora de los procesos de la compañía, por medio de la implantación de las herramientas de Lean Six Sigma que sean necesarias, a través de la realización de eventos Kaizen perfectamente planificados.
- Ser el primer paso hacia la obtención de la certificación IATF 16949 de la industria de la automoción, lo que le permitirá en el futuro ser un actor, suministrador, dentro de este sector.

Para finalizar esta introducción, la Figura 1 representa gráficamente el contenido del proyecto

Aseguramiento de la Calidad del Proceso con el Indicador "Capacidad del Proceso".

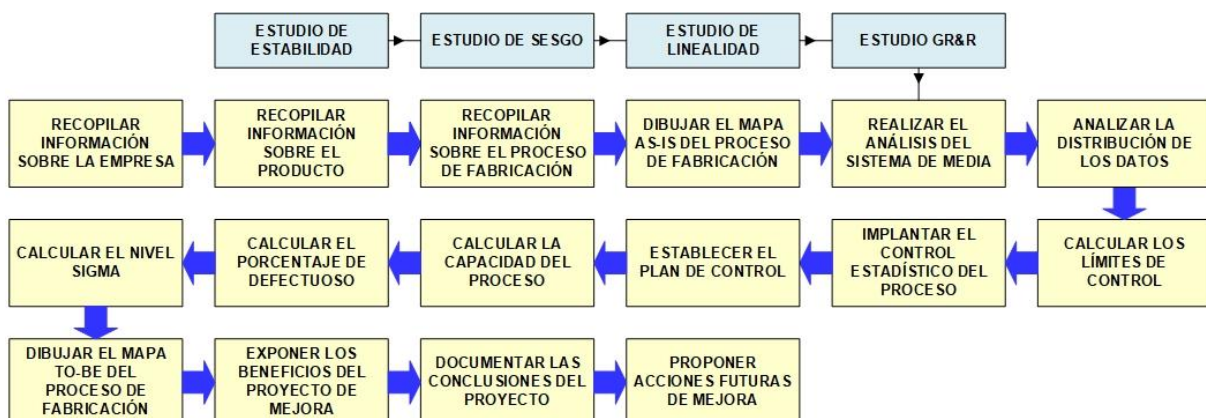


Figura 1. Representación gráfica del proyecto (Fuente: elaboración propia)

1.2. EMPRESA

Los datos de la empresa son los siguientes:

Razón social: Bexiflon, S.L.

Código postal: 26009

C.I.F.: B26.239.251

Provincia: La Rioja

Domicilio: Polígono Industrial Cantabria II,
Calle Las Cañas, 58

Teléfono: 941 25 00 76

Localidad: Logroño

Web: www.bexiflon.com

Bexiflon es una PYME con más de 40 años de actividad dedicada a la fabricación de piezas mecanizadas de PTFE (teflón), de la mejor calidad existente en el mercado, tanto de material virgen como de material con cargas de fibra de vidrio, grafito o carbón.

Su departamento de ingeniería está preparado para asesorar técnicamente sobre cualquier aplicación o proyecto que necesite el cliente.

Dispone de unas instalaciones de más de 1.000 m², dedicadas al extrusionado y mecanizado de PTFE.

Bexiflon utiliza las tecnologías más recientes en CNC (Computer Numerically Controlled), CAD (Computer-Aided Design)/CAM (Computer-Aided Manufacturing) y CAE (Computer-Aided Engineering).

La filosofía y cultura de **Bexiflon** se puede resumir con los siguientes conceptos:

- **Misión.** Mejorar el nivel de vida de las personas que trabajan en **Bexiflon** y sus familias, mediante la producción eficiente de piezas de plásticos técnicos acordes a los requerimientos de nuestros clientes.
- **Visión.** Ser una empresa estructurada, con mercado consolidado e ingresos crecientes, buen equipo profesional y realizando el relevo generacional en las personas vértices.
- **Valores.** Son los siguientes:

Responsabilidad individual

Innovación. Orientados a la evolución

Sensatez en las aspiraciones

Persistencia en la identificación de soluciones

Autogestión de la carga de trabajo

Pacto social

Bexiflon tiene en la actualidad del orden de 180 referencias activas para un total de 25 clientes.

La Figura 2 representa el organigrama de **Bexiflon**, esquema gráfico que representa la estructura interna de la empresa, mostrando las relaciones jerárquicas y competencias de la compañía.

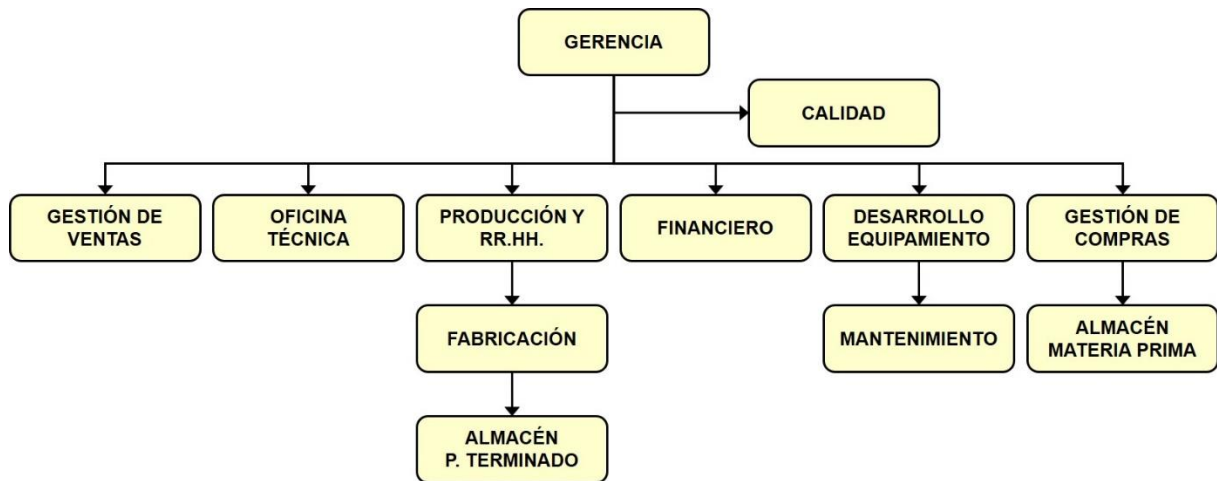


Figura 2. Organigrama de la empresa (Fuente: elaboración propia con información de Bexiflón)

La Figura 3 muestra el mapa de procesos de alto nivel de **Bexiflon**. En este mapa se pueden distinguir tres diferentes tipos de procesos:

- **Procesos estratégicos:** son los procesos que establecen las acciones de la empresa y guían la toma de decisiones orientadas a la implantación de estrategias.
- **Procesos principales u operativos:** son los procesos relacionados estrechamente con la producción de los productos o servicios.
- **Procesos de soporte:** son los procesos que dan apoyo a los procesos principales.

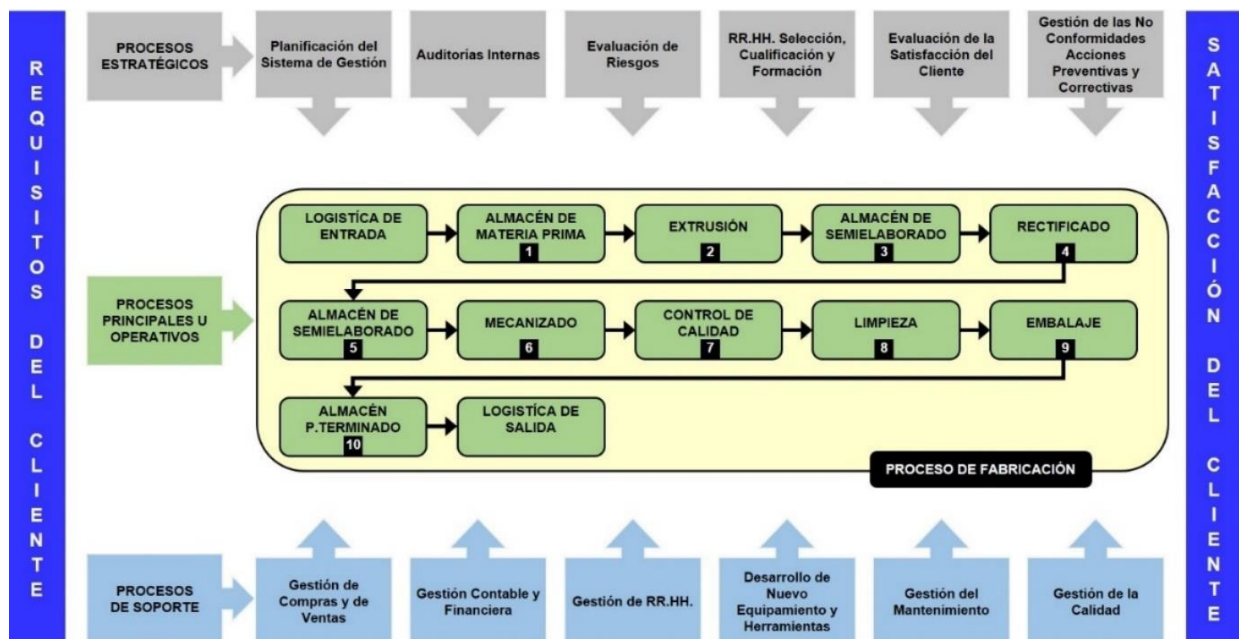


Figura 3. Mapa de procesos de alto nivel de la empresa (Fuente: elaboración propia con información de Bexiflón)

En cuanto a los objetivos estratégicos de **Bexiflon**, se pueden destacar, entre otros, los siguientes cinco objetivos estratégicos:

1. Orientar la empresa hacia el cliente.

Descubrir y satisfacer las necesidades y prioridades de los clientes, tanto internos como externos.

2. Ensayar mecanizados de otros tipos de plásticos técnicos.

Según mecplast.es, los plásticos técnicos son un material sintético de naturaleza polimérica compuesto por moléculas orgánicas que tienen como características la fácil deformación y modelación.

Proceden de materias orgánicas como el petróleo, el gas natural, el carbón y la sal común. Se crean por polimerización, una reacción química donde dos o más moléculas se combinan para dar forma a una nueva que repite la estructura primitiva.

3. Transformar el departamento de calidad en departamento de mejora continua.

El control de calidad según la filosofía Lean Six Sigma no aporta valor, es un desperdicio, por este motivo **Bexiflon** pretende convertir el control de calidad del producto, a control de calidad del proceso con el objetivo de liberar los recursos empleados en la actualidad para ese fin. Estos recursos se utilizarían en la puesta en marcha de proyectos de mejora continua, a través de eventos Kaizen, que ayuden a consolidar y mejorar la competitividad de la empresa.

4. Implantar el cálculo de costes ABC (Activity Based Costing).

El sistema de Costes Basado en Actividades, es una metodología que permite la asignación y distribución de los diversos costes indirectos, de acuerdo a las actividades realizadas, pues son éstas las que realmente generan los costes.

El conocer la estructura correcta de coste permitirá a la empresa, tomar decisiones, tanto a nivel comercial como de mejora de procesos.

5. Obtener la certificación IATF 19649: 2016

Esta certificación es un requisito indispensable para ser suministrador en la industria del automóvil. Este sector en el futuro puede ser clave para la supervivencia y/o crecimiento de **Bexiflon**.

Como este Trabajo Fin de Máster está directamente relacionado con este último objetivo estratégico, en el siguiente apartado se presenta una descripción resumida de contenido de la norma IATF 19649, cuyos requisitos deben cumplirse para obtener la deseada certificación. El marco temporal que se ha marcado **Bexiflon** para obtener esta certificación es de dos años.

2

MARCO TEÓRICO

En este apartado se van comentar los cuatro puntos fundamentales para el desarrollo de este proyecto:

1. Norma IATF 16949: 2016
2. Aseguramiento de la calidad.
3. Metodología Seis Sigma.
4. Herramientas Seis Sigma del proyecto.

2.1. NORMA IATF 16949: 2016

Según la Norma del Sistema de Gestión de la Calidad Automotriz de la International Automotive Task Force (2016), la norma **IATF 16949: 2016** es la norma internacional para **Sistemas de Gestión de la Calidad (SGC)** de la industria de la automoción. La norma **IATF 16949** fue desarrollada conjuntamente por miembros de la **International Automotive Task Force** (en adelante **IATF**) y entregada a la **Organización Internacional de Normalización (ISO)** para su visto bueno y publicación.

La norma consiste en un conjunto de requisitos de **Sistemas de Gestión de la Calidad (SGC)** en la industria de la automoción con base en la norma ISO 9001, sumando requisitos específicos de la industria automotriz.

La **IATF** es un grupo de fabricantes automovilísticos (Renault, General Motors, BMW, Daimler, Grupo PSA - Peugeot y Citroen, FCA - Fiat Chrysler Automobiles, Ford, Grupo Volkswagen y Fiat) y sus respectivas asociaciones comerciales, formada para proporcionar una calidad mejorada a los productos automovilísticos a nivel mundial.

La certificación **IATF 16949: 2016** es un requisito necesario para todos los proveedores que suministran directamente a los ensambladores (OEMs - Original Equipment Manufacturers) y dependiendo de los requisitos contractuales de los clientes también para suministradores de los niveles inferiores (Tier 2, 3 y 4).

La norma **IATF 16949: 2016** establece los requisitos específicos para aplicar la norma ISO 9001 para la fabricación en serie y para los recambios originales en la industria automotriz. La norma se aplica a todos los ensambladores de turismos, vehículos comerciales ligeros y pesados, autobuses y motocicletas. Por contra, esta norma no es aplicable a los vehículos industriales, agrícolas y de recreo.

Con la norma **IATF 16949: 2016** se hace mayor énfasis en la prevención de defectos. Esto ayuda a mejorar la calidad en las entregas y no detener la cadena de producción del automóvil. El enfoque basado en procesos incluye el concepto de "sistema" y utiliza un lenguaje simplificado para una mejor comprensión.

Los principios de un Sistema Gestión de la Calidad **IATF 16949: 2016** más la ISO 9001 están basados en cuatro aspectos principales:

1) El enfoque a procesos	3) El enfoque al cliente
2) La mejora continua	4) El enfoque a riesgos y oportunidades

En esta norma, se sigue la estrategia de mejora continua de la calidad, el ciclo PDCA: Planificar (P), Hacer (D), Chequear (C) y Actuar (A).

La norma **IATF 16949: 2016** incluye la aplicación e implantación de las herramientas Core Tools, conjunto de herramientas elaboradas por la **Automotive Industry Action Group** (en adelante **AIAG**) y principalmente utilizadas en la industria de la automoción. Las Core Tools son: APQP, FMEA, MSA, SPC y PPAP. Estas herramientas ayudan a controlar la calidad de los productos fabricados.

APQP (Advanced Product Quality Planning). La **AIAG** (2008), en su Manual Planeación Avanzada de la Calidad del Producto y Planes de Control, refleja las principales características de esta herramienta. Éstas se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Principales características del APQP

Definición	Objetivo	Beneficios
Es un método estructurado para definir y establecer los pasos para asegurar que un producto satisface al cliente.	Facilitar la comunicación con todos los involucrados para asegurar que todos los pasos requeridos se completan a tiempo.	Dirigir los recursos a satisfacer a los clientes.
		Promover la identificación anticipada de los cambios requeridos.
		Evitar cambios tardíos.
		Ofrecer productos de calidad a tiempo y al coste más bajo.

Fuente: elaboración propia basada en Gestión de Excelencia Operacional

FMEA (Failure Mode and Effect Analysis o AMEF). Según la **AIAG** (2010), en su Manual Análisis de Modos y Efectos de Fallas Potenciales, refleja las principales características de esta herramienta. Éstas se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2. Principales características de FMEA

Definición	Objetivo	Beneficios
<p>Es una metodología analítica utilizada para asegurar que todos los problemas potenciales se han considerado y abordado a través del proceso de desarrollo del producto y proceso (APQP). Los AMEFs son una parte integral de la gestión de riesgos y soporte de la mejora continua.</p>	<p>Analizar y evaluar los riesgos a través de una discusión en relación al diseño (del producto o del proceso), la revisión de las funciones y cambio en la aplicación, y los riesgos resultantes de los fallos potenciales.</p>	Identificar fallos o defectos antes de que estos ocurran.
		Incrementar la confiabilidad de los productos/servicios.
		Acortar los procesos de desarrollo.
		Documentar los conocimientos sobre los procesos.
		Incrementar la satisfacción del cliente.
		Retener en la compañía el aprendizaje generado.

Fuente: elaboración propia basada en Gestión de Excelencia Operacional

MSA (Measurement Systems Analysis). La **AIAG** (2010), en su Manual Análisis del Sistema de Medición, refleja las principales características de esta herramienta. Éstas se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3. Principales características del MSA

Definición	Objetivo	Beneficios
<p>Es un proceso completo de evaluación de los sistemas de medida. Los sistemas de medida abarcan instrumentos, gages, patrones, operaciones, métodos, dispositivos, software, personal, medioambiente, etc.</p>	<p>Evaluar la calidad del sistema de medida para tomar decisiones. La decisión de ajustar un proceso de fabricación, o no, se basa en las medidas realizadas.</p>	Evaluar la confiabilidad de los sistemas de medida de una forma estadística.
		Mejorar los sistemas de medida, tanto de variables continuas como de variables discretas.

Fuente: elaboración propia basada en Gestión de Excelencia Operacional

SPC (Statistical Process Control). La **AIAG (2005)**, en su Manual Control Estadístico de los Procesos, refleja las principales características de esta herramienta. Éstas se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4. Principales características del SPC

Definición	Objetivo	Beneficios
Es un conjunto de herramientas estadísticas que permiten controlar un proceso. El SPC permite monitorizar procesos, descubrir problemas y encontrar soluciones.	Incrementar el entendimiento de los procesos para ejecutar acciones. El objetivo no es la recopilación de datos.	Mejorar la calidad mediante la reducción de la variación. Con ello se consigue: Incrementar la satisfacción del cliente. Reducir los costes de los reprocesos, de los rechazos internos y externos. Aumentar la capacidad del proceso.
		Mejorar la productividad al hacer predecible el comportamiento de los procesos.
		Permitir resolver mejor los problemas al distinguir las causas especiales de las causas comunes.

Fuente: elaboración propia basada en Gestión de Excelencia Operacional

PPAP (Production Part Approval Process). La **AIAG (2006)**, en su Manual Aprobación de Partes para Producción, refleja las principales características de esta herramienta. Éstas se muestran en la Tabla 5.

Tabla 5. Principales características del PPAP

Definición	Objetivo	Beneficios
Es un proceso que define los requerimientos generales para la aprobación de las partes para la producción. Es una recolección de evidencias objetivas del cumplimiento de los requerimientos del cliente.	Determinar si todos los requerimientos de especificaciones y registros de diseño del cliente son entendidos apropiadamente por la organización y que el proceso de fabricación tiene el potencial de fabricar productos que cumplan de forma consistente con estos requerimientos, durante series de producción actuales y en la proporción de producción estipulada.	Fortalecer la relación entre el cliente y el proveedor.
		Evitar el uso o la distribución de partes no aprobadas.
		Facilitar al cliente la detección de problemas o defectos al principio del proceso de producción, lo que reduce el tiempo en las correcciones y ahorra costes.
		Mantener y conservar los parámetros de diseño de las partes de producción.
		Gestionar los cambios de proveedor de manera más efectiva.

Fuente: elaboración propia basada en Gestión de Excelencia Operacional

En resumen, ser una empresa con certificación **IATF 16949: 2016** significa que:

- Los productos y los procesos de producción son auditados con regularidad, asegurando que los productos tengan siempre la máxima calidad.
- Disponer de una credencial empresarial que es reconocida internacionalmente.
- Tener instaurado un sistema completo para asegurar que cada parte, o pieza, que sale de la cadena de fabricación cumple con los altos estándares de la **IATF** y de los clientes.

Uno de los objetivos del presente proyecto, consiste en dar los primeros pasos, dentro de **Bexiflon**, para que en un futuro más o menos inmediato la empresa pueda obtener la certificación **IATF 16949: 2016**, que le permita trabajar como suministrador dentro del sector de la automoción.

La Figura 4 muestra la representación gráfica de las Core Tools.



Figura 4. Core Tools (Fuente: Q-Experts)

La **AIAG** no ha desarrollado el manual del **Plan de Control**, sino que lo ha integrado básicamente dentro del manual **APQP** (Planificación Avanzada de la Calidad del Producto y **Planes de Control**) con tres tipos de **Planes de Control**: de prototipos, de prelanzamiento y de producción.

En el presente proyecto se expondrá un **Plan de Control** básico en el apartado del Control Estadístico del Proceso, en donde se indique cómo se realiza dicho control, y qué decisiones hay que tomar en caso de que se produzcan discrepancias entre lo que se tiene que obtener a la salida proceso, con lo que realmente se está obteniendo en ese caso. En resumen, en este caso particular el **Plan de Control** se convierte básicamente en un documento de consulta.

2.2. ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD

El Trabajo Fin de Máster consiste en el **Aseguramiento de la Calidad del Proceso con el Indicador "Capacidad del Proceso"**. Por este motivo, y previamente a comenzar con el desarrollo del contenido del proyecto, y partiendo de la situación AS-IS del proceso, se va a explicar brevemente en qué consiste el término **Aseguramiento de la Calidad**.

El **Aseguramiento de la calidad** (Quality Assurance, **QA**) en su forma más general, se puede definir como el conjunto de acciones que toman las empresas, con el objetivo de poder entregar a los consumidores productos con el nivel de calidad esperada.

La implantación de un sistema de **Aseguramiento de la Calidad**, genera confianza y seguridad a las empresas de que sus productos reunirán las condiciones adecuadas de calidad esperada. En consecuencia, con ese objetivo, la implantación de las normas de calidad bajo un sistema que permita a la empresa, la dirección y el control dentro de todo el proceso que se desarrolla.

Además, se puede decir que el **Aseguramiento de la Calidad** es una auditoría que verifica que los estándares de calidad se cumplen, es decir se controla que se cumplen todos los requisitos mínimos esperados en el producto.

Además, para que las organizaciones cumplan el **Aseguramiento de la Calidad**, es necesario que adopten una línea de actuaciones que se planifican con anterioridad, se programan y que finalmente se implantan como un conjunto de normas que la empresa tiene que cumplir.

De todas formas, el **Aseguramiento de la Calidad** requiere que todos los procesos se documenten; tanto la planificación, la determinación de tareas y responsabilidades, el registro de resultados y todos los mecanismos de inspecciones que se aplican internamente en cada empresa.

Con la implantación del **Aseguramiento de la Calidad** se obtienen los siguientes beneficios:

1. Impedir los desperdicios y reducir los costes.

Por un lado, impedir que se generen desperdicios se logra, porque el sistema de **Aseguramiento de la Calidad** posibilita que se mejore la productividad de la empresa, debido a que le ayuda a centrarse mejor en el logro de los objetivos, y en lo que los clientes esperan sobre la calidad del producto.

Además, se puede reducir o eliminar los desperdicios, porque se logra identificar aquellas actividades que sólo incrementan los costes y no añaden valor al proceso, de igual forma esto favorece el logro de la eficiencia.

2. Mejorar la calidad y la satisfacción del cliente.

Asimismo, la mejora continua logra mejoras en la calidad de los productos suministrados al cliente, lo que genera la confianza necesaria de que la calidad que se quiere conseguir se está logrando alcanzar y se mantiene a lo largo del tiempo, debido a que todo permanece documentado y certificado.

Por consiguiente, la empresa tendrá clientes satisfechos, lo que favorece que aumenten la frecuencia de compra y que recomienden los productos a otras personas, generando mayores ingresos por ventas, y desde luego mayores beneficios.

En conclusión, se puede afirmar que el sistema de **Aseguramiento de la Calidad** aporta muchos beneficios a las empresas, especialmente en la reducción de costes, en la entrega de productos de calidad esperada y sobre todo en conseguir que sus clientes queden satisfechos.

Dado que este sistema permite la documentación de procesos para mantener la entrega de productos con la calidad esperada, éste debe revisarse continuamente y actualizarse periódicamente, porque siempre se debe buscar la mejora continua.

La Figura 5 muestra las diferentes fases, de una forma secuencial, del proyecto de **Aseguramiento de la Calidad** del proceso por medio del indicador de capacidad del proceso en **Bexiflón**.



Figura 5. Fases del proyecto de aseguramiento de la calidad (Fuente: elaboración propia)

2.2.1. Equipo del proyecto para el aseguramiento de la calidad

El equipo del proyecto de mejora está compuesto por las siguientes personas:

Oscar Peciña (Gerente)

Candela Rodríguez (Responsable de calidad)

David Sainz (Responsable de fabricación)

Alberto Sainz (Responsable de mantenimiento)

Operario del proceso de mecanizado

Carlos García (Consultor externo)

Oscar Romero (Responsable del proyecto)

2.3. METODOLOGÍA SEIS SIGMA

En 1987, la metodología **Seis Sigma** fue utilizada por primera vez en Motorola por un grupo de directivos con Bob Galvin a la cabeza, por aquel entonces presidente de la compañía, con el objetivo de disminuir el número de defectos de los dispositivos electrónicos.

A partir de ese momento, la metodología **Seis Sigma** ha sido empleada por un gran número de empresas. Con **Seis Sigma**, Motorola consiguió unos ahorros de aproximadamente 1.000 millones de dólares en tres años, y obtuvo el premio a la calidad Malcon Baldrige en 1988.

La metodología **Seis Sigma** ha sido ampliamente estudiada por diversos autores, entre los cuales se encuentran, Gutiérrez, H. y De La Vara Salazar, R. (2009) los cuales proponen para esta metodología la definición siguiente:

Seis Sigma es una estrategia de mejora continua del negocio que busca mejorar el desempeño de los procesos de una organización y reducir su variación; con ello, es posible encontrar y eliminar las causas de los errores, defectos, retrasos en los procesos de negocio. En todo momento se toma como punto de referencia a los clientes y sus necesidades. La estrategia Seis Sigma se apoya en una metodología fundamentada en las herramientas y el pensamiento estadístico (Gutiérrez, H. y De La Vara Salazar, R., 2009, p. 420).

La Figura 6 muestra las cinco fases del proyecto **Seis Sigma**, metodología DMAIC:

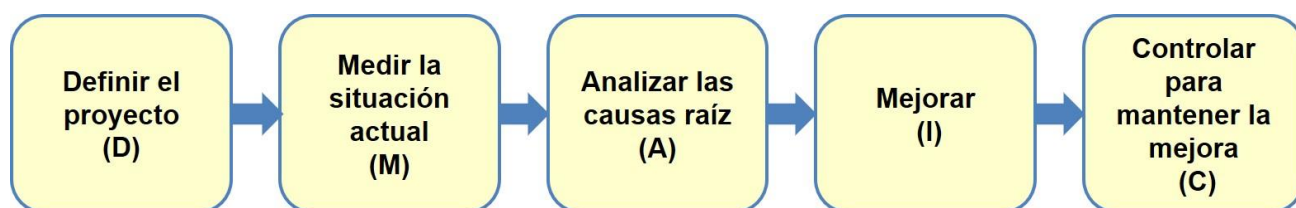


Figura 6. Fases del proyecto Seis Sigma (Fuente: elaboración propia)

Los principios del **Seis Sigma** son los siguientes:

- Liderazgo comprometido de arriba hacia abajo.
- Seis Sigma se sustenta en una estructura directiva que conlleva personas a tiempo completo.
- Entrenamiento y acreditación.
- Orientación al cliente y con enfoque a procesos.
- Seis Sigma se rige con datos.
- Seis Sigma se sustenta en una metodología fuerte y en una formación para todos.
- Los proyectos fomentan ahorros e incremento en ventas.
- El trabajo en Seis Sigma se valora.
- Seis Sigma es una iniciativa a largo plazo, por lo que no es contraria a otras decisiones estratégicas, al contrario, se incorpora y las fortalece.
- Seis Sigma se transmite.

2.4. HERRAMIENTAS SEIS SIGMA DEL PROYECTO

A continuación, se realiza una breve explicación de cada una de las herramientas de la metodología Seis Sigma utilizadas en este Trabajo de Fin de Máster.

2.4.1. Análisis del sistema de medida

El Manual Análisis de Sistemas de Medición (**AIAG**, 2010) define al **sistema de medida** de la forma siguiente:

El conjunto de instrumentos o gages, patrones, operaciones, métodos, dispositivos, software, personal, medio ambiente y supuestos usados para cuantificar una unidad de medida o preparar la evaluación de una característica o propiedad a ser medida; el proceso completo usado para obtener mediciones (**AIAG**, 2010, p. 5).

El Manual Análisis de Sistemas de Medición (**AIAG**, 2010) define gage de la forma siguiente: "Cualquier dispositivo utilizado para obtener mediciones; frecuentemente usado para referirse específicamente a dispositivos usados en el ámbito de la producción e incluyendo, entre otros, dispositivos pasa/no pasa" (p. 5).

Resumiendo, para realizar un **análisis del sistema de medida** habrá de tenerse en cuenta no solo el equipo de medida, sino también principalmente a las personas, al procedimiento y a las piezas a medir.

Para realizar el **análisis del sistema de medida** hay que elaborar los siguientes estudios de:

- | | |
|---------------|---|
| ▪ Estabilidad | ▪ Linealidad |
| ▪ Sesgo | ▪ Repetibilidad y Reproducibilidad (GR&R) |

Antes de comenzar con estos estudios, es conveniente presentar el instrumento de medida que se va a utilizar a lo largo del proyecto, y que va a ser uno de los principales actores en él.

2.4.1.1. Instrumento de medida

El instrumento de medida que se utiliza en este proyecto es un reloj comparador digital de la marca suiza **sylvac**. Un reloj comparador es un dispositivo para medir dimensiones que se emplea para contrastar piezas, a través de la medida indirecta del recorrido de una punta esférica de contacto, en el momento que el dispositivo está fijo en un soporte.

El modelo utilizado por **Bexiflon** en la actualidad, es el Dial Gauge S 229 con una resolución de 0,001 mm.

La Figura 7 muestra el modelo existente en catálogo en la actualidad, el Dial Gauge μ S229.



Figura 7. Reloj comparador digital μ S229 (Fuente: sylvac)

Sus principales funciones son las siguientes:

- | | |
|---|---|
| ▪ Número de medidas por segundo: 5 medidas por segundo. | ▪ Posibilitar la medida con dos referencias diferentes |
| ▪ Cambiar de unidad de medida: milímetros/pulgadas. | ▪ Almacenar las medidas. |
| ▪ Introducir un valor de referencia distinto de 0,000 mm (preajustado). | ▪ Transmitir las medidas a un sistema de cálculo estadístico. |

La Figura 8 muestra el reloj comparador y sus componentes.

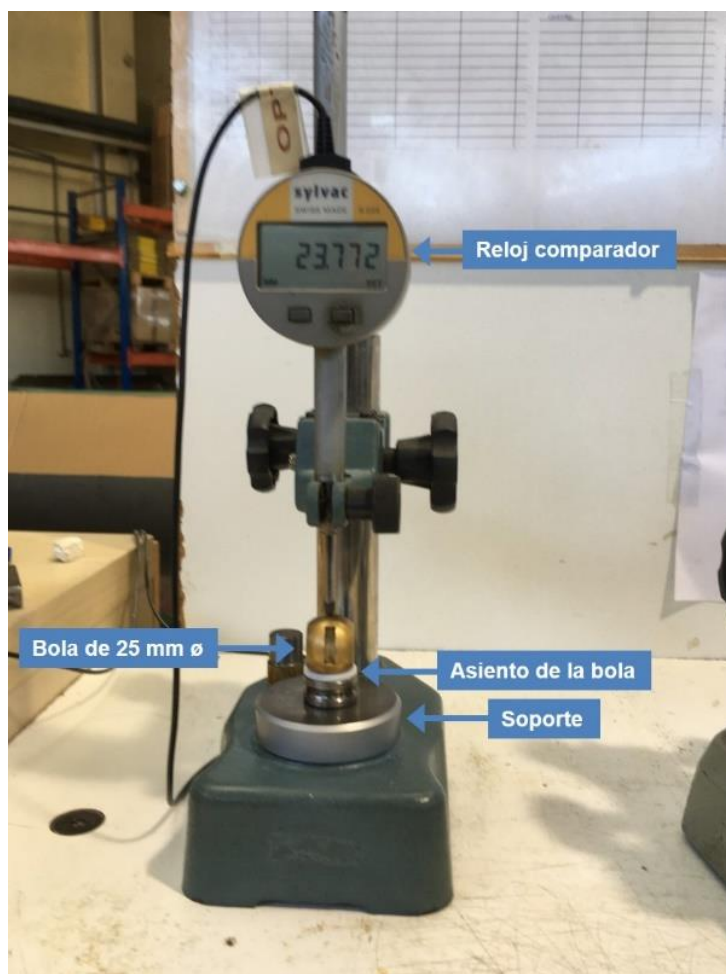


Figura 8. Reloj comparador y sus componentes (Fuente: elaboración propia)

2.4.1.2. Resolución del instrumento de medida

El Manual Análisis de Sistemas de Medición (**AIAG**, 2010) define la **discriminación** de la forma siguiente:

La cantidad de cambio de un valor de referencia que un instrumento puede detectar y fielmente indicar. A la **discriminación** también se le denomina facilidad de lectura o **resolución**. La medida de esta habilidad típicamente es el valor de la graduación más pequeña sobre la escala del instrumento (**AIAG**, 2010, p. 46).

Una regla general basada en la experiencia dice que la **resolución** del instrumento de medida debe ser capaz de diferenciar como mínimo una décima del recorrido o rango a medir. Históricamente este recorrido se ha considerado como una característica del dispositivo de medida.

Últimamente la norma 10 a 1 se ha traducido para indicar que el dispositivo de medida es capaz de diferenciar como mínimo una décima de la variación del proceso.

El **Anexo I** muestra el procedimiento de cálculo de la resolución del instrumento de medida.

Una vez presentado el instrumento de medida, y su resolución, que se va a utilizar a lo largo del proyecto, y antes de pasar a comentar cada uno de los estudios señalados anteriormente, conviene hacer distinción entre dos conceptos: **precisión** y **exactitud**.

La Figura 9 muestra cuatro casos de impactos desde el punto de vista de su **precisión** y de su **exactitud (sesgo)**. La **precisión** se refiere a la variación o dispersión de los impactos. Una escasa variación supone un buen nivel de **precisión**. La **exactitud** o **sesgo** se determina en relación a la cercanía con el punto central de la diana. Cuanto mayor es la cercanía, mayor es el nivel de **exactitud** o un menor **sesgo**.



Figura 9. Diferencia entre precisión y exactitud o sesgo (Fuente: elaboración propia)

2.4.1.3. Estudio de estabilidad

El Manual Análisis de Sistemas de Medición (**AIAG**, 2010) define la **estabilidad** de la forma siguiente:

La variación total obtenida en las medidas con un **sistema de medida** sobre el mismo máster o pieza (Valor de Referencia - VR) cuando se mide la misma característica durante un período de tiempo extenso. Esto es, La **estabilidad** es un cambio de **sesgo** a lo largo del tiempo (**AIAG**, 2010, p. 52).

En Figura 10 muestra la definición gráfica de la **estabilidad**.

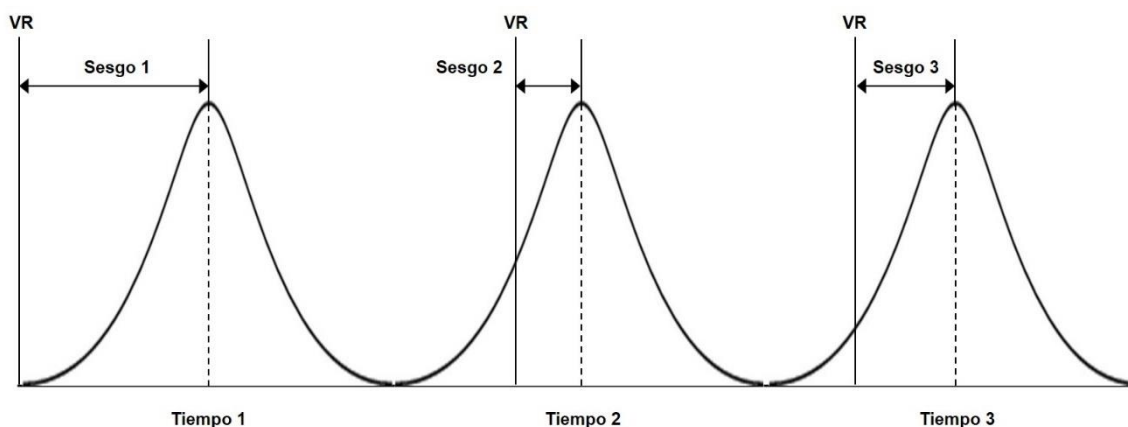


Figura 10. Definición gráfica de la estabilidad (Fuente: elaboración propia a partir de Escalante, 2013)

Algunas de las causas de la **inestabilidad** que se pueden enumerar son las siguientes:

- Necesidad de calibración del equipo de medida.
- Equipamiento desgastado.
- Máster desgastado o dañado.
- Uso inapropiado del máster.
- Método de medida: habilidad del inspector, fatiga, error de observación.
- Condiciones ambientales: temperatura y/o humedad.
- Limpieza.

El **sistema de medida** tiene que ser estable a lo largo del tiempo. Esto significa que tiene que estar en control estadístico (es decir, tiene que ser consistente y predecible). La única forma de comprobar lo anterior es mediante un gráfico del control del **sistema de medida**. Esta es la forma utilizada para asegurar la **estabilidad** del **sistema de medida**.

El **Anexo II** muestra el procedimiento para llevar a cabo el **estudio de estabilidad** de un **sistema de medida**.

2.4.1.4. Estudio de sesgo

El Manual Análisis de Sistemas de Medición (AIAG, 2010) define el **sesgo** de la forma siguiente: "La diferencia entre el valor verdadero (Valor de referencia - VR) y el promedio observado de las medidas sobre la misma característica en la misma pieza (VP)" (p. 51).

A veces al **sesgo** se le denomina **exactitud** y representa el error sistemático del **sistema de medida**. La Figura 11 muestra la definición gráfica del **sesgo**.

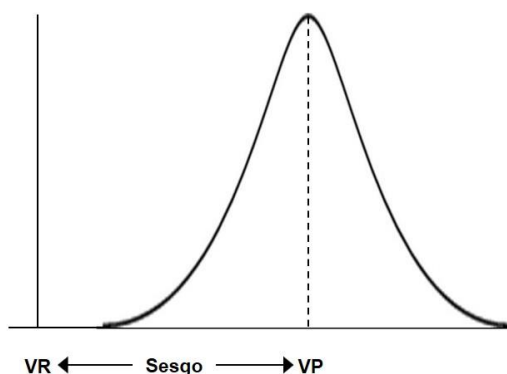


Figura 11. Definición gráfica del sesgo (Fuente: elaboración propia a partir de Escalante, 2013)

Algunas de las causas del **sesgo** que se pueden enumerar son las siguientes:

- Necesidad de calibración del equipo de medida.
- Equipamiento desgastado.
- Máster desgastado o dañado.
- Calibración incorrecta.
- Condiciones ambientales: temperatura y/o humedad.
- Limpieza.

Antes de realizar el **estudio de sesgo** de un **sistema de medida** es importante comprobar que el **sistema de medida** sea estable (que esté en control estadístico).

El **Anexo III** muestra el procedimiento para llevar a cabo el **estudio de sesgo** de un **sistema de medida**.

2.4.1.5. Estudio de linealidad

El Manual Análisis de Sistemas de Medición (AIAG, 2010) define la **linealidad** de la forma siguiente: "La diferencia de **sesgo** a través del rango (de medición) de operación esperado del equipo. La **linealidad** puede tomarse como un cambio de **sesgo** con respecto al tamaño" (p. 52).

Esto significa que no se puede asumir un **sesgo** constante a lo largo de todo el rango de medida. La Figura 12 muestra la definición gráfica de la **linealidad**.

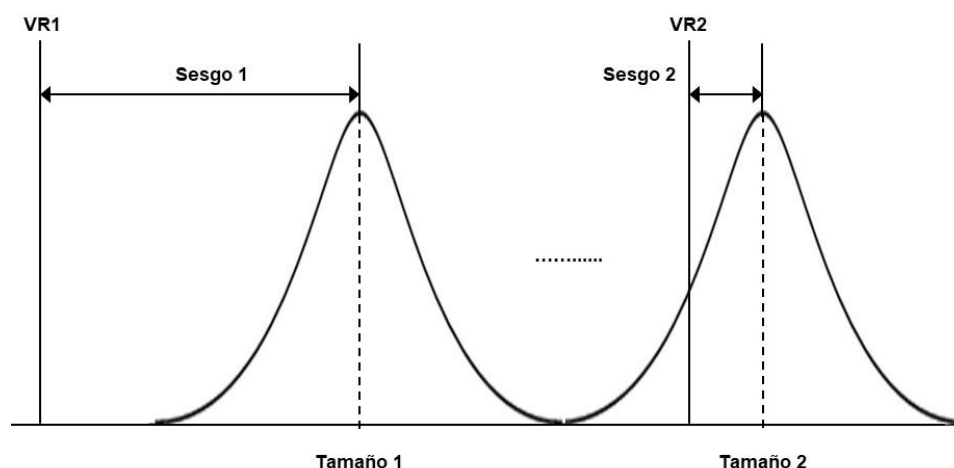


Figura 12. Definición gráfica de la linealidad (Fuente: elaboración propia a partir de Escalante, 2013)

Algunas de las posibles causas de los problemas de **linealidad** que se pueden enumerar son las siguientes:

- Necesidad de calibración del sistema de medida.
- Problemas de mantenimiento del sistema de medida.
- Deficiente diseño del sistema de medida.
- Problemas con los estándares.
- Condiciones ambientales: temperatura y/o humedad.
- Limpieza.

Antes de realizar el estudio de **linealidad** de un **sistema de medida**, es importante comprobar la **estabilidad** y el **sesgo** del **sistema de medida**.

El **Anexo IV** muestra el procedimiento para llevar a cabo el **estudio de linealidad** de un **sistema de medida**.

2.4.1.6. Estudio de repetibilidad y de reproducibilidad (GR&R)

Repetibilidad

El Manual Análisis de Sistemas de Medición (**AIAG**, 2010) define la **repetibilidad** de la forma siguiente: "La variación en las mediciones obtenida con un instrumento de medición cuando se use varias veces por un evaluador y midiendo la misma característica y sobre la misma parte. Esta es la variación o habilidad inherente del equipo mismo" (p. 54).

En el **estudio GR&R** se le denomina "Variación del Equipo" (VE). La Figura 13 muestra la definición gráfica de la **repetibilidad**.

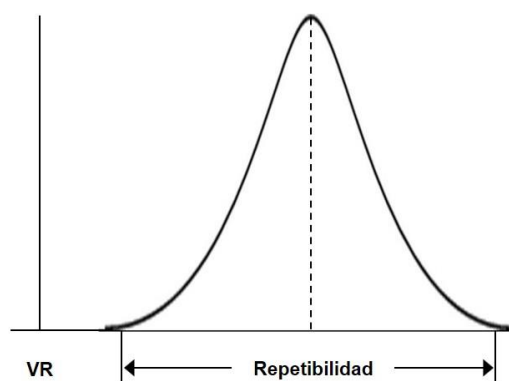


Figura 13. Definición gráfica de la repetibilidad (Fuente: elaboración propia a partir de Escalante, 2013)

Para el estudio de la **repetibilidad** se utiliza: un evaluador, un instrumento de medida (medidor) y una parte o pieza medida varias veces (tres ensayos).

Reproducibilidad

El Manual Análisis de Sistemas de Medición (**AIAG**, 2010) define la **reproducibilidad** de la forma siguiente: "La variación en el promedio de las mediciones hechas por diferentes evaluadores usando el mismo equipo de medición cuando se mide la misma característica y sobre la misma parte" (Pag. 55).

En el **estudio GR&R** se le denomina "Variación del Inspector (VI)". La Figura 14 muestra la definición gráfica de la **reproducibilidad**.

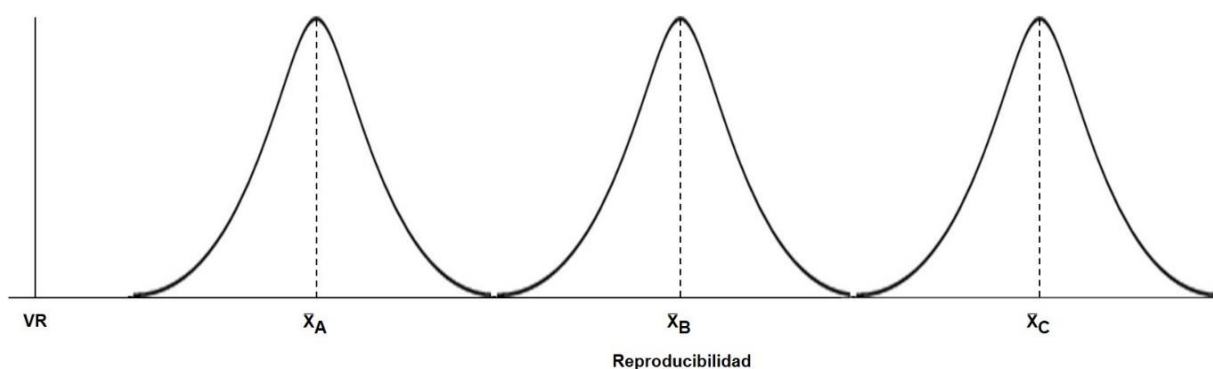


Figura 14. Definición gráfica de la reproducibilidad (Fuente: elaboración propia a partir de Escalante, 2013)

Para el estudio de la **reproducibilidad** se utiliza: tres inspectores, un instrumento de medida (medidor) y 10 piezas.

El **Anexo V** muestra el procedimiento para llevar a cabo el **estudio de repetibilidad y reproducibilidad (GR&R)** de un **sistema de medida**.

2.4.2. Prueba de normalidad de los datos

Una vez comprobado que el **sistema de medida** es aceptable, y antes de realizar el control estadístico del proceso, es necesario comprobar, realizando la **prueba de normalidad de los datos**, que los datos (medidas) se distribuyen siguiendo la **distribución normal**.

La **distribución normal** ha sido ampliamente estudiada por diversos autores, entre los cuales se encuentran, Gutiérrez, H. y De La Vara Salazar, R. (2009) los cuales proponen para esta distribución la definición siguiente:

La distribución normal es probablemente la distribución continua más importante, tanto en estadística teórica como aplicada. Si X es una variable aleatoria normal, entonces su función de densidad de probabilidades viene dada por:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2} \quad \text{Con } -\infty < x < \infty$$

Donde μ es su media, y σ su desviación estándar. Al graficar la función $f(x)$ se obtiene una gráfica simétrica y unimodal, cuya forma es similar a una campana. El centro de ésta coincide con μ , y la amplitud está determinada por σ (Gutiérrez, H. y De La Vara Salazar, R., 2009, p. 51).

Se obtiene una distribución con las siguientes características:

- La forma de la distribución está determinada por la μ (media), y la σ (desviación estándar).
- El punto más elevado de la gráfica es la media.
- La distribución es simétrica respecto a la media.
- A medida que se alejan de la media, los puntos ocurren con menos frecuencia.
- La mayor parte del área bajo la curva (99,73%) se encuentra entre -3σ y $+3\sigma$ de la media.

Si X es una variable aleatoria con **distribución normal** con μ de media y σ^2 de varianza, $N(\mu, \sigma^2)$, entonces se cumplen las propiedades siguientes:

- Probabilidad $(\mu - 1\sigma < X < \mu + 1\sigma) = 0,68270 \rightarrow 68,270\%$
- Probabilidad $(\mu - 2\sigma < X < \mu + 2\sigma) = 0,95450 \rightarrow 95,450\%$
- Probabilidad $(\mu - 3\sigma < X < \mu + 3\sigma) = 0,99730 \rightarrow 99,730\%$
- Probabilidad $(\mu - 4\sigma < X < \mu + 4\sigma) = 0,99994 \rightarrow 99,994\%$

La Figura 15 muestra las propiedades de la distribución normal.

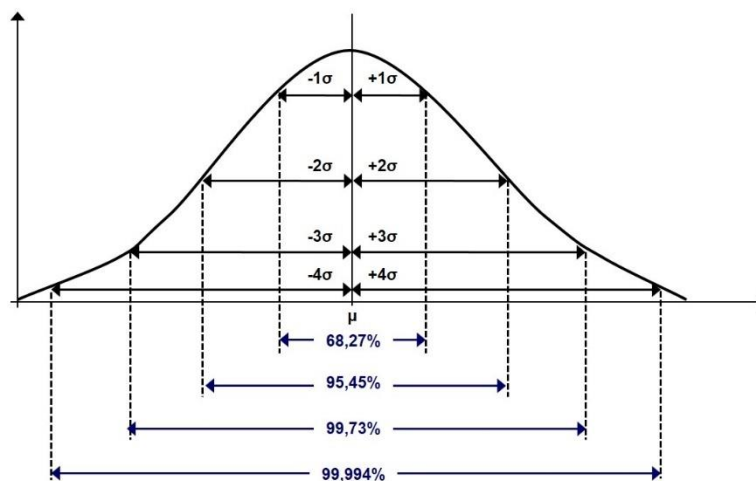


Figura 15. Propiedades de la distribución normal (Fuente: elaboración propia)

Según Gutiérrez, H. y De La Vara Salazar, R. (2009), existen muchas pruebas para verificar la **normalidad de los datos**. En el presente proyecto se van realizar dos comprobaciones de la normalidad de los datos: una gráfica y otra cuantitativa (Anderson-Darling).

El **Anexo VI** muestra el procedimiento para llevar a cabo las **pruebas de normalidad de los datos**.

2.4.3. Control estadístico del proceso

Los **gráficos de control** son la base para el control estadístico del proceso. Estos gráficos de control fueron propuestos originalmente por Walter A. Shewhart, y por eso se les conoce como gráficos de control de Shewhart.

Esta herramienta ha sido ampliamente estudiada por diversos autores, entre los cuales se encuentran, Gutiérrez, H. y De La Vara Salazar, R. (2009) los cuales proponen para esta metodología la definición siguiente: "Los gráficos de control sirven para observar y analizar la variabilidad y el comportamiento de un proceso a través del tiempo" (Pag. 186).

Un proceso está estable cuando solamente actúan sobre él las causas normales (también denominadas comunes) de variación (éstas se deben al sistema). Por lo tanto, se puede decir que está bajo control estadístico y que su variación, dentro de los límites de control, es predecible.

Que un proceso esté bajo control estadístico no implica por necesidad, que el proceso tenga escasa variación o que esté dentro de las especificaciones del proceso. La mejora del proceso se debe llevar a cabo por medio de la mejora del sistema. En este caso es posible predecir la capacidad del proceso.

Un proceso inestable está sujeto a causas especiales de variación (éstas se deben a situaciones particulares o especiales). Obligatoriamente no tiene que tener una gran variación, sin embargo, ésta no es predecible. La mejora del proceso se logra, por lo general, por medio del personal del proceso.

La Figura 16 muestra los elementos de un **gráfico de control**.

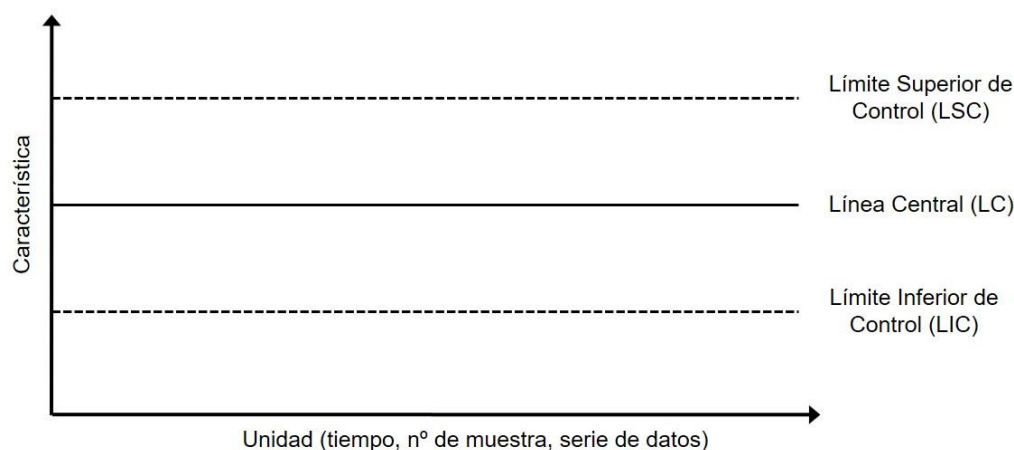


Figura 16. Elementos de un gráfico de control (Fuente: elaboración propia)

El **gráfico de control** se corresponde con un gráfico de líneas en el que se muestran las medidas de un producto o proceso a lo largo del tiempo. Los puntos del gráfico pueden ser las medidas reales de una característica de un producto o estadísticos (medias, desviaciones estándar, rangos, etc.) obtenidos de las muestras seleccionadas.

Las referencias del **gráfico de control** son las siguientes:

- Una línea central que representa de la tendencia central del proceso
- Dos límites de control, inferior y superior, que representan la dispersión del proceso cuando sobre él, actúan solamente las causas de variación comunes o aleatorias.

Los límites de control, de variación natural, están ubicados a una distancia de $\pm 3\sigma$ a partir de la línea central. En la mayoría de las veces, la distribución de las variables de estudio es aproximadamente Normal ($\mu \pm 3\sigma$). La Figura 17 muestra gráficamente la variación del proceso a través del gráfico de control.

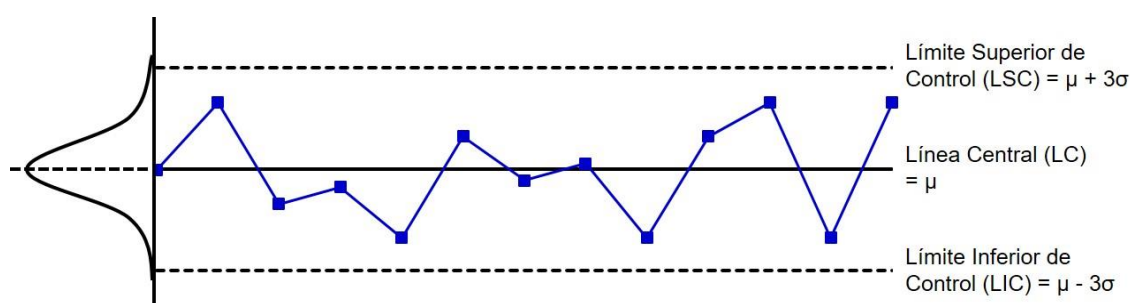


Figura 17. Variación de proceso (Fuente: elaboración propia)

En la figura, μ representa la media del proceso y σ representa la desviación típica de proceso.

Cuando se estudian los **gráficos de control**, se tienen en cuenta dos posibilidades:

- Si el punto está situado fuera de los límites de control, es un indicador de que el proceso no está bajo control estadístico.

- Si aun estando dentro de los límites de control, los puntos actúan de manera no aleatoria o sistemática, esto puede suponer la existencia de algún patrón sistemático o tendencia que advierte de la existencia de problema serio. Es decir, un aviso para actuar.

Por otro lado, no indica la causa por el cual el proceso no está bajo de control estadístico. Mediante la comparación gráfica con diversos patrones, se intenta detectar las causas no comunes de variación que actúan sobre el proceso, con el objetivo de identificarlas y, posteriormente, eliminarlas.

Para realizar un **gráfico de control**, primero es necesario identificar la distribución que siguen los datos del proceso en estudio. En la mayoría de los casos, la distribución es aproximadamente Normal ($\mu \pm 3\sigma$).

El **Control Estadístico del Proceso**, mediante los **gráficos de control**, tiene como objetivos:

- Asegurar y mantener que el proceso esté bajo control estadístico, localizando las causas especiales.
- Estimar las características del proceso.
- Entender el proceso, de forma que se puedan identificar qué causas especiales influyen sobre su medida (μ), así como sobre su dispersión (σ).
- Medir los efectos de las causas especiales y aprender a solucionarlas y evitarlas.
- Servir como herramienta de mejora del proceso, minimizando la dispersión y con ello, poder aumentar su indicador de capacidad.

Los **gráficos de control** para variables se utilizan para monitorizar características de calidad medibles en una escala continua como longitudes, alturas, diámetros, etc. Sus tipos son:

1. Gráfico de medias y rangos.
2. Gráfico de medidas individuales y rangos móviles.
3. Gráfico de medias y desviaciones estándar.
4. Gráfico de medianas y rangos.

Para el presente proyecto se elige el **Gráfico de medias y rangos**. El **Anexo VII** muestra el procedimiento para realizar este **gráfico de control**.

Plan de control

El **plan de control** es una relación de todas las acciones que se deben llevar a cabo para asegurar el mantenimiento de las mejoras en el proceso a lo largo del tiempo. Es un método para detectar e identificar las ineficiencias en el sistema de control, y muestra la estrategia de control que asegura que las mejora sigan siendo eficaces a largo plazo.

Se utiliza para controlar el desempeño de un proceso mejorado.

La Figura 18 muestra el documento del **plan de control**.

Fecha:		Revisión:	
Producto:		bexiflon	
Proceso:			

Proceso				Proceso de medida				Proceso de muestreo			Proceso de toma de decisiones		
Paso proceso	¿Qué se controla?	Crítico	Entrada Salida	Límites de especificación Requerimientos	Método de medición	Lugar	Método de control	Tamaño de muestra	Frecuencia	¿Quién o qué mide?	Dónde se registra	Regla de decisión Acción correctiva	Nº. doc

Aprobado por:	
Realizado por:	
Fecha última actualización:	
Versión:	

Figura 18. Documento del plan de control (Fuente: elaboración propia)

El Anexo VIII muestra el procedimiento para elaborar el plan de control.

2.4.4. Capacidad del proceso

Una vez que el proceso está en control estadístico, es decir, que todos los puntos se encuentran dentro de los límites de control, se puede realizar el cálculo del indicador de capacidad del proceso.

La capacidad del proceso ha sido ampliamente estudiada por diversos autores, entre los cuales se encuentra, Escalante, E. (2008) que realiza la definición siguiente:

El indicador de capacidad potencial es una comparación entre los límites de especificación (tolerancia) y los límites del proceso sin tener en cuenta la ubicación del mismo (C_p). El indicador de capacidad real sí toma en cuenta la ubicación del centro del proceso en comparación con los límites de especificación (C_{pk}).

Si un proceso no es potencialmente capaz, definitivamente tampoco tendrá capacidad real. La voz del proceso se representa por la variabilidad natural del proceso. Las especificaciones del cliente representan las necesidades de nuestros clientes, son llamadas la voz del cliente. Es importante comparar la variabilidad natural del proceso con los requerimientos de los clientes. A esto se le llama capacidad del proceso. (Escalante, E., 2008, p. 221).

La Figura 19 muestra la relación entre la voz del proceso vs. la voz de cliente.



Figura 19. Relación entre la voz del proceso vs. la voz de cliente (Fuente: elaboración propia)

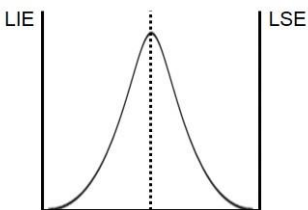
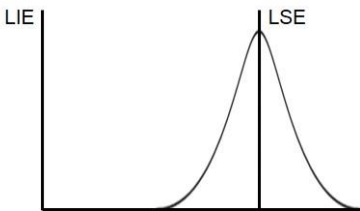
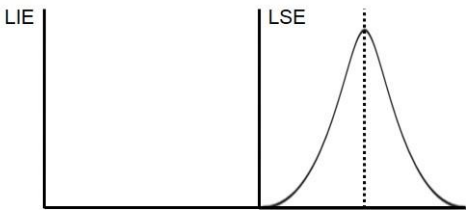
El indicador de capacidad potencial es una comparación entre los límites de especificación (tolerancia) y los límites del proceso sin tener en cuenta la ubicación del mismo. Su fórmula es la siguiente:

$$C_p = \frac{LSE - LIE}{6\sigma}$$

El indicador de capacidad real sí toma en cuenta la ubicación del centro del proceso, en comparación con los límites de especificación. Su fórmula es la siguiente:

$$C_{pk} = \text{Menor} \left(\frac{\bar{X} - LIE}{3\sigma}; \frac{LSE - \bar{X}}{3\sigma} \right)$$

La relación entre Cp y Cpk es la siguiente:

	<p>Cp = 1 y Cpk = 1</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Cp es positivo (es la razón de dos números positivos). ▪ Cuando Cpk está en su valor máximo será igual a Cp, cuando esto ocurre el proceso está centrado.
	<p>Cp = 1 y Cpk = 0</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Cpk puede ser positivo, cero o negativo. ▪ Cuando Cpk es cero, la salida (Yield) es del 50%.
	<p>Cp = 1 y Cpk = -1</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Cuando Cpk es negativo, la salida (Yield) es menor del 50%.

La Tabla 6 muestra la relación existente entre el Cp y el Cpk.

Tabla 6. Relación entre Cp y Cpk

Valor de Cp y Cpk	Relación entre Cp y Cpk
Cp > Cpk	El proceso no está centrado en el objetivo.
Cp = Cpk	El proceso está centrado en el objetivo.
Cpk < 1	El proceso es incapaz.
Cpk > 1 y < 1,33	El proceso es apenas capaz.
Cpk > 1,33	El proceso es capaz.

(Fuente: elaboración propia a partir de Escalante, 2013)

El indicador Cpk siempre predomina sobre el Cp para obtener la calificación real del proceso. El Cp es el valor máximo, capacidad potencial, al que puede aspirar el Cpk cuando el proceso esté centrado.

Los estudios de capacidad a largo plazo se ejecutan en un intervalo más largo de tiempo, de tal manera que se contemplen todos los orígenes de variación del proceso (diversos lotes de materia prima, distintos operarios, etc.).

En vez de obtener la "desviación interna" (subgrupos), en este caso, todas las medidas se contemplan como un solo grupo, obteniéndose la desviación estándar "s", que estima la variación interna (subgrupos) y la variación debida a las alteraciones entre los subgrupos.

Por el contrario, los estudios de capacidad a corto plazo, no consideran la variación entre los subgrupos. La virtud de los estudios de capacidad a corto plazo es que son más fáciles y rápidos que los estudios de capacidad a largo plazo.

Para hacer un estudio de capacidad a corto plazo se suelen coger veinte subgrupos de cinco muestras, y hacer una estimación de la desviación estándar interna.

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

A la variación a "corto plazo" se le denomina variación "interna", y a la variación a "largo plazo" también se la llama "total o global".

Cuando se informa sobre los resultados de la capacidad del proceso, conviene utilizar una ventana de operación de $\pm 1,5\sigma$.

La estimación "s" a corto plazo se usa para calcular Cp y Cpk. La estimación "s" a largo plazo se usa para evaluar los índices Pp y Ppk. Estos se calculan con las mismas fórmulas de Cp y Cpk, respectivamente, sustituyendo la desviación estándar a corto plazo por la desviación estándar de largo plazo.

Las diferentes fórmulas son las siguientes:

$s(\text{corto}) = \frac{\sum_{i=1}^k \frac{R_i}{d_2}}{k}$	$s(\text{largo}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2}{N-1}}$
$C_p = \frac{LSE - LIE}{6\sigma(\text{corto})}$	$C_{pk} = \text{Menor} \left(\frac{\bar{X} - LIE}{3\sigma(\text{corto})}; \frac{LSE - \bar{X}}{3\sigma(\text{corto})} \right)$
$P_p = \frac{LSE - LIE}{6\sigma(\text{largo})}$	$P_{pk} = \text{Menor} \left(\frac{\bar{X} - LIE}{3\sigma(\text{largo})}; \frac{LSE - \bar{X}}{3\sigma(\text{largo})} \right)$

El **Anexo IX** muestra el procedimiento para calcular la **capacidad del proceso**.

2.4.5. Porcentaje de producto defectuoso

Una vez conocidos los parámetros siguientes, media y desviación estándar, correspondientes a las medidas obtenidas y los valores de las especificaciones, se puede calcular el **porcentaje de producto** que estadísticamente va a quedar fuera de las especificaciones. En la Figura 20 se muestra gráficamente el **porcentaje de producto defectuoso** del proceso de fabricación, tanto a la izquierda como a la derecha de las especificaciones del cliente.

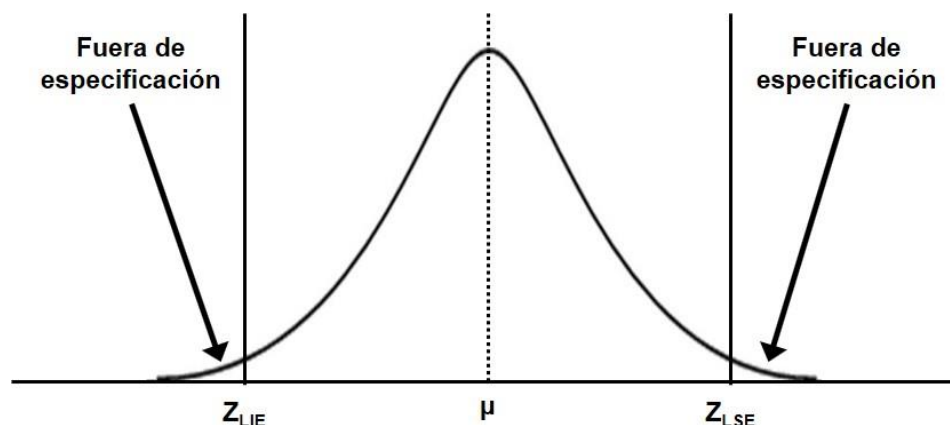


Figura 20. Porcentaje de producto defectuoso (Fuente: elaboración propia)

El **Anexo X** muestra el procedimiento para calcular el **porcentaje de producto defectuoso**.

2.4.6. Nivel sigma

Una vez conocido el porcentaje de producto defectuoso, se puede obtener el porcentaje de producto dentro de especificaciones. A partir de este valor, se puede calcular el **nivel sigma**.

El **nivel sigma** califica el proceso, basándose en el **nivel sigma**, con el objetivo de normalizar dicha calificación y poder contrastar diversos procesos.

La Tabla 7 muestra la relación entre la fracción defectuosa en partes por millón (PPMs) y el **nivel sigma**. El **nivel sigma** puede ser a largo plazo o corto plazo, dependiendo del intervalo temporal de los datos.

Tabla 7. Nivel Sigma

PPMs	Nivel Sigma	
	(Corto Plazo)	(Largo Plazo)
308.537	2,0	0,50
66.807	3,0	1,5
22.750	3,5	2,0
6.210	4,0	2,5
1.350	4,5	3,0
233	5,0	3,5
32	5,5	4,0
3,4	6,0	4,5

Fuente: elaboración propia

El **Anexo XI** muestra el procedimiento para calcular el **nivel sigma de proceso**.

3 DESCRIPCIÓN DE LA SITUACIÓN DE PARTIDA

En este apartado se va a estudiar el producto y el proceso actual de fabricación por parte de **Bexiflon** de la referencia 9010618, objeto de este TFM. Este producto es un asiento de la bola fabricado en PTFE (teflón) que forma parte de los grupos de seguridad producidos por la empresa **orkli Sociedad Cooperativa**) con referencia F-9821 versión 5.

3.1. PRODUCTO

A continuación, se analizan los aspectos más importantes con respecto al producto.

3.1.1. Plano del producto

La Figura 21 muestra el plano del producto.

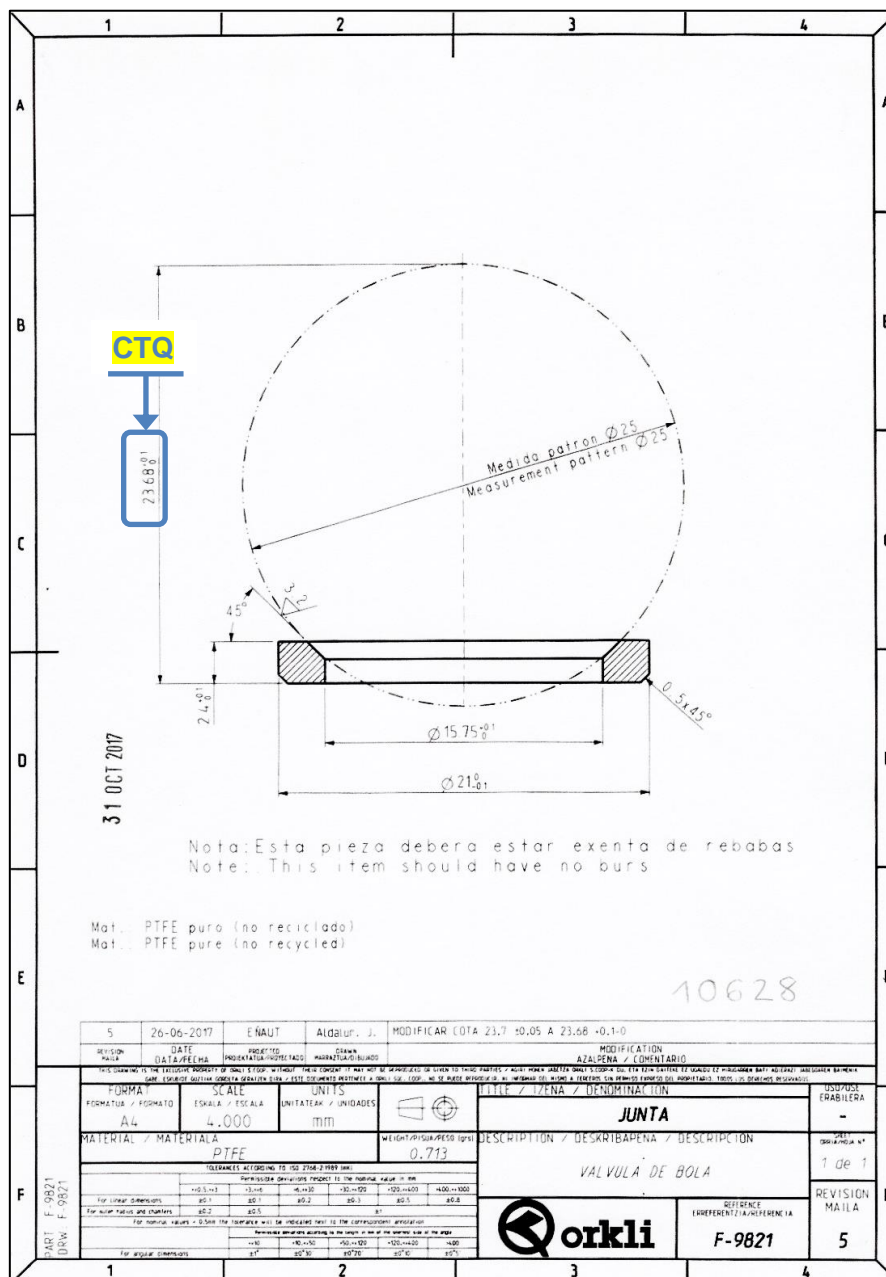


Figura 21. Plano de producto (Fuente: orkli, S.Coop.)

3.1.2. Materia prima utilizada

La materia prima utilizada para el proceso de fabricación de este producto, es el politetrafluoroetileno (PTFE), comercialmente más conocido como teflón. El PTFE es un plástico de uso industrial similar al polietileno (el plástico más común utilizado en la vida diaria), pero con una composición molecular que le dota de características únicas. El polietileno está compuesto de flúor e hidrogeno, mientras que el PTFE está compuesto de flúor y carbono. Su fórmula química es $CF_2=CF_2$.

Sus características más importantes son las siguientes:

- Prácticamente absoluta estabilidad química, es decir, su comportamiento no es afectado por ninguna sustancia, por ácida que ésta sea.
- Muy amplia empleabilidad térmica, desde $-190^{\circ}C$ hasta $250^{\circ}C$.
- No le afecta la luz, permanece inerte al paso del tiempo.
- Nula absorción de ningún fluido.
- Excepcionales propiedades como aislante eléctrico.
- Muy buena solidez mecánica.
- Biocompatible, de aquí que se emplee para sustitución de venas humanas.
- Material ignifugo.

Estas propiedades del teflón hacen que éste sea uno de los materiales más versátiles y con más posibilidades de uso. Además, si la pieza final tuviera una aplicación que precisase de algunas características diferentes, el PTFE se puede cargar, es decir, se puede mezclar con otras sustancias, por ejemplo, fibra de vidrio, grafito, carbón, etc., que le den al material definitivo nuevas propiedades.

3.1.3. Acabado final del producto

La Figura 22 muestra el acabado final del producto visto desde dos perspectivas.

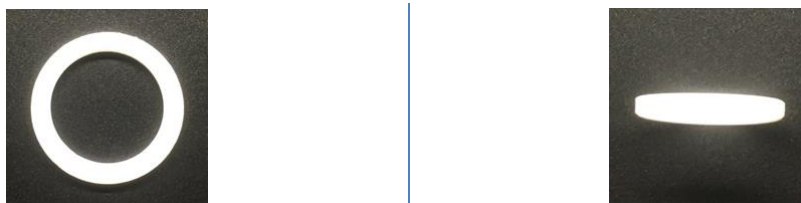


Figura 22. Acabado final del producto (Fuente: elaboración propia con la aportación de Bexiflon)

3.1.4. Característica crítica de calidad del producto (CTQ)

La variable, característica crítica de calidad del producto (CTQ), objeto del presente proyecto es la cota que va desde la base del asiento de la bola de 25 mm de diámetro hasta la parte superior de la misma (ver figura 21). El valor medio de la CTQ es igual a 23,730 mm.



Los límites de especificación de la CTQ son los siguientes:

- Límite superior de especificación igual a 23,780 mm.
- Límite inferior de especificación igual a 23,680 mm.

Por lo tanto, la diferencia entre ambos límites es igual a 0,1 mm.

3.1.5. Aplicación práctica del producto

El producto F-9821 versión 5 se utiliza en la fabricación, por parte de la empresa **orkli Sociedad Cooperativa**, de sus grupos de seguridad. En la Figura 23 se puede ver, dentro del apartado de materiales y enmarcado en rojo, que el producto objeto de presente proyecto constituye el asiento de la bola y que el material empleado es PTFE, tal y como se ha comentado con anterioridad.


 Soluciones HYDRAULICAS
FICHA TÉCNICA
 06-2020 / 02

GRUPO DE SEGURIDAD


Los grupos de seguridad están diseñados para realizar las siguientes funciones.

1. Para evitar que la presión del agua en los acumuladores alcance valores peligrosos.
2. Para evitar el regreso del agua caliente a la red de agua fría y la contaminación del agua del acumulador con agua de descarga.
3. Aislar la red de agua fría sanitaria y permitir el mantenimiento y control del acumulador y de la instalación.

• BENEFICIOS Y DISEÑO




• FUNCIONALIDADES



Maneta de accionamiento más cómoda y con la posibilidad de operar con un destornillador plano.

• CERTIFICADOS




• CARACTERÍSTICAS

- Presión de la válvula de alivio: 7bar ± 0.35 bar
- Temperatura máxima de trabajo 85°C
- Ajuste automático
- Estanqueidad del antirretorno con junta tórica
- Entrada de agua: estándar a 48 mm
- Sifón con deflector para evitar las salpicaduras al abrir la válvula de seguridad.
- Para evitar la acumulación de depósitos calcáreos en el asiento de la válvula de seguridad, el modelo especial antical está protegido por un revestimiento de PTFE que garantiza su perfecto funcionamiento incluso en presencia de agua corrosiva o calcárea.


• MATERIALES

Cuerpo	latón EN 12165 CW617
Bola	latón EN 12165 CW617
Juntas de cierre	EPDM 70 PEROX
Asientos de la bola	PTFE
Palanca de la válvula	poliámda 6-6 30% FV

• CONEXIONES Y DETALLES



Conexión de 3/4" al calentador de agua con un hexágono externo robusto.



Maneta de la válvula de seguridad más grande para manipular sin esfuerzo.

Figura 23. Aplicación práctica del producto (Fuente: orkli, S.Coop.)

3.2. PROCESO AS-IS DE FABRICACIÓN

En primer lugar, se va definir cuál es la misión del proceso actual de fabricación. En segundo lugar, se va a desglosar el proceso actual de fabricación en las diferentes actividades, subprocesos, que lo conforman. Por último, se va a dibujar el mapa del proceso actual de fabricación (Proceso AS-IS).

3.2.1. Misión del proceso AS-IS de fabricación

El proceso actual de fabricación tiene como misión fabricar un asiento de la bola fabricado en PTFE (teflón) para formar parte de los grupos de seguridad producidos por la empresa **orkli Sociedad Cooperativa**, con referencia F-9821 versión 5.

La importancia de monitorizar este proceso radica en la necesidad de satisfacer los requisitos, especificaciones, del cliente. La monitorización se debe realizar en el futuro a través del control estadístico del proceso y del indicador de capacidad del proceso.

3.2.2. Actividades del proceso AS-IS de fabricación

Las Figuras 24 a 33 muestran las actividades del proceso de fabricación.

1. Almacenar materia prima

La materia prima, polvo virgen de teflón modelo Fluon G-201 adquirido a la empresa inglesa AGC Chemicals Europe LTD, viene en cajas de 25 Kg. Esta materia prima se almacena en una ubicación próxima a la siguiente actividad del proceso de producción, extrusión, y se coge a medida que se va necesitando para la extrusión.



Figura 24. Materia prima almacenada
(Fuente: elaboración propia en Bexiflon)

2. Extrusionar materia prima

La entrada de esta actividad es el polvo de teflón modelo Fluon G-201 y la salida es un tubo de 2.250 mm de longitud, de 21,400 mm de diámetro externo y de 14,800 mm de diámetro interno.

El equipo tiene 8 salidas diferentes (ver figura 25). Los elementos de los cuales dependen los diámetros de cada referencia son los siguientes: matriz, mandril y empujador. Los parámetros de los cuales depende la



calidad de la extrusión son los siguientes: la temperatura (cuatro zonas diferentes de temperatura a lo largo del empujador), la cantidad de polvo de teflón suministrada y la presión con la que actúa el empujador.

La actividad de extrusión está situada en una planta superior a la de fabricación. Los tubos de teflón caen de arriba-abajo en modo continuo y son cortados a una longitud de 2.250 mm en el almacén de semielaborado.



Figura 25. Equipo de extrusión (Fuente: elaboración propia en Bexiflon)

3. Almacenar semielaborado extrusionado

El tubo de teflón extrusionado permanece en este almacén entre 1 y 2 días, al objeto de que las características físicas del producto se establezcan.

En este almacén puede haber entre 100 y 120 referencias diferentes, entre tubos (con el interior hueco) y barras (con el interior macizo).



Figura 26. Tubo extrusionado almacenado (Fuente: elaboración propia en Bexiflon)

4. Rectificar tubo teflón

La entrada de esta actividad es un tubo extrusionado de 2.250 mm de longitud, de 21,400 mm de diámetro externo y de 14,800 mm de diámetro interno y la salida es un tubo rectificado de 2.250 mm de longitud, de 20,930 mm de diámetro externo y de 15,750 mm de diámetro interno.

El equipo dispone de dos piedras de esmeril que giran en sentido contrario: una para realizar el rectificado y otra para facilitar el avance del tubo. El tubo pasa dos veces por el equipo.

La actividad de rectificado utiliza taladrina blanca (producto que se utiliza como lubricante y refrigerante, y que está compuesto de agua y aceites).



Figura 27. Equipo de rectificado (Fuente: elaboración propia en Bexiflon)

5. Almacenar semielaborado rectificado

El tubo de teflón rectificado permanece en este almacén hasta que el subproceso aguas abajo, proceso de mecanizado, viene a recogerlo para mecanizarlo.



Figura 28. Tubo rectificado almacenado
(Fuente: elaboración propia en Bexiflon)

6. Mecanizar tubo teflón

La entrada de esta actividad es un tubo rectificado de 2.250 mm de longitud, de 20,930 mm de diámetro externo y de 15,750 mm de diámetro interno.

El equipo realiza dos operaciones:

1. Cortar el tubo a 2,400 mm de espesor (altura del producto final).
2. Realizar dos chaflanes de 45°, una exterior y otro interior. Sobre el chaflán interior se asienta la bola de latón del grupo de seguridad.

El equipo dispone de un sistema pasa-no pasa para apartar aquellas unidades que tiene un espesor superior a las especificaciones (2,400 a 2,500 mm). Las piezas apartadas se vuelven a pasar por el pasa-no pasa, debido a que algunas pueden haber sido apartadas por error durante la primera prueba.

Las que no pasan esta segunda prueba se convierten en polvo de teflón denominado "repro" que se puede emplear para fabricar determinadas referencias, en concreto no para ésta.

La actividad de mecanizado utiliza taladrina blanca (producto que se utiliza como lubricante y refrigerante, y que está compuesto de agua y aceites).



Figura 29. Equipo de mecanizado
(Fuente: elaboración propia en Bexiflon)

7. Controlar calidad producto final

En esta actividad se mide la característica crítica de calidad (CTQ), que como se dice en el punto 3.1.4., puede variar entre 23,680 y 23,780.

Para ello se sitúa la pieza sobre el soporte de instrumento de medida, se asienta la bola en ella y se mide la altura desde la base hasta la parte superior de la bola, tal y como se indica en el plano del punto 3.1.1.

Normalmente en la actualidad se miden 5 unidades del último lote de fabricación, pero sin una sistemática definida de cómo y qué hacer en esta parte del proceso.

La información se registra, pero no se gestiona.

El presente proyecto trata de establecer una sistemática que permita la toma correcta de decisiones en torno a la calidad del producto.



Figura 30. Control de calidad del producto final (Fuente: elaboración propia en Bexiflon)

8. Limpiar producto final

En esta actividad se elimina, mediante soplado por aire a presión, el residuo de polvo de teflón que pueda tener la pieza como resultado de la actividad de mecanizado.



Figura 31. Equipo de limpieza (Fuente: elaboración propia en Bexiflon)

9. Embalar producto final

En esta actividad se introducen 10.000 unidades en una bolsa de plástico. El conteo de este número de unidades se realiza por medio de una báscula cuenta piezas MOBBA CP41 con una resolución de 0,01 Kg.

A continuación, se introducen dos bolsas (20.000 unidades) en cajas de cartón, para posteriormente paletizar un determinado número de cajas en cada palé.



Figura 32. Embalaje del producto final
(Fuente: elaboración propia en Bexiflon)

10. Almacenar producto final

Una vez embalado el producto, éste permanece almacenado en palés hasta su envío al cliente, en este caso **orkli Sociedad Cooperativa**.



Figura 33. Producto final almacenado
(Fuente: elaboración propia en Bexiflon)

3.2.3. Mapa AS-IS del proceso de fabricación

La Figura 34 muestra el mapa AS-IS del proceso de fabricación del asiento de la bola.

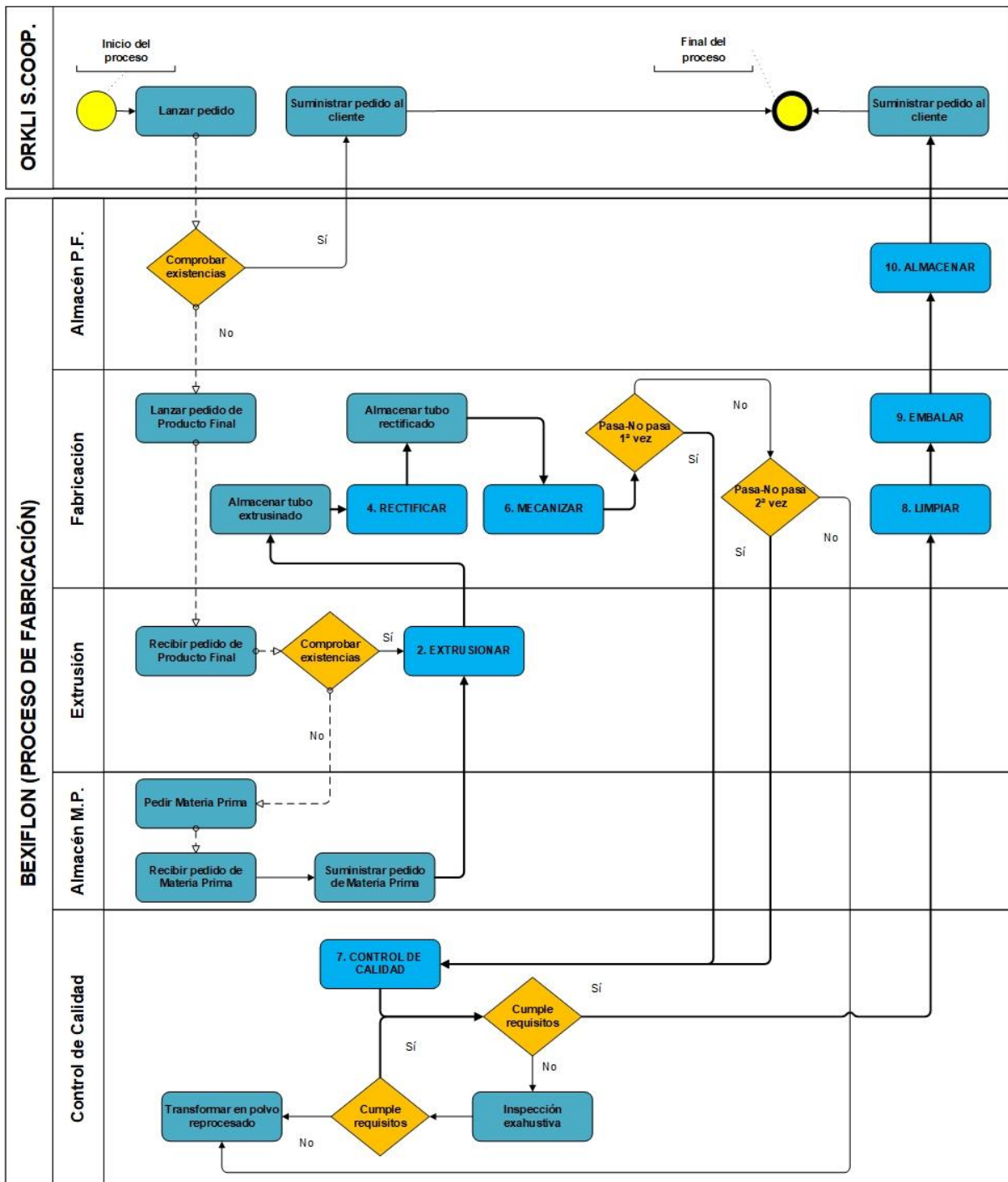


Figura 34. Mapa AS-IS del proceso de fabricación (Fuente: elaboración propia)

4 RESULTADOS DEL PROYECTO

En este apartado se hace una breve descripción de los resultados obtenidos, tanto a nivel cuantitativo como a nivel cualitativo, en las diferentes fases del proyecto de **Aseguramiento de la Calidad**, reflejado en la Figura 5.

4.1. ANÁLISIS DEL SISTEMA DE MEDIDA

A continuación, se muestran los resultados obtenidos, por un lado, en el estudio de **resolución** del instrumento de medida y, por otro lado, en los diferentes estudios correspondientes al análisis del **sistema de medida** propiamente dicho, tal y como se muestra en la Figura 1.

4.1.1. Estudio de resolución del instrumento de medida

Según se refleja en el **Anexo I**, al aplicar la "Regla de los Dieces", se observa que empleando una **resolución** de 0,01 mm se obtiene un valor de $N = 3$ que es menor que 10 (no cumple la Regla de los Dieces). Por el contrario, empleando una **resolución** de 0,001 mm se obtiene un valor de $N = 37$ que es mayor que 10 (sí cumple la Regla de los Dieces).

En resumen, en el presente proyecto es necesario disponer de un instrumento de medida con una **resolución** de 0,001 mm.

4.1.2. Estudio de estabilidad

Según se refleja en el **Anexo II**, para realizar el **estudio de estabilidad** se mide un máster (en este caso de 25 mm), por ejemplo, durante los 20 días laborables del mes, y a continuación, se dibujan los gráficos de medidas individuales y de rangos móviles, cada uno con su correspondiente línea central y sus correspondientes límites de control.

Si, tanto las medidas individuales como los rangos, están dentro de los límites de control, se puede decir que el **sistema de medida** es estable. En nuestro caso, ambos gráficos lo están. Resumiendo, en el presente proyecto se puede confirmar la **estabilidad** del **sistema de medida**.

4.1.3. Estudio de sesgo

Según se refleja en el **Anexo III**, para realizar el **estudio de sesgo** se mide un máster (en este caso de 30 mm) por lo menos 10 veces (en este caso 20 veces). A continuación, se utilizan dos formas de comprobar el **sesgo**:

- Gráficamente: con las medidas obtenidas se dibuja el histograma, y si éste muestra que los resultados están distribuidos alrededor del valor de referencia (30 mm), como es el caso de presente proyecto, indica que no hay presencia de **sesgo**.
- Estadísticamente: con las medidas obtenidas se calcula el intervalo de confianza del 95% (29,99730 mm a 30,00680 mm). Si el intervalo de confianza incluye al valor de

referencia (30 mm), como es el caso del presente proyecto, se asumirá que no hay evidencia de **sesgo** en el **sistema de medida**.

En resumen, en el presente proyecto se puede confirmar que no existe ningún tipo de **sesgo** en el **sistema de medida**.

4.1.4. Estudio de linealidad

Según se refleja en el **Anexo IV**, para realizar el **estudio de linealidad** se miden seis másteres (en este caso de 5, 10, 15, 20, 25 y 30 mm) 10 veces cada uno. A continuación, se calcula el sesgo de cada medida (60 sesgos), el sesgo medio (6 sesgos medios) y se dibuja el gráfico de dispersión de esos valores. Después se calculan y grafican, tanto la línea de ajuste, como el intervalo de confianza del 95%.

Para que la **linealidad** sea aceptable, la línea de **sesgo cero** debe quedar totalmente dentro de los límites de confianza. Tal y como se puede apreciar en la Figura 44, en este caso la **linealidad** es aceptable.

Además de este método, tal y como se puede ver en el **Anexo IV**, también se puede estudiar la **linealidad** de forma numérica, a través de la comparación de dos factores.

En resumen, en el presente proyecto se puede confirmar la **linealidad** del **sistema de medida**.

4.1.5. Estudio de repetibilidad y reproducibilidad (GR&R)

Según se refleja en el **Anexo V**, para realizar el **estudio de repetibilidad y reproducibilidad (GR&R)** se miden 10 piezas, por medio de tres inspectores y durante tres ensayos. Por lo tanto, el total de medidas que se realizan es de 90.

Se calculan las variaciones debidas a: el equipo (VE), los inspectores (VI), las piezas (VP). A continuación, se calcula el valor del **G(R&R)**, que es la hipotenusa del triángulo rectángulo formado por los catetos VE e VI, y la variación total (VT).

Para determinar si el **sistema de medida** es aceptable o no, se divide el valor del **G(R&R)** por la VT y se multiplica por 100 para obtener el resultado en tanto por ciento.

En el presente proyecto el resultado es de **G(R&R)** es del 19,07% (el **sistema de medida** puede ser aceptable dependiendo de la aplicación).

Además, para reforzar la conclusión anterior, se calcula el número de categorías distintas (NCD) que el **sistema de medida** puede distinguir. En el presente proyecto, el NDC es igual a 7. Con un NCD mayor o igual a 5 el **sistema de medida** es aceptable.

En resumen, en el presente proyecto se puede decir que el **sistema de medida** es aceptable.

4.2.PRUEBA DE NORMALIDAD DE LOS DATOS

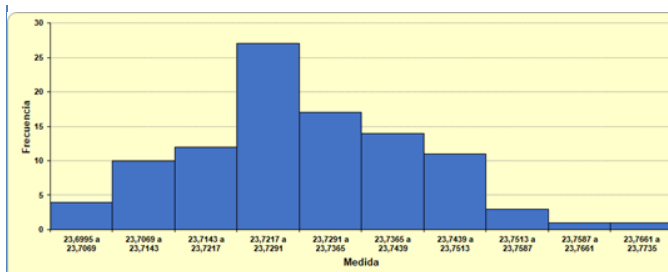
Según se refleja en el **Anexo VI**, para poder implantar el control estadístico del proceso, calcular el indicador de capacidad del proceso, calcular el porcentaje de producto defectuoso y calcular el nivel sigma del proceso, es necesario que los datos recopilados, las medidas, se distribuyan según la distribución normal o de Gauss.

En el presente proyecto la **prueba de la normalidad de los datos** se va a realizar dos formas diferentes: una gráfica y otra cuantitativa (Anderson-Darling).

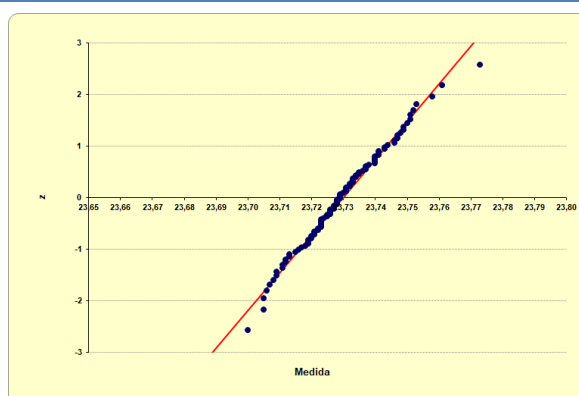
4.2.1.Prueba gráfica de normalidad de los datos

Según se refleja en el **Anexo VI**, para realizar la **prueba gráfica de normalidad de los datos** se miden 100 piezas representativas del proceso. A continuación, se realizan dos gráficos diferentes: un histograma y un gráfico de normalidad de las medidas y la línea de ajuste.

La Figura 47 del **Anexo VI**, muestra el histograma de las 100 medidas realizadas. El histograma muestra gráficamente que las medidas pueden seguir la **distribución normal**.



La Figura 48 del **Anexo VI**, muestra que, si los puntos se ajustan más o menos sobre línea recta, se puede suponer que tienen una **distribución normal**.



4.2.2.Prueba Anderson-Darling de normalidad de los datos

Partiendo de los mismos 100 datos que en el punto anterior, esta segunda prueba consiste en calcular el **estadístico de Anderson-Darling**, que en el presente proyecto es igual a 0,256. A continuación, se calcula el **Valor p** (0,720). Como el **Valor p** es mayor que el nivel de significancia ($\alpha = 0,05$) por lo tanto, no se tiene la suficiente evidencia para concluir que los datos no siguen una **distribución normal** (no se puede descartar la hipótesis nula de que los datos siguen la distribución normal).

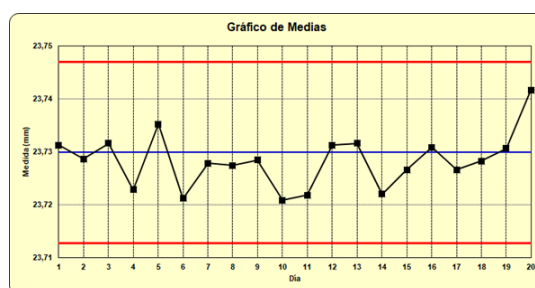
En resumen, en el presente proyecto se puede afirmar que tanto gráficamente como numéricamente, los datos (medidas) se distribuyen según la **distribución normal** de media igual a 23,73 y desviación estándar igual a 0,01368.

4.3.CONTROL ESTADÍSTICO DEL PROCESO

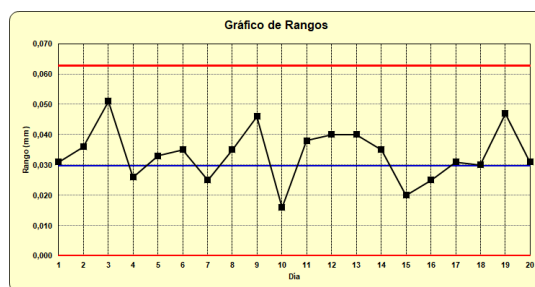
Según se refleja en el **Anexo VII**, para implantar el control estadístico del proceso, primero se toman 100 datos (20 muestras de 5 unidades), y se calculan la línea central y los límites de control, tanto para el gráfico de medias como para el gráfico de rangos. Los resultados están reflejados en el **Anexo VII**.

Estos límites de control son los que se emplearán para la siguiente, segunda, toma de datos (20 muestras de 5 unidades) y servirán para comprobar si el proceso está o no en control estadístico.

En la Figura 50 del **Anexo VII**, se puede apreciar que todas las medias están dentro de los límites de control.



En la Figura 51 del **Anexo VII**, se puede apreciar que todos los rangos están dentro de los límites de control.



En resumen, en el presente proyecto, y analizando ambos gráficos se puede decir que el proceso está en **control estadístico** y, por lo tanto, que es estable y predecible.

Plan de control

El **Anexo VIII** refleja los pasos que hay que seguir para elaborar un **plan de control** que, contenga toda la información necesaria para evitar que las mejoras conseguidas a lo largo del proyecto de mejora, vayan empeorando con el tiempo.

El **plan de control**, también refleja el plan de reacción, procedimiento que indica las actividades a realizar en caso de que exista alguna anomalía en el funcionamiento del proceso.

La Figura 54 del **Anexo VIII**, muestra el resultado final del **plan de control**.

Fecha: 31/10/2020		Revisión: A											
Producto: Referencia 9010618		bexiflon											
Proceso: Fabricación													
Proceso			Proceso de medida		Proceso de muestreo			Proceso de toma de decisiones					
Paso proceso	¿Qué se controla?	Critico	Entrada Salida	Límites de especificación Requerimientos	Método de medición	Lugar	Método de control	Tamaño de muestra	Frecuencia	¿Quién o que mide?	Dónde se registra	Regla de decisión Acción correctiva	Nº. doc
Mecanizado	Altura de la bola	Si	Salida	23,68 mm 23,78 mm	Compador S229	Salida del mecanizado	CEP	5 unidades	1 x turno	Operario de mecanizado	Datos.xlsx	Norma 012/A R. de Fabricación	Norma 033/C
Aprobado por:											Responsable de fabricación		
Realizado por:											Responsable de calidad		
Fecha última actualización:											21/10/2020		
Versión:											A		

4.4.CAPACIDAD DEL PROCESO

Según se refleja en el **Anexo IX**, para calcular el indicador de capacidad del proceso se utiliza de la segunda toma de 100 datos (20 muestras de 5 unidades) del **Anexo VIII**. A continuación, partiendo de los valores de la media (23,7283), la desviación a corto plazo (0,0144239), la desviación a largo plazo (0,0132585) y de los límites de especificación (23,680 y 23,780), se calculan los valores del indicador de capacidad a corto plazo y de capacidad a largo plazo. Los resultados se muestran en la Tabla 8.

Tabla 8. Valores de la capacidad del proceso

Capacidad de proceso a corto plazo		Capacidad de proceso a largo plazo	
Cp	1,16	Pp	1,26
Cpi	1,12	Ppi	1,21
Cps	1,19	Pps	1,30
Cpk	1,12	Ppk	1,21

Fuente: elaboración propia elaboración propia con datos obtenidos en Bexiflon

En resumen, con los valores de capacidad obtenidos a corto plazo, se puede decir que el proceso es apenas capaz ($Cpk = 1,12$). En este caso, lo primero que hay que hacer es centrar el proceso, para alcanzar el valor de Cp ($Cp = 1,16$). Y posteriormente, para mejorar el valor de indicador habrá que disminuir el valor de la desviación estándar del proceso, "s" a corto plazo. Esta es una tarea que necesita de una planificación y plazo determinados.

4.5.PORCENTAJE DE PRODUCTO DEFECTUOSO

Partiendo de los datos obtenidos en el **Anexo IX**, para calcular el porcentaje de producto defectuoso, lo primero que hay que hacer es normalizar a corto y a largo plazo el valor de los límites de especificación y a continuación realizar los cálculos realizados en el **Anexo IX**. La Tabla 9 refleja los porcentajes de producto defectuoso obtenidos durante el proyecto.

Tabla 9. Porcentajes de producto defectuoso

A corto plazo		A largo plazo	
Z_{LIE}	-3,35	Z_{LIE}	-3,64
Área	0,00041	Área	0,00013
% a la izquierda	0,041%	% a la izquierda	0,013%
% a la derecha	99,96%	% a la derecha	99,99%
Fracción defectuosa (PPM's)	406,09	Fracción defectuosa (PPM's)	134,77
Z_{LSE}	3,58	Z_{LSE}	3,90
Área	0,99983	Área	0,99995
% a la izquierda	99,98%	% a la izquierda	100,00%
% a la derecha	0,017%	% a la derecha	0,005%
Fracción defectuosa (PPM's)	168,97	Fracción defectuosa (PPM's)	48,22
Fuera de especificaciones	0,058%	Fuera de especificaciones	0,018%
Fracción defectuosa (PPM's)	575,06	Fracción defectuosa (PPM's)	182,99

Fuente: elaboración propia elaboración propia con datos obtenidos en Bexiflon

En resumen, en el presente proyecto, y a corto plazo, se pueda afirmar que estadísticamente el **porcentaje de producto defectuoso** es del 0,058% o 575,06 PPMs. A largo plazo, el **porcentaje de producto defectuoso** es del 0,018% o 182,99 PPMs

4.6. NIVEL SIGMA DEL PROCESO

Partiendo de los datos obtenidos en el **Anexo X**, para calcular el **nivel sigma del proceso** es necesario conocer el porcentaje de producto dentro de especificaciones (a corto plazo, 99,94% y a largo plazo, 99,98%). A continuación, se aplica la fórmula de la distribución normal estándar inversa, obteniendo los valores del **nivel sigma de proceso** (a corto plazo, 3,25 y a largo plazo, 3,56).

En resumen, en el presente proyecto los **niveles sigma de proceso** son 3,25 y 3,56 respectivamente. Estos valores indican que hay suficiente margen para la mejora.

4.7. PROCESO TO-BE DE FABRICACIÓN

En primer lugar, se va a definir cuál es la visión del proceso futuro de fabricación. En segundo lugar, se va a desglosar el proceso futuro de fabricación en las diferentes actividades, subprocesos, que lo conforman. Y, por último, se va a dibujar el mapa del proceso futuro de fabricación (Proceso TO-BE).

4.7.1. Visión del proceso TO-BE de fabricación

El proceso futuro de fabricación tiene como visión fabricar un asiento de la bola fabricado en PTFE (teflón) para formar parte de los grupos de seguridad producidos por la empresa **orkli Sociedad Cooperativa**, con referencia F-9821 versión 5, asegurando la calidad del producto a través de la implantación de un sistema de medida aceptable, del control estadístico del proceso y del indicador de capacidad del proceso. Esto permitirá calcular estadísticamente, tanto el porcentaje de producto defectuoso, como el nivel sigma de proceso.

Lo anterior, permitirá si fuera necesario, alcanzar acuerdos de calidad concertada con el cliente, lo que redundará en un beneficio para ambas partes implicadas.

4.7.2. Actividades del proceso TO-BE de fabricación

El proceso futuro de fabricación (TO-BE) mantiene las mismas actividades que el proceso actual (AS-IS), exceptuando la actividad Controlar calidad del producto final (actividad número 7 en el punto 3.2.2.), que desaparece al implantar el control estadístico del proceso y el indicador de capacidad del proceso.

A partir de este momento será el operario de mecanizado quien, en el momento que se designe, tome una muestra de 5 unidades del proceso, las mida y anote los resultados en la aplicación informática diseñada para el control estadístico del proceso. En el caso de que ocurra alguna incidencia, el operario seguirá las instrucciones reflejadas en el plan de control.

El departamento de calidad, más delante de mejora continua, en un futuro no muy lejano, pasará a tener dos tareas principales: la gestión de las certificaciones de calidad (por ejemplo, la IATF 16949) y la puesta en marcha de proyectos de mejora continua, a través de eventos Kaizen (algunas posibles mejoras se propondrán en el apartado de sugerencias de mejora).

4.7.3. Mapa del proceso TO-BE de fabricación

El mapa del proceso TO-BE cambia respecto al proceso AS-IS (Figura 34) en que, por un lado, desaparece el departamento de calidad del mismo y, por otro lado, se añade el control estadístico del proceso, el plan de control, y los cálculos del indicador de capacidad, el porcentaje de producto defectuoso y el nivel sigma de proceso.

La Figura 35 muestra el mapa TO-BE del proceso de fabricación del asiento de la bola.

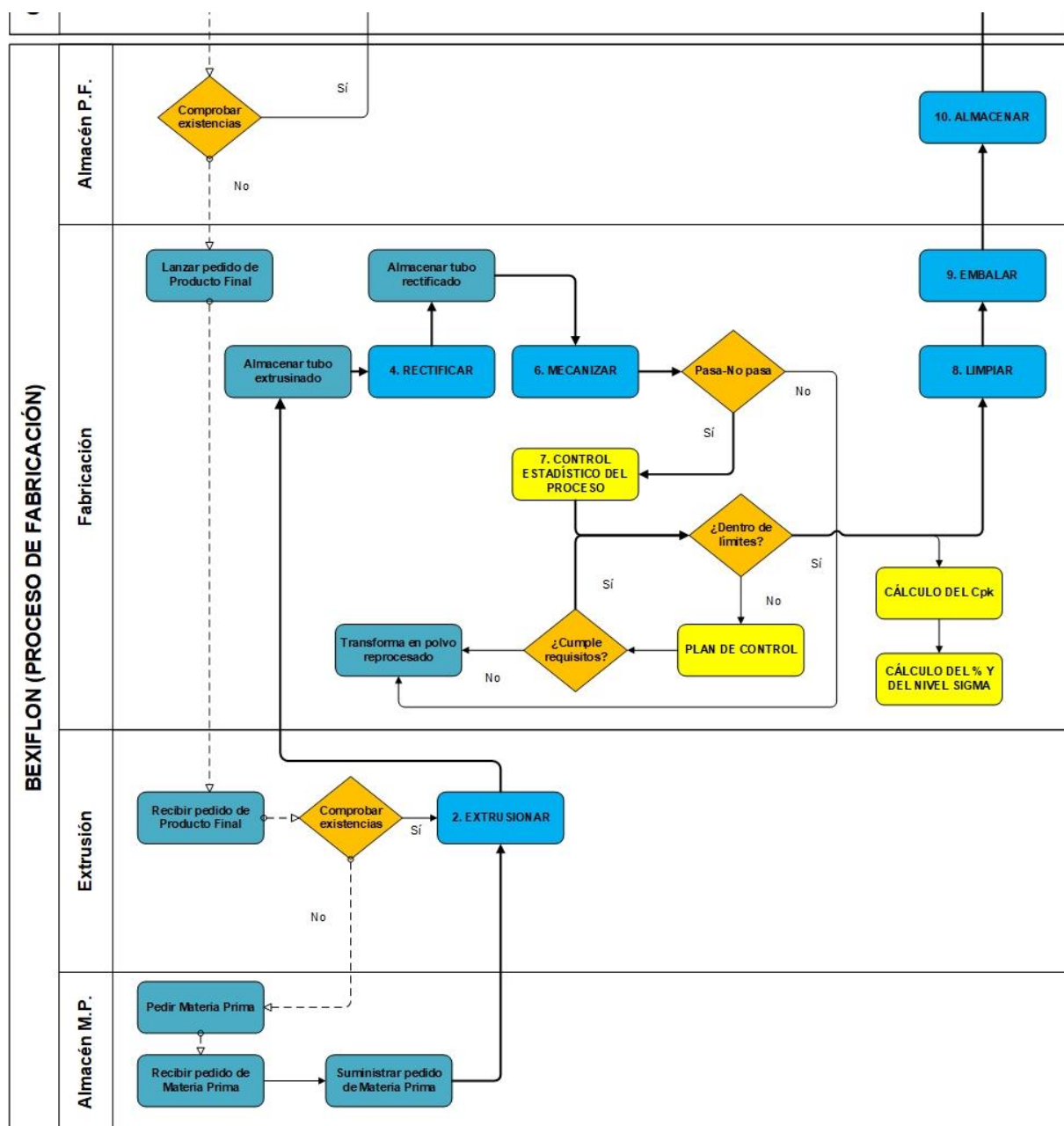


Figura 35. Mapa TO-BE del proceso de fabricación (Fuente: elaboración propia)

5

CONCLUSIONES DEL PROYECTO Y SUGERENCIAS DE MEJORA DEL PROCESO

En este apartado se van a desarrollar las conclusiones del proyecto en cuanto al cumplimiento de los objetivos, el general y los específicos. Asimismo, se va a hacer una serie de sugerencias o recomendaciones para su implantación en el futuro, al objeto de mejorar la competitividad de la empresa, incidiendo sobre el coste, la calidad y el tiempo de entrega.

5.1.CUMPLIMIENTO DE OBJETIVOS

Tal y como se ha comentado en la introducción de este apartado, en este punto se va a exponer el grado de cumplimiento de los objetivos de proyecto, tanto en lo que respecta al objetivo general como en lo que respecta a los objetivos específicos.

5.1.1.Cumplimiento del objetivo general del proyecto

Durante la realización del Trabajo Fin de Master, se ha implantado una metodología para el aseguramiento de la calidad del proceso, a través de la puesta en marcha, previa comprobación de la bondad del sistema de medida, del control estadístico del proceso y del indicador de capacidad del proceso. Colateralmente se ha procedido al cálculo del porcentaje de producto defectuoso y del nivel sigma de proceso.

Lo anterior, ha permitido eliminar el despilfarro que suponía la inspección final realizada por el departamento de calidad. A partir de este momento toda la información será recopilada y registrada directamente por el departamento de producción, sin interrumpir el flujo de proceso.

5.1.2.Cumplimiento de los objetivos específicos del proyecto

Durante la realización del Trabajo Fin de Master, han sido abordados los objetivos específicos siguientes:

- Se han realizado los estudios de estabilidad, sesgo, linealidad, y repetibilidad y reproducibilidad (GR&R) del sistema de medida, pudiéndose comprobar que éste es aceptable.
- Se ha comprobado que las medidas obtenidas de la característica crítica (CTQ) siguen la distribución normal.
- Se ha implantado el control estadístico del proceso, a través del cual se ha podido comprobar que el proceso está en control estadístico, es decir que es estable y predecible. Asimismo, se ha definido el plan de control que servirá de guía ante cualquier incidencia que se produzca en el proceso.
- Se ha calculado el indicador de capacidad del proceso, comprobando que hay margen de mejora. Primero, hay que centrar el proceso y a continuación, hay que minimizar la desviación estándar del proceso con el objetivo de mejorar este indicador.

- Se ha calculado el porcentaje de producto defectuoso que genera, estadísticamente, el proceso de fabricación y el nivel sigma del proceso.
- Se han facilitado a la empresa unas herramientas informáticas, que le permiten realizar todos los estudios y cálculos enumerados anteriormente. De este modo la empresa no tiene que invertir en una aplicación informática específica, como podría ser Minitab.
- Se ha comenzado la migración del departamento de calidad hacia un departamento de mejora continua que se responsabilizará en el futuro de la mejora de los procesos de la compañía, por medio de la implantación de las herramientas de Lean Six Sigma que sean necesarias, a través medio de la realización de eventos Kaizen perfectamente planificados.
- El presente proyecto, se ha convertido en el primer paso hacia la obtención de la certificación IATF 16949 de la industria de la automoción, lo que le permitirá en el futuro próximo ser un actor, suministrador, dentro de este sector.

5.2. ESTUDIO DE LA RENTABILIDAD DEL PROYECTO

Bexiflon está encuadrado en el Convenio Nacional de Industrias Químicas. En este apartado, se calcula la rentabilidad económica desde dos puntos de vista: 1) El dinero ahorrado por traspasar la toma de las medidas de las 5 muestras del departamento de calidad al operario del mecanizado. Este último realiza las medidas mientras el proceso de mecanizado sigue funcionando. 2) El incremento del beneficio debido al aumento de las ventas, al operar en un nuevo mercado, como es el de la automoción.

La Tabla 10 refleja el número de horas y el coste total de la puesta en marcha del proyecto. Como se puede ver en esta Tabla el coste hora de Carlos García y de Oscar Romero es de cero euros previo acuerdo entre ambos colaboradores y la empresa.

Tabla 10. Coste total del proyecto

Posición	Coste/hora	Horas formación	Horas Implantación	Total coste
Oscar Peciña (Gerente)	43,0 €/h	20,0 h	0,0 h	860 €
Candela Rodríguez (Responsable de calidad)	23,0 €/h	20,0 h	9,0 h	667 €
David Sainz (Responsable de fabricación)	23,0 €/h	20,0 h	9,0 h	667 €
Alberto Sainz (Responsable de mantenimiento)	23,0 €/h	20,0 h	0,0 h	460 €
Operario del proceso de mecanizado	16,0 €/h	0,0 h	5,0 h	80 €
Carlos García (Consultor externo)	0,0 €/h	20,0 h	5,0 h	0 €
Oscar Romero (Responsable del proyecto)	0,0 €/h	20,0 h	5,0 h	0 €

120,0 h	33,0 h	2.734 €
---------	--------	---------

Fuente: elaboración propia con datos obtenidos en Bexiflon

Suponiendo que el responsable de calidad le dedica en la actualidad 0,5 horas a la toma de datos (11,50 €) y suponiendo que la fábrica opera durante 227 días al año. El coste del proyecto se habrá amortizado en un período de 1,05 años. Con la puesta en marcha de este proyecto la empresa se ahorra cada año, aproximadamente, 2.610 €.

La Tabla 11 refleja, en un período de cinco años, el incremento de las ventas y de los beneficios, como consecuencia de operar en un nuevo sector, el de la automatización.

Tabla 11. Incremento de ventas y beneficios

Concepto	AÑOS					
	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Ventas	1.700.000 €	1.742.500 €	1.847.050 €	1.985.579 €	2.164.281 €	2.380.709 €
Incremento de ventas	0,0%	2,5%	6,0%	7,5%	9,0%	10,0%
% de beneficio	8,0%	8,2%	8,4%	8,6%	8,8%	9,0%
Beneficio	136.000 €	142.885 €	155.152 €	170.760 €	190.457 €	214.264 €
Incremento de beneficio	0 €	6.885 €	19.152 €	34.760 €	54.457 €	78.264 €
Incremento acumulado de beneficio	0 €	6.885 €	26.037 €	60.797 €	115.254 €	193.518 €

Fuente: elaboración propia con datos obtenidos en Bexiflon

El incremento de los beneficios de forma acumulada, en los próximos 5 años, está previsto que esté próximo a 193.500 €, con un promedio anual de aproximadamente de 38.700 €.

5.3.SUGERENCIAS DE MEJORA

A continuación, se van a sugerir una serie de acciones de mejora con el objetivo de mejorar la competitividad de la empresa. Para ello, se hará hincapié en los tres factores que tienen una relación directa con la conectividad: el coste, la calidad y el plazo de entrega.

Para facilitar la puesta en marcha de estas acciones de mejora, es conveniente en primer lugar establecer un plan de comunicación de las mismas para que todos los colaboradores sean conscientes de lo que se pretende lograr con ellas y los beneficios que, para ambas partes, empresa y trabajadores, van a suponer.

5.3.1.Sugerencia de mejora 1: formación en metodología Lean

Se recomienda facilitar a determinados colaboradores formación en la metodología **Lean** que, complemente la formación en la metodología **Seis Sigma**, ya recibida a lo largo del proyecto y de la implantación de la norma **IATF 16949: 2016**.

5.3.2.Sugerencia de mejora 2: implantar las 5S

Se recomienda implantar las **5S** (organizar, ordenar, limpiar, estandarizar y mantener) en toda la empresa, tanto en la planta de fabricación como en las oficinas. Se recomienda comenzar por una zona piloto con altas probabilidades de éxito. Después, se deberá extender al resto de la organización.

5.3.3.Sugerencia de mejora 3: establecer el punto de pedido

Se recomienda establecer el **sistema de punto de pedido** en el aprovisionamiento de materia prima, y quizás también en la programación de la fabricación de producto final, sobre todo en aquellas referencias que se fabrique contra stock.

La formación sobre el **sistema de punto de pedido** y sobre el **lote óptimo de compra (EOQ – Economic Order Quantity)** se debería impartir junto con la formación **Lean**.

5.3.4.Sugerencia de mejora 4: implantar el sistema SMED

Se recomienda implantar el **sistema SMED (Single Minute Exchange of Die)**, con el objetivo de disminuir los tiempos de cambio entre productos. Se recomienda implantar este sistema en las actividades siguientes: extrusión, rectificado y mecanizado. La formación sobre el **sistema SMED** estaría incluida en la formación **Lean**.

5.3.5.Sugerencia de mejora 5: implantar el TPM

Se recomienda implantar el **mantenimiento productivo total (TPM – Total Productive Maintenance)**, con el objetivo de mantener el equipamiento, máquinas, en perfecto estado de funcionamiento. Lo anterior, ayudará a disminuir la variación del proceso, que como se ha visto con anterioridad es fundamental para mejorar el indicador de capacidad del proceso.

En este mismo apartado, se recomienda la puesta en marcha de **mantenimiento autónomo**, para que los operarios realicen algunas sencillas labores de mantenimiento con un doble objetivo: enriquecer el contenido de su puesto de trabajo y liberar recursos del departamento de mantenimiento para dedicar estos a otras tareas de mayor valor añadido.

El **mantenimiento productivo total** y el **mantenimiento autónomo** afectaría a las actividades siguientes: extrusión, rectificado y mecanizado. La formación sobre el **mantenimiento productivo total** y el **mantenimiento autónomo** estaría incluida en la formación **Lean**.

5.3.6.Sugerencia de mejora 6: implantar el indicador OEE

Se recomienda implantar el **indicador OEE (Overall Equipment Effectiveness o Efectividad global del equipo)** en las actividades siguientes: extrusión, rectificado y mecanizado. Con este indicador, el producto de tres indicadores, se podrá evaluar en un equipo la disponibilidad, el rendimiento y la calidad.

La fórmula del OEE es la siguiente: $OEE = I_{DISPONIBILIDAD} \times I_{RENDIMIENTO} \times I_{CALIDAD}$.

Además, este indicador va a permitir priorizar las acciones de mejora a implantar. La formación sobre el **indicador OEE** estaría incluida en la formación **Lean**.

5.3.7.Sugerencia de mejora 7: implantar el sistema Kanban

Se recomienda implantar el **sistema Kanban** para el movimiento de la materia prima, el semielaborado y el producto final dentro de la planta. El **sistema Kanban** consta de dos tipos de Kanban: Kanban de transporte y Kanban de producción.

El **sistema Kanban** permite poner en marcha la producción tipo "**Pull**" (tirar desde el cliente vs. **Push** propio de las empresas tradicionales) y definir la cantidad de stock que se desea tener, tanto de materia prima como de semielaborado y de producto final.

Asimismo, los almacenes intermedios se convierten en supermercados, de acuerdo a la metodología **Lean**. La formación sobre el **sistema Kanban** estaría incluida en la formación **Lean**.

5.3.8. Sugerencia de mejora 8: instalar paneles de actividades

Se recomienda implantar **paneles de actividades**, en cada uno de las actividades siguientes: extrusión, rectificado y mecanizado. Asimismo, se recomienda instalar un panel de actividades a nivel general de la planta.

Estos paneles son una de las partes del **control visual**, muy importante dentro de la metodología **Lean**. La cuarta S (estandarizar) aborda el tema del **control visual** dentro de la metodología **Lean**. La Figura 36 muestra un ejemplo del contenido de un **panel de actividades**.

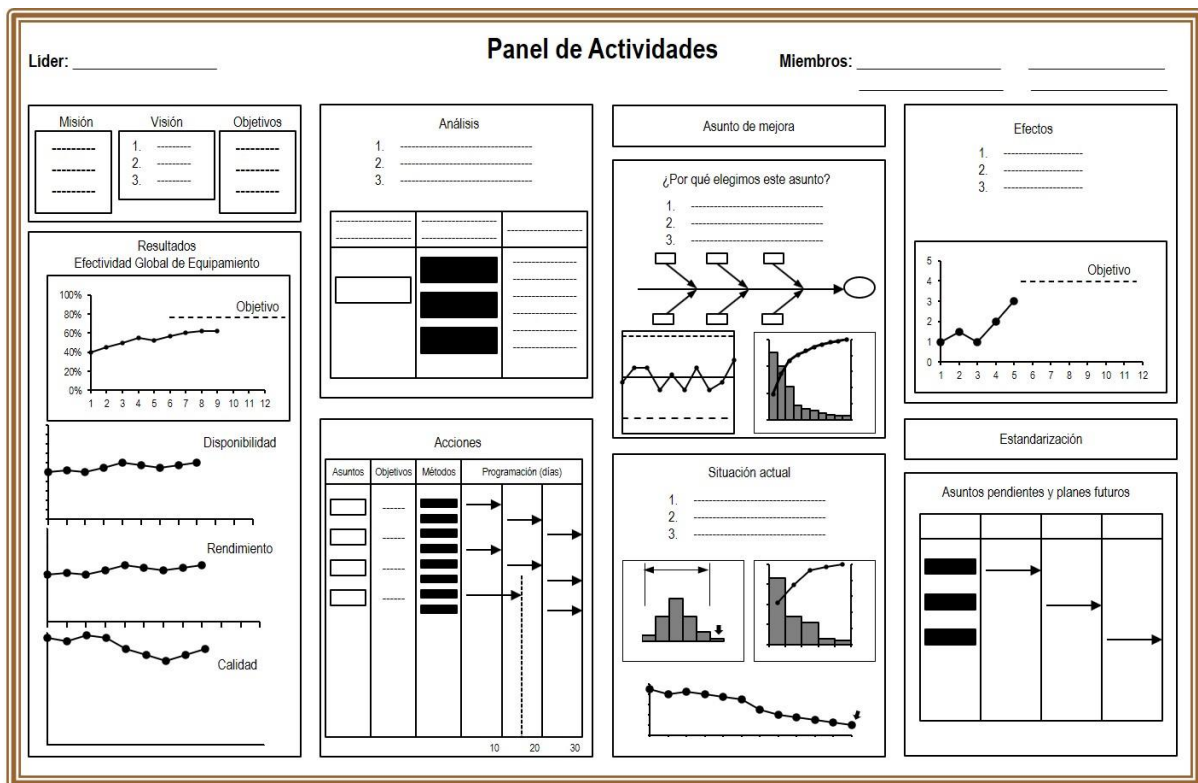


Figura 36. Panel de actividades (Fuente: elaboración propia)

5.3.9. Sugerencia de mejora 9: implantar el cálculo ABC de costes

Se recomienda implantar el **cálculo ABC de costes** basado en actividades. Ello permitirá conocer el verdadero coste de cada proceso y de cada producto, lo que facilitará la toma de decisiones, tanto de carácter operacional como comercial.

Se recomienda disponer de una aplicación informática para la realización de este cálculo. La formación sobre el **cálculo ABC de costes** sería una formación específica sobre este tema.

6

BIBLIOGRAFÍA, WEBGRAFÍA Y VIDEOGRAFÍA

La bibliografía, la webgrafía y la videografía utilizadas para la realización de este Trabajo Fin de Máster es la siguiente:

6.1. BIBLIOGRAFÍA

Automotive Industry Action Group (2005). *Control Estadístico de los Procesos*. Southfield, (Michigan): AIAG.

Automotive Industry Action Group (2006). *Aprobación de Partes para Producción*. Southfield, (Michigan): AIAG.

Automotive Industry Action Group (2008). *Análisis de Modos y Efectos de Fallas Potenciales*. Southfield, (Michigan): AIAG.

Automotive Industry Action Group (2008). *Planificación Avanzada para la Calidad de Productos y Planes de Control*. Southfield, (Michigan): AIAG.

Automotive Industry Action Group (2010). *Análisis de Sistemas de Medición*. Southfield, (Michigan): AIAG.

Brook, Q. (2014). *Lean Six Sigma & Minitab*. London: Opex Resources.

Escalante Vázquez, E.J. (2013). *Seis Sigma. Metodologías y Técnicas*. Mexico D.F.: Limusa

Gutierrez, H. y De La Vara Salazar, R. (2009). *Control Estadístico de Calidad y Seis Sigma*. México D.F.: McGraw-Hill

International Automotive Task Force (2016). *Norma del Sistema de Gestión de la Calidad Automotriz*. Southfield, (Michigan): IATF.

6.2. WEBGRAFÍA

AGCChem-Amer (s.f.). *Líder en la producción de tecnologías de fluoro químicos, compuestos y materiales especiales*. Recuperado el 25 de octubre/2020 de <https://www.agcchem.com/es/>

Core Tools (s.f.). *AIAG is where auto industry members collaborate to develop common global standards for Quality, Supply Chain, and Corporate Responsibility issues*. Recuperado el 30 de octubre/2020 de <https://www.aiag.org/>

IATF 16949: 2016 (s.f.). *International Automotive Task Force – The IATF is an "ad hoc" group of automotive manufacturers and their respective trade associations, formed to provide improved quality products to automotive customers worldwide*. Recuperado el 30 de octubre/2020 de <https://www.iatfglobaloversight.org/>

Mecaplast (s.f.). *Mecanización y comercialización de plásticos*. Recuperado el 04 de noviembre/2020 de <https://www.mecaplast.es/>

Posedente, Eduardo (s.f.). *Bexiflon, empresa especializada en la fabricación y distribución de piezas mecanizadas en PTFE*. Recuperado el 04 de noviembre/2020 de <https://www.bexiflon.com/>

Orkli (s.f.). *Un proyecto sostenible guiado por principios cooperativos, enfocado a los clientes y con las personas como base*. Recuperado el 06 de noviembre/2020 de <https://www.orkli.com/es>

Q-Experts (s.f.). *Somos expertos en servicios de alta especialidad en calidad de la industria automotriz en México: Capacitación, Consultoría, Auditoría y Troubleshooting*. Recuperado el 25 de octubre/2020 de <https://www.q-experts.com.mx/>

Sylvac (s.f.). *Swiss designer and manufacturer of digital measuring systems, expert in connected metrology*. Recuperado el 25 de octubre/2020 de <https://www.sylvac.ch/>

6.3.VIDEOGRAFÍA

Core Tools (2019). [Vídeo]. Recuperado el 30 de octubre/2020 de:

https://www.youtube.com/watch?v=JdxdpWyEbM3M&ab_channel=Ingenier%C3%ADaIndustrial

Introducción a las Core Tools: APQP (2020). [Vídeo]. Recuperado el 30 de octubre/2020 de:

https://www.youtube.com/watch?v=lfBJleg9mc&t=1s&ab_channel=GestionExcelenciaOperacional

Introducción a las Core Tools: FMEA (2020). [Vídeo]. Recuperado el 25 de octubre/2020 de:

https://www.youtube.com/watch?v=_giMooc7QTK&ab_channel=GestionExcelenciaOperacional

Introducción a las Core Tools: MSA. (2020). [Vídeo]. Recuperado el 30 de octubre/2020 de:

https://www.youtube.com/watch?v=9a7qpNqaRoM&t=1s&ab_channel=GestionExcelenciaOperacional

Introducción a las Core Tools: PPAP. (2020). [Vídeo]. Recuperado el 30 de octubre/2020 de:

https://www.youtube.com/watch?v=PIGMcNEu-pl&t=424s&ab_channel=GestionExcelenciaOperacional

Introducción a las Core Tools: SPC. (2020). [Vídeo]. Recuperado el 30 de octubre/2020 de:

https://www.youtube.com/watch?v=sXidIOI9aOg&ab_channel=GestionExcelenciaOperacional

ANEXOS

ANEXO I: ESTUDIO DE RESOLUCIÓN DEL INSTRUMENTO DE MEDIDA

Brook (2014) afirma que la **resolución** del instrumento de medida debería poder ajustarse al menos diez veces en la variación del proceso que se está midiendo, como se muestra a continuación. La Figura 37 muestra la "Regla de los Dieces".

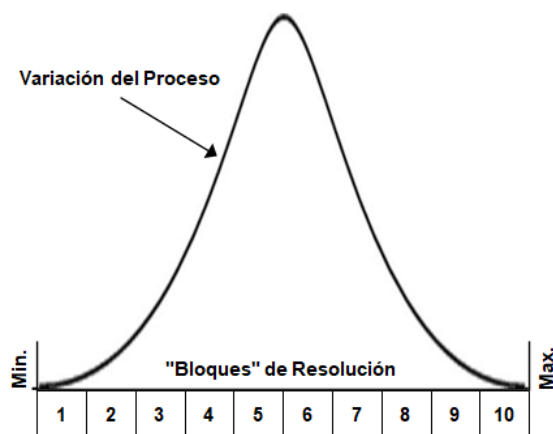


Figura 37. "Regla de los Dieces" (Fuente: elaboración propia a partir de Brook, 2014)

1. Procedimiento de cálculo

La "Regla de los Dieces" es una herramienta práctica para evaluar si el **sistema de medida** tiene posibilidad de superar el estudio GR&R, tal y como se verá más adelante.

La Tabla 12 muestra un primer conjunto de 20 datos, en milímetros con dos decimales, para el cálculo de la "Regla de los Dieces".

Tabla 12. Primer conjunto de datos para el cálculo de la "Regla de los Dieces"

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
23,73	23,75	23,73	23,72	23,74	23,73	23,74	23,75	23,73	23,74
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
23,73	23,72	23,73	23,72	23,74	23,75	23,73	23,75	23,71	23,74

Fuente: elaboración propia con datos obtenidos en Bexiflon

Los cálculos son los siguientes:

$$\begin{array}{l|l} \text{Valor máximo} = 23,75 & \text{Rango} = 0,04 \\ \text{Valor mínimo} = 23,71 & \text{Resolución} = 0,01 \end{array}$$

El número resultante viene dado por la expresión:

$$N = \frac{\text{Rango}}{\text{Resolución}} = \frac{0,04}{0,01} = 4 < 10$$

En este caso la **resolución** no es suficiente (no supera la "Regla de los Dieces").

La Tabla 13 muestra un segundo conjunto de 20 datos, en milímetros con tres decimales, para el cálculo de la "Regla de los Dieces".

Tabla 13. Segundo conjunto de datos para el cálculo de la "Regla de los Dieces"

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
23,735	23,745	23,726	23,721	23,742	23,735	23,736	23,746	23,734	23,744
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
23,728	23,719	23,728	23,723	23,745	23,746	23,734	23,749	23,712	23,741

Fuente: elaboración propia con datos obtenidos en Bexiflon

Los cálculos son los siguientes:

Valor máximo = 23,749	Rango = 0,037
Valor mínimo = 23,712	Resolución = 0,001

El número resultante viene dado por la expresión:

$$N = \frac{\text{Rango}}{\text{Resolución}} = \frac{0,037}{0,001} = 37 > 10$$

En este caso la **resolución** es suficiente (sí supera la "Regla de los Dieces").

2. Conclusiones

Para el presente proyecto se necesita una **resolución** de 0,001 mm.

3. Estudio de resolución con Excel

Para poder visualizar el **estudio de resolución** con Excel 2019, hacer Ctrl + clic sobre el enlace para seguir el vínculo.

<https://www.dropbox.com/s/b6d264d87ig0maq/i.%20estudio%20de%20resoluci%C3%B3n.xlsx?dl=0>

ANEXO II: ESTUDIO DE ESTABILIDAD

1. Procedimiento de cálculo

El **sistema de medida** tiene que ser estable a lo largo del tiempo. Esto significa que tiene que estar en control estadístico (es decir, tiene que ser consistente y predecible). La única forma de comprobar lo anterior es mediante un gráfico de control del **sistema de medida**. Esta es la forma utilizada para asegurar la **estabilidad** del **sistema de medida**.

Los pasos para llevar a cabo un **estudio de estabilidad** de un **sistema de medida** son los siguientes:

1. Obtener un estándar o referencia.

En el presente proyecto se utiliza un máster de 25 mm (la CTQ, Critical To Quality, a medir en el proyecto está entre 23,680 y 23,780 mm).

2. Medir el máster con regularidad.

En el presente proyecto se realiza una medida diaria al comienzo del turno de trabajo (20 medidas al mes). La Tabla 14 contiene las medidas obtenidas, en milímetros, en la planta de fabricación.

Tabla 14. Medidas para el estudio de la estabilidad

Día	Medida	Día	Medida	Día	Medida	Día	Medida
1	24,990	6	25,002	11	25,004	16	25,011
2	25,020	7	25,002	12	24,983	17	24,996
3	25,012	8	24,985	13	25,000	18	25,017
4	24,993	9	24,986	14	25,013	19	25,002
5	24,983	10	25,001	15	25,006	20	24,996

Fuente: elaboración propia con datos obtenidos en Bexiflon

3. Graficar los resultados utilizando el gráfico de medidas individuales y rangos móviles.

Después de la toma de las 20 medidas se calculan la línea central y los límites de control superior e inferior.

En primer lugar, se calcula la media de las medidas individuales. La fórmula es la siguiente:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^k x_i}{k} = \frac{24,990 + 25,020 + \dots + 25,002 + 24,996}{20} = 25,0001$$

En segundo lugar, se calculan los rangos móviles. La fórmula es la siguiente:

$$RM_2 = \text{ABS}(x_1 - x_2) = \text{ABS}(24,990 - 25,020) = 0,030$$

La Tabla 15 contiene las medidas obtenidas y los rangos móviles.

Tabla 15. Medidas y rangos móviles para el estudio de la estabilidad

Día	Medida	R.Móvil	Día	Medida	R.Móvil
1	24,990		11	25,004	0,003
2	25,020	0,030	12	24,983	0,021
3	25,012	0,008	13	25,000	0,017
4	24,993	0,019	14	25,013	0,013
5	24,983	0,010	15	25,006	0,007
6	25,002	0,019	16	25,011	0,005
7	25,002	0,000	17	24,996	0,015
8	24,985	0,017	18	25,017	0,021
9	24,986	0,001	19	25,002	0,015
10	25,001	0,015	20	24,996	0,006

Fuente: elaboración propia con datos obtenidos en Bexiflon

A continuación, se calcula el rango móvil medio. La fórmula es la siguiente:

$$\overline{RM} = \frac{\sum_{i=2}^k RM_i}{k-1} = \frac{0,030+0,008+\dots+0,015+0,006}{20-1} = 0,0127$$

A continuación, para el gráfico de medidas individuales, se calculan la línea central y los límites de control superior e inferior. Las fórmulas son las siguientes:

$$LC = \bar{X} = 25,0001$$

$$LSC = \bar{X} + E_2 \cdot \overline{RM} = 25,0001 + 2,660 \cdot 0,0127 = 25,0340$$

$$LSI = \bar{X} - E_2 \cdot \overline{RM} = 25,0001 - 2,660 \cdot 0,0127 = 24,9662$$

Para $n = 2$, una medida y su anterior, $E_2 = 2,660$. Fuente: American Society for Testing and Materials (Escalante 2013).

La Figura 38 representa el gráfico de control de medidas individuales.

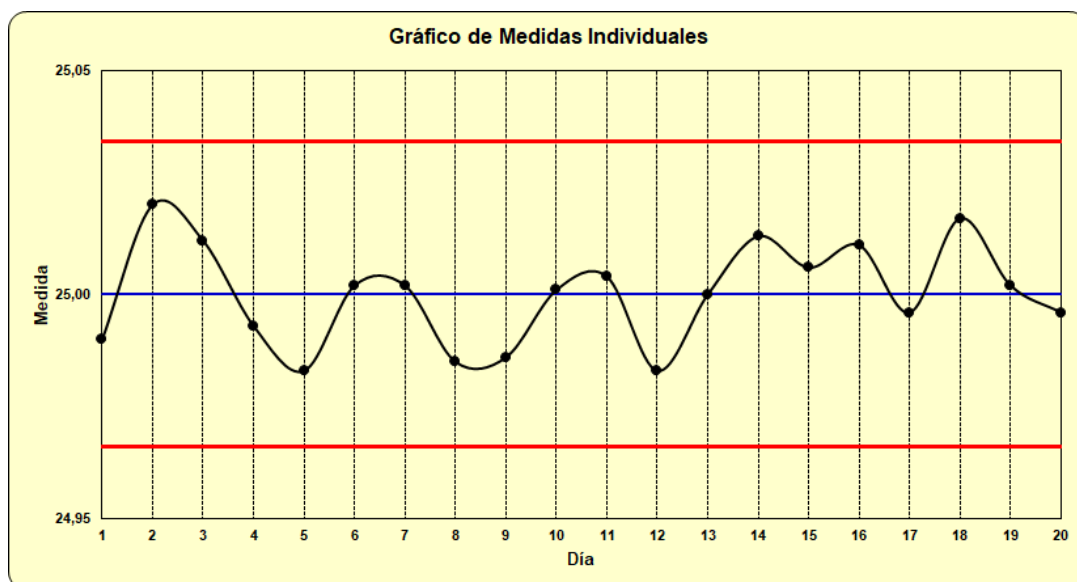


Figura 38. Gráfico de control de medidas individuales (Fuente: elaboración propia)

En el gráfico de control de medidas individuales se puede apreciar que las 20 medidas están dentro de los límites de control.

A continuación, para el gráfico de rangos móviles, se calculan la línea central y los límites de control superior e inferior. Las fórmulas son las siguientes:

$$LC = \overline{RM} = 0,0127$$

$$LSC = D_4 \cdot \overline{RM} = 3,267 \cdot 0,0127 = 0,0416$$

$$LSI = D_3 \cdot \overline{RM} = 0,000 \cdot 0,0127 = 0,0000$$

Para $n = 2$, una medida y su anterior, $D_4 = 3,267$ y $D_3 = 0,000$. Fuente: American Society for Testing and Materials (Escalante 2013).

La Figura 39 representa el gráfico de control de rangos móviles.

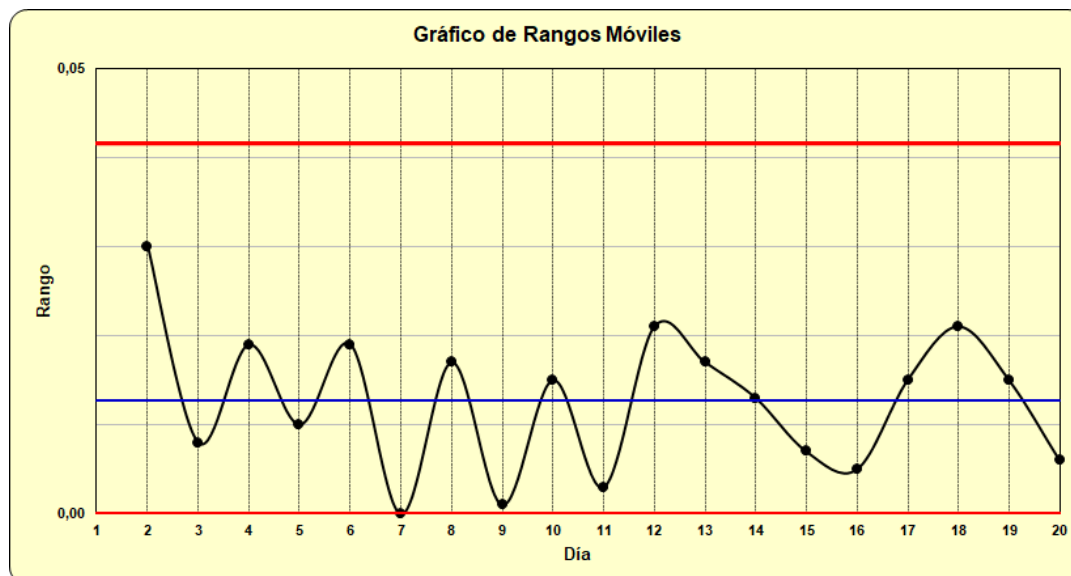


Figura 39. Gráfico de control de rangos móviles (Fuente: elaboración propia)

En el gráfico de control de rangos móviles se puede apreciar que las 20 medidas están dentro de los límites de control.

4. Situar el **sistema de medida** en control estadístico, identificando y eliminando las causas especiales.

Tanto el gráfico de control de medidas individuales como el gráfico de control de rangos móviles se encuentran en control estadístico, por lo tanto, se puede confirmar la **estabilidad del sistema de medida**.

2. Conclusiones

El primer paso en el **análisis del sistema de medida** consiste en asegurar la **estabilidad del sistema de medida**, es decir, que está en estado de control estadístico. Esto se consigue mediante a búsqueda de un estándar (máster), midiéndolo varias veces a lo largo del tiempo y trazando los gráficos de control de medidas individuales y rangos móviles.

A continuación, se examinan ambos gráficos de control. Si hay puntos fuera de los límites de control, se deben identificar y eliminar las causas especiales que los provocan. Si no hay puntos fuera de los límites de control, se puede asegurar la **estabilidad del sistema de medida**.

3. Estudio de estabilidad con Excel

Para poder visualizar el **estudio de estabilidad** con Excel 2019, hacer Ctrl + clic sobre el enlace para seguir el vínculo.

<https://www.dropbox.com/s/f9wxn9ytkbek8i4/II.%20ESTUDIO%20DE%20ESTABILIDAD.xlsx?dl=0>

ANEXO III: ESTUDIO DE SESGO

1. Procedimiento de cálculo

Antes de realizar el **estudio de sesgo** de un **sistema de medida** es importante comprobar que el **sistema de medida** sea estable (que esté en control estadístico).

Los pasos para llevar a cabo un **estudio de sesgo** de un **sistema de medida** son los siguientes:

1. Determinar el valor de referencia.

En el presente proyecto se utiliza un máster de 30 mm.

2. Medir la muestra al menos 10 veces. Se emplea al mismo inspector y el **sistema de medida** de la forma habitual y finalmente se registran los resultados. Cuantas más veces se realice la medida mayor será la precisión (variación) del estudio.

En el presente proyecto se realizan 20 medidas. La Tabla 16 contiene las medidas, en milímetros, obtenidas en la planta de fabricación.

Tabla 16. Medidas para el cálculo del sesgo

Número	Medida	Número	Medida	Número	Medida	Número	Medida
1	29,996	6	30,012	11	30,006	16	30,015
2	29,998	7	30,002	12	30,003	17	29,996
3	30,007	8	29,986	13	30,000	18	29,987
4	29,993	9	30,012	14	30,000	19	30,001
5	30,024	10	30,016	15	29,988	20	29,999

Fuente: elaboración propia con datos obtenidos en Bexiflon

A continuación, se construye un Histograma para ver cómo se distribuyen las medidas. Para ello se parte de la siguiente información:

- Número de medidas (n) = 20	- Número de clases (N) = 4
- Valor máximo = 30,024	- Resolución de la medida = 0,001
- Valor mínimo = 29,986	- Anchura de clases (A) = 0,010
- Rango (R) = 0,038	- Número de decimales = 3

La Tabla 17 para construir el Histograma es la siguiente:

Tabla 17. Datos para la construcción del histograma

Número	Límite inferior	Límite superior	Límites	Frecuencia
1	29,986	29,996	29,986 a 29,996	6
2	29,996	30,006	29,996 a 30,006	8
3	30,006	30,016	30,006 a 30,016	5
4	30,016	30,026	30,016 a 30,026	1

Fuente: elaboración propia

La Figura 40 muestra el Histograma resultante.

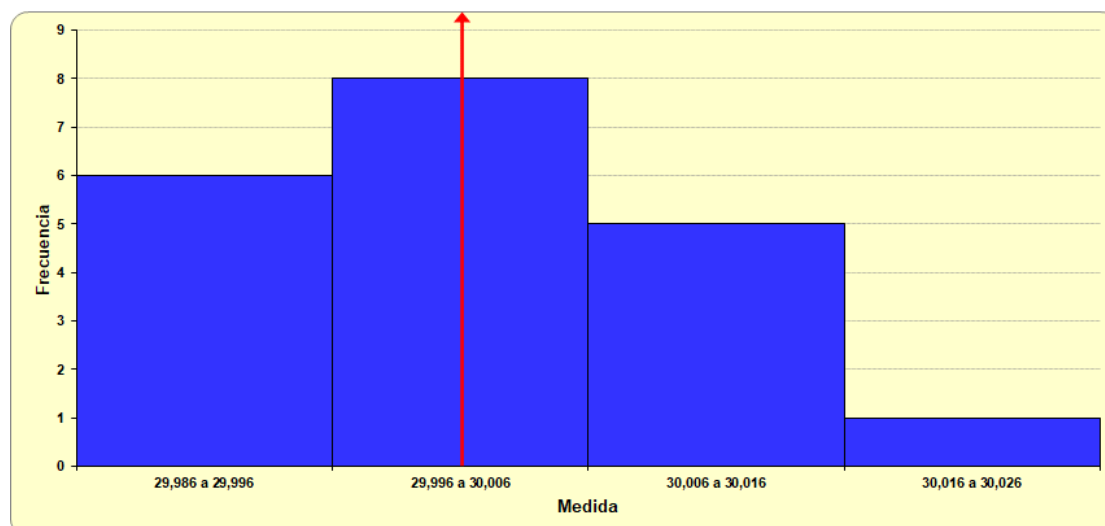


Figura 40. Histograma para el estudio del sesgo (Fuente: elaboración propia)

El Histograma muestra que los resultados están distribuidos alrededor del valor de referencia (30 mm), lo que indica que no hay presencia de **sesgo**.

Para confirmar estadísticamente que no hay ningún tipo de **sesgo**, se determina el intervalo de confianza del 95% del resultado de la medida media.

Si el intervalo de confianza incluye al valor de referencia (30 mm), se asumirá que no hay evidencia de **sesgo** en el **sistema de medida**.

Los pasos para determinar el intervalo de confianza son los siguientes:

1. Determinar la media de las veinte medidas.

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} = \frac{29,996 + 29,998 + \dots + 30,001 + 29,999}{20} = 30,00205$$

2. Determinar el sesgo.

$$\text{Sesgo} = \text{media} - \text{valor de referencia} = 30,00205 - 30 = 0,00205$$

3. Determinar la desviación estándar.

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2}{n - 1}} = 0,01014$$

4. Determinar los grados de libertad (gl).

$$gl = n - 1 = 20 - 1 = 19$$

5. Determinar el nivel de significancia (α).

$$\alpha = 1 - 0,95 = 0,05$$

6. Determinar el valor t de la distribución t Student para α y gl.

$$= \text{DISTR.T.INV}(\alpha; gl) = \text{DISTR.T.INV}(0,05; 19) = 2,093024$$

7. Calcular el límite superior de confianza.

$$\text{LSC} = \bar{X} + t_{(\alpha/2, gl)} \cdot \frac{s}{\sqrt{n}} = 30,00205 + 2,093024 \cdot \frac{0,01014}{\sqrt{20}} = 30,00680$$

8. Calcular el límite inferior de confianza.

$$LIC = \bar{X} - t_{(\alpha/2, g)} \cdot \frac{s}{\sqrt{n}} = 30,00205 - 2,093024 \cdot \frac{0,01014}{\sqrt{20}} = 29,99730$$

Dado que dentro de los límites de confianza se encuentra contenido el valor de referencia (30 mm), se puede concluir que no hay signos evidentes de **sesgo**.

2. Conclusiones

El primer paso para analizar un **sistema de medida** consiste en asegurar su **estabilidad**, es decir, que esté en estado de control estadístico.

El segundo paso consiste en asegurar que el **sistema de medida** no tiene ningún tipo de **sesgo**, tal y como se acaba de realizar en este estudio.

3. Estudio de sesgo con Excel

Para poder realizar el estudio de **sesgo** con Excel, hacer Ctrl + clic sobre el enlace para seguir el vínculo.

<https://www.dropbox.com/s/ax6mppzonkm7rmu/III.%20ESTUDIO%20DE%20SESGO.xlsx?dl=0>

ANEXO IV: ESTUDIO DE LINEALIDAD

1. Procedimiento de cálculo

Antes de realizar el estudio de **linealidad** de un **sistema de medida**, es importante comprobar la **estabilidad** del **sistema de medida**.

El procedimiento para determinar la **linealidad** de un sistema de medida es el siguiente:

1. Seleccionar al menos 5 estándares de los valores de medida que cubran el rango operativo del **sistema de medida**, y medir por medio de un inspector, al menos 10 veces cada estándar utilizando el **sistema de medida**.

En el presente proyecto se eligen 6 másteres (5 mm, 10 mm, 15 mm, 20 mm, 25 mm y 30 mm) y se miden 10 veces cada uno. La Tabla 18 contiene los resultados, en milímetros, obtenidos.

Tabla 18. Medidas para el cálculo de la linealidad

Número	5	10	15	20	25	30
1	4,995	10,010	14,997	20,000	24,998	30,028
2	5,000	10,008	14,990	20,009	24,997	30,007
3	5,002	10,028	15,008	19,999	25,004	30,017
4	5,012	9,994	14,999	20,005	25,001	30,010
5	4,995	9,982	14,998	20,005	24,987	29,994
6	4,984	9,996	15,007	20,003	24,988	30,018
7	5,004	10,002	14,993	19,995	24,982	30,008
8	5,007	9,977	15,011	20,000	25,017	30,002
9	5,023	9,996	14,993	20,002	25,001	30,021
10	5,003	9,991	14,979	20,004	24,992	30,013

Fuente: elaboración propia con datos obtenidos en Bexiflon

2. Calcular el **sesgo** para cada una de las medidas.

Se calcula el **sesgo** restando a cada medida su valor de referencia. La Tabla 19 contiene los **sesgos**, en milímetros, obtenidos.

Tabla 19. Sesgos para cada una de las medidas

Número	5	10	15	20	25	30
1	-0,005	0,010	-0,003	0,000	-0,002	0,028
2	0,000	0,008	-0,010	0,009	-0,003	0,007
3	0,002	0,028	0,008	-0,001	0,004	0,017
4	0,012	-0,006	-0,001	0,005	0,001	0,010
5	-0,005	-0,018	-0,002	0,005	-0,013	-0,006
6	-0,016	-0,004	0,007	0,003	-0,012	0,018
7	0,004	0,002	-0,007	-0,005	-0,018	0,008
8	0,007	-0,023	0,011	0,000	0,017	0,002
9	0,023	-0,004	-0,007	0,002	0,001	0,021
10	0,003	-0,009	-0,021	0,004	-0,008	0,013

Fuente: elaboración propia

3. Calcular el **sesgo medio** para cada estándar.

Se calcula sumando los resultados del **sesgo** de cada estándar y dividiéndolo por el número de veces que se ha medido el estándar. Por ejemplo, para el caso del primer estándar (5 mm) el resultado sería el siguiente:

$$\text{Sesgo medio} = \frac{\sum_{i=1}^n S_i}{n} = \frac{-0,005+0,000+\dots+0,023+0,003}{10} = +0,002$$

Los **sesgos medios** para los seis estándares (muestras) son los siguientes:

1ª Muestra	+0,002	4ª Muestra	+0,002
2ª Muestra	-0,002	5ª Muestra	-0,003
3ª Muestra	-0,003	6ª Muestra	+0,012

4. Realizar el gráfico de los **sesgos individuales**.

La Figura 41 muestra el gráfico de los **sesgos individuales**.

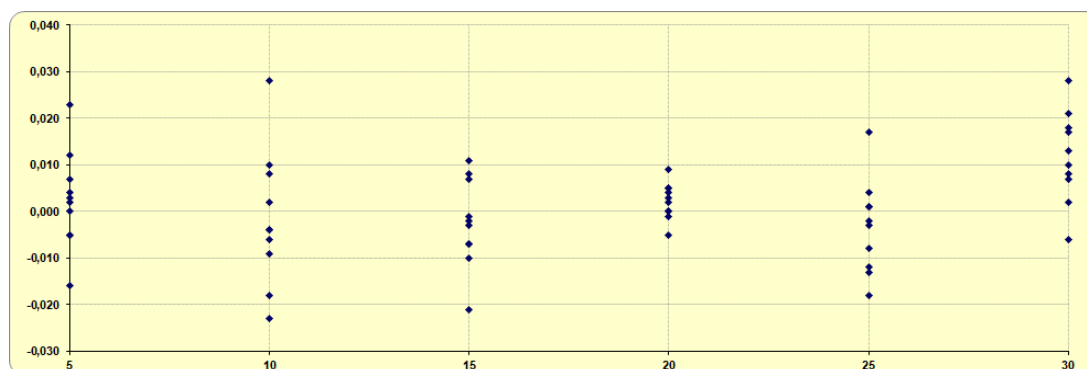


Figura 41. Gráfico de los sesgos individuales (Fuente: elaboración propia)

5. Realizar el gráfico de los **sesgos medios**.

La Figura 42 muestra el gráfico de los **sesgos medios**.

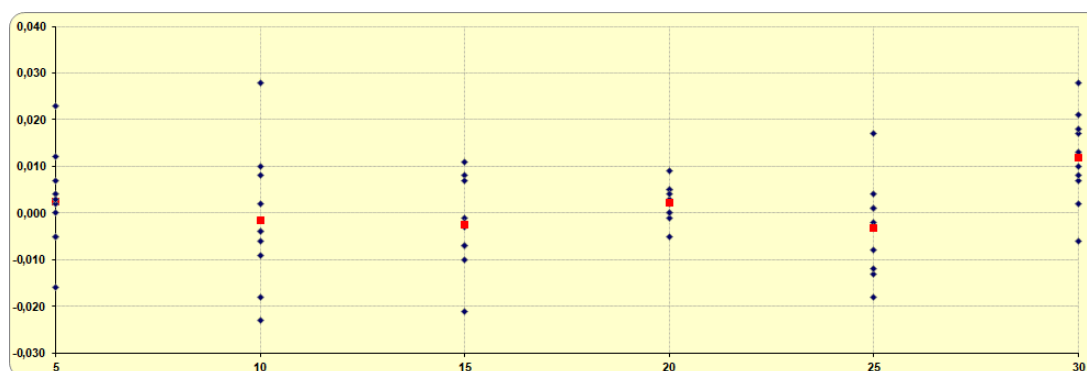


Figura 42. Gráfico de los sesgos medios (Fuente: elaboración propia)

6. Determinar la línea de ajuste de los **sesgos medios**.

La línea de ajuste viene determinada por la siguiente expresión.

$$y=ax+b$$

Donde:

y = valor del sesgo

n = número de medidas realizadas

x = valor de referencia

b = punto de intersección de la línea con el eje y

a = pendiente de la línea de ajuste

La fórmula para calcular la pendiente de la línea de ajuste es la siguiente:

$$a = \frac{\sum_{i=1}^n x_i \cdot y_i - \frac{\sum_{i=1}^n x_i \cdot \sum_{i=1}^n y_i}{n}}{\sum_{i=1}^n x_i^2 - \frac{(\sum_{i=1}^n x_i)^2}{n}} = 0,0003$$

La fórmula para calcular el punto de intersección de la línea con el eje y es la siguiente:

$$b = \bar{y} - a \cdot \bar{x} = -0,0031$$

La expresión de la mejor línea de ajuste es la siguiente:

$$y = ax + b = 0,0003 \cdot x - 0,0031$$

La Figura 43 muestra el gráfico de los **sesgos individuales** y **sesgos medios** y la línea de ajuste en relación con los valores de referencia (estándares).

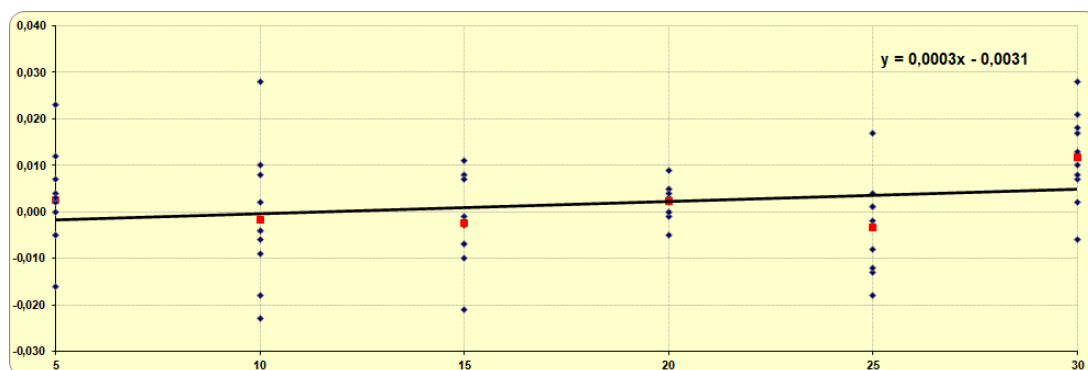


Figura 43. Gráfico de los sesgos individuales y sesgos medios y la línea de ajuste (Fuente: elaboración propia)

7. Determinar la desviación estándar.

La fórmula de la desviación estándar es la siguiente:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n y_i^2 - b \cdot \sum_{i=1}^n y_i - a \cdot \sum_{i=1}^n x_i \cdot y_i}{n - 2}} = 0,0109256$$

8. Determinar el intervalo de confianza.

Se calcula, para un nivel de confianza del 95%, el límite superior de confianza mediante la expresión siguiente:

$$LSC = b + a \cdot x_0 + t_{(\alpha, gl)} \cdot s \cdot \sqrt{\left(\frac{1}{n} + \frac{(x_0 - \bar{x})^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \right)}$$

Se calcula, para un nivel de confianza del 95%, el límite inferior de confianza mediante la expresión siguiente:

$$LIC = b + a \cdot x_0 - t_{(\alpha, gl)} \cdot S \cdot \sqrt{\left(\frac{1}{n} + \frac{(x_0 - \bar{x})^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}\right)}$$

El valor de la **distribución t de Student** para $\alpha = 0,05$ y $n - 2$ grados de libertad (58) es igual a 2,00172. El valor de x_0 se incrementa de uno en uno, desde 5 hasta 30.

La Tabla 20 contiene los límites de confianza.

Tabla 20. Límites de confianza para x_0 desde 5 hasta 30

x_0	LSC	LIC	x_0	LSC	LIC
5	0,003	-0,007	18	0,004	-0,001
6	0,003	-0,006	19	0,005	-0,001
7	0,003	-0,006	20	0,005	-0,001
8	0,003	-0,005	21	0,005	-0,001
9	0,003	-0,005	22	0,006	0,000
10	0,003	-0,004	23	0,006	0,000
11	0,003	-0,004	24	0,007	0,000
12	0,003	-0,003	25	0,007	0,000
13	0,004	-0,003	26	0,008	0,000
14	0,004	-0,002	27	0,008	0,000
15	0,004	-0,002	28	0,009	0,000
16	0,004	-0,002	29	0,009	0,000
17	0,004	-0,001	30	0,010	0,000

Fuente: elaboración propia

9. Graficar los límites de confianza y la línea de **sesgo cero**.

La Figura 44 muestra el gráfico de los **sesgos individuales** y **sesgos medios**, y la línea de ajuste en relación con los valores de referencia (estándares), los límites de confianza y la línea de sesgo cero.

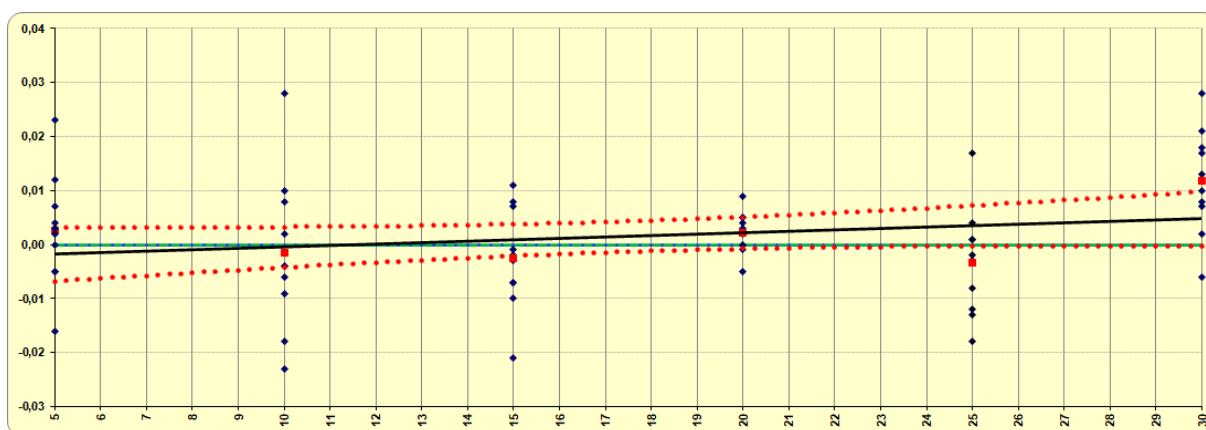


Figura 44. Gráfico de los sesgos individuales y sesgos medios, la línea de ajuste, los límites de confianza y la línea de sesgo cero (Fuente: elaboración propia)

10. Interpretar los resultados.

- Gráficamente

Si la **linealidad** es aceptable, la línea de **sesgo cero** (verde) debe quedar totalmente dentro de los límites de confianza. Como se puede apreciar en el gráfico en este caso la **linealidad** es aceptable.

- Numéricamente I

La pregunta que hay que responder es: ¿es la **pendiente** de la línea de tendencia significativamente diferente de cero?

Para ello se calcula el valor de **t** mediante la siguiente expresión:

$$t = \frac{|a|}{s \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2}} = 1,59480$$

Se compara el valor **t** con el valor de **t de Student** para un nivel de confianza del 95% y 58 grados de libertad (2,00172). Si el valor **t** calculado es mayor que el valor de **t de Student**, entonces la pendiente es significativamente diferente de cero.

Como **t** (1,59480) no es mayor que **t de Student** (2,00172) se puede decir que la pendiente no es significativamente diferente de cero. En resumen, la **linealidad** sí es aceptable.

- Numéricamente II

La pregunta que hay que responder es: ¿es el **sesgo** significativamente diferente de cero?

Para ello se calcula el valor de **t** mediante la siguiente expresión:

$$t = \frac{|b|}{\left(\sqrt{\frac{1}{n} + \frac{\bar{X}^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2}} \right) \cdot s} = 0,96174$$

Se compara el valor **t** con el valor de **t de Student** para un nivel de confianza del 95% y 58 grados de libertad (2,00172). Si el valor **t** calculado es mayor que el valor de **t de Student**, entonces el **sesgo** es significativamente diferente de cero.

Como **t** (0,96174) no es mayor que **t de Student** (2,00172) se puede decir que el **sesgo** no es significativamente diferente de cero. En resumen, el **sesgo** sí es aceptable.

2. Conclusiones

El primer paso para analizar un **sistema de medida** consiste en asegurar su **estabilidad**, es decir, que esté en estado de control estadístico.

El segundo paso consiste en asegurar que el **sistema de medida** no tiene ningún tipo de **sesgo**.

El tercer paso consiste en asegurar que la **linealidad** del **sistema de medida** a lo largo de todo su rango operativo de medida, tal y como se acaba de realizar en este estudio.

3. Estudio de linealidad con Excel

Para poder realizar el estudio de **linealidad** con Excel, hacer Ctrl + clic sobre el enlace para seguir el vínculo.

[https://www.dropbox.com/s/9xqhgi3e7je2gti/IV.%20ESTUDIO%20DE%20LINEALIDAD.xlsx?
dl=0](https://www.dropbox.com/s/9xqhgi3e7je2gti/IV.%20ESTUDIO%20DE%20LINEALIDAD.xlsx?dl=0)

ANEXO V: ESTUDIO DE REPETIBILIDAD Y DE REPRODUCIBILIDAD (GR&R)

1. Procedimiento de cálculo

El procedimiento para el estudio de **repetibilidad** y **reproducibilidad (GR&R)** es el siguiente:

1. Determinar el número de piezas (n), de inspectores (k) y de ensayos a realizar (r).
En el presente proyecto el número de piezas es $n = 10$, el número de inspectores es $k = 3$ y el número de ensayos a realizar es $r = 3$.
2. Seleccionar las piezas para el estudio.
Se deben seleccionar las piezas de modo que éstas representen el rango de variación del proceso.
3. Marcar las piezas del 1 al 10 y designar los tres inspectores (A, B y C).
4. Llevar a cabo las medidas.
 - Las piezas deben medirse en orden aleatorio.
 - Comenzar con el inspector A: éste mide las piezas en orden aleatorio, anotando las medidas en una tabla. Este proceso continúa con cada inspector sin que uno vea los resultados de los otros inspectores. Hay que asegurarse de que un inspector no pueda ver los resultados de sus medidas anteriores.
 - Este ciclo continúa hasta que se hayan completado todas las medidas. En total 90 medidas.
 - La Tabla 21 contiene las medidas, en milímetros, obtenidas para el estudio GR&R.

Tabla 21. Medidas obtenidas para el estudio GR&R

Inspector	Ensayo	Pieza 1	Pieza 2	Pieza 3	Pieza 4	Pieza 5	Pieza 6	Pieza 7	Pieza 8	Pieza 9	Pieza 10
A	1º	23,711	23,710	23,730	23,741	23,706	23,710	23,733	23,720	23,727	23,744
	2º	23,712	23,709	23,728	23,736	23,708	23,710	23,733	23,720	23,727	23,742
	3º	23,710	23,712	23,733	23,735	23,710	23,711	23,731	23,721	23,727	23,745
B	1º	23,714	23,714	23,734	23,740	23,711	23,715	23,737	23,724	23,732	23,747
	2º	23,715	23,715	23,728	23,738	23,708	23,713	23,735	23,725	23,733	23,747
	3º	23,715	23,709	23,730	23,739	23,710	23,714	23,736	23,724	23,730	23,748
C	1º	23,713	23,711	23,730	23,737	23,712	23,710	23,732	23,721	23,731	23,744
	2º	23,709	23,710	23,734	23,736	23,708	23,710	23,735	23,723	23,731	23,740
	3º	23,715	23,710	23,733	23,736	23,709	23,710	23,732	23,722	23,731	23,744

Fuente: elaboración propia con datos obtenidos en Bexiflon

5. Graficar los gráficos de control.

La Tabla 22 contiene los parámetros estadísticos necesarios para el cálculo de los límites de control.

Tabla 22. Parámetros para el cálculo de los límites de control

Inspector	Ensayo	Pieza 1	Pieza 2	Pieza 3	Pieza 4	Pieza 5	Pieza 6	Pieza 7	Pieza 8	Pieza 9	Pieza 10	Promedio
Inspector A	Media	23,7110	23,7103	23,7303	23,7373	23,7080	23,7103	23,7323	23,7203	23,7270	23,7437	23,7231
Inspector B		23,7147	23,7127	23,7307	23,7390	23,7097	23,7140	23,7360	23,7243	23,7317	23,7473	23,7260
Inspector C		23,7123	23,7103	23,7323	23,7363	23,7097	23,7100	23,7330	23,7220	23,7310	23,7427	23,7240
Inspector A	Rango	0,0020	0,0030	0,0050	0,0060	0,0040	0,0010	0,0020	0,0010	0,0000	0,0030	0,0027
Inspector B		0,0010	0,0060	0,0060	0,0020	0,0030	0,0020	0,0020	0,0010	0,0030	0,0010	0,0027
Inspector C		0,0060	0,0010	0,0040	0,0010	0,0040	0,0000	0,0030	0,0020	0,0000	0,0040	0,0025

Fuente: elaboración propia

En primer lugar, se ha calculado la media para cada pieza y para cada inspector. Por ejemplo, la fórmula para el cálculo de la media de las medidas correspondientes a la pieza 1 del inspector A es la siguiente:

$$\bar{X}_A = \frac{\sum_{i=1}^r x_i}{r} = \frac{23,711+23,712+23,710}{3} = 23,7110$$

En segundo lugar, se ha calculado el rango para cada pieza y para cada inspector. Por ejemplo, la fórmula para el cálculo del rango de las medidas correspondientes a la pieza 1 del inspector A es la siguiente.

$$R_A = \text{MAX}(x_{11} \text{ a } x_{13}) - \text{MIN}(x_{11} \text{ a } x_{13}) = (23,712 - 23,710) = 0,0020$$

Y así sucesivamente hasta completar las 30 medias y los 30 rangos.

En tercer lugar, se ha calculado el promedio de cada media para cada inspector. Por ejemplo, la fórmula para el cálculo del promedio de las medias correspondientes al inspector A es la siguiente:

$$\bar{\bar{X}}_A = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} = \frac{23,7110 + \dots + 23,7437}{10} = 23,7231$$

Y así sucesivamente hasta completar los 3 promedios

En cuarto lugar, se ha calculado el promedio de cada rango para cada inspector. Por ejemplo, la fórmula para el cálculo del promedio de los rangos correspondientes al inspector A es la siguiente:

$$\bar{R}_A = \frac{\sum_{i=1}^n RM_i}{n} = \frac{0,0020 + \dots + 0,0030}{10} = 0,0027$$

Y así sucesivamente hasta completar los 3 promedios.

A continuación, para el gráfico de rangos, se calculan la línea central y los límites de control superior e inferior. Las fórmulas son las siguientes:

$$LC = \bar{\bar{R}} = 0,00263$$

$$LSC = D_4 \cdot \bar{R} = 2,575 \cdot 0,00263 = 0,00678$$

$$LSI = D_3 \cdot \bar{R} = 0,000 \cdot 0,00263 = 0,00000$$

Siendo:

$$\bar{\bar{R}} = \frac{\bar{R}_A + \bar{R}_B + \bar{R}_C}{k} = \frac{0,0027 + 0,0027 + 0,0025}{3} = 0,00263$$

Para $k = 3$, tres inspectores,
 $D_4 = 2,575$ y $D_3 = 0,000$. Fuente:
 American Society for Testing and Materials
 (Escalante 2013).

La Figura 45 representa el gráfico de control de rangos para cada inspector.

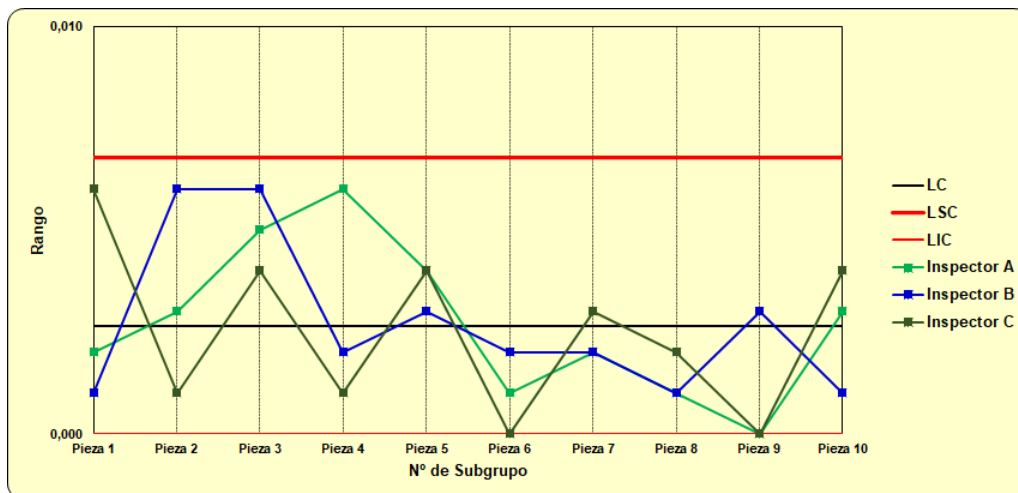


Figura 45. Gráfico de control de rangos (Fuente: elaboración propia)

Todos los rangos deben estar dentro de los límites de control como es el caso.

A continuación, para el gráfico de medias, se calculan la línea central y los límites de control superior e inferior. Las fórmulas son las siguientes:

$$LC = \bar{\bar{X}} = 23,72434$$

$$LSC = \bar{\bar{X}} + A_2 \cdot \bar{R} = 23,72434 + 1,023 \cdot 0,00263 = 23,72704$$

$$LSI = \bar{\bar{X}} - A_2 \cdot \bar{R} = 23,72434 - 1,023 \cdot 0,00263 = 23,72165$$

Siendo:

$$\bar{\bar{X}} = \frac{\bar{X}_A + \bar{X}_B + \bar{X}_C}{k} = \frac{23,7231 + 23,7260 + 23,7240}{3} = 23,72434$$

Para $k = 3$, tres inspectores, $A_2 = 1,023$. Fuente: American Society for Testing and Materials (Escalante 2013).

La Figura 46 representa el gráfico de control de medias para cada inspector.

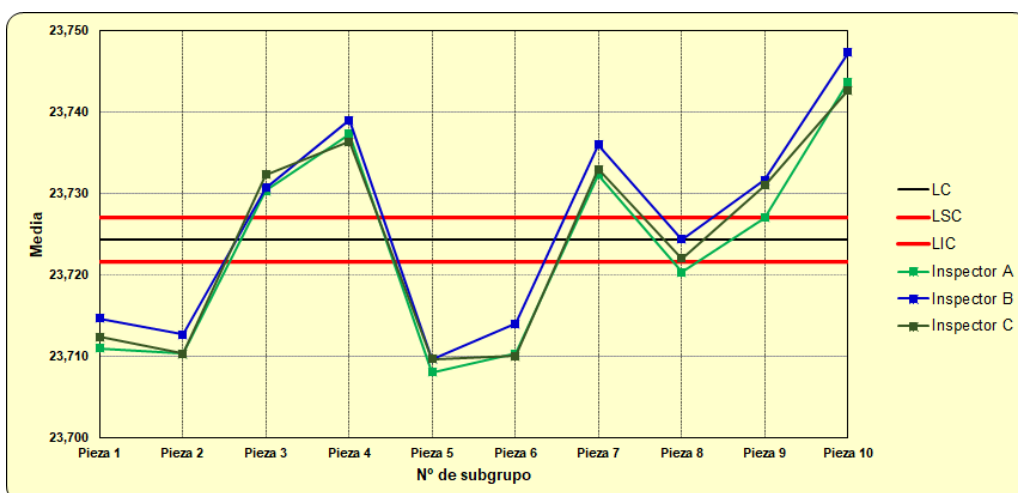


Figura 46. Gráfico de control de medias (Fuente: elaboración propia)

La mayoría de las medias deber estar fuera de los límites de control, como es el caso (27 de 30 → 90%), lo que indica la capacidad del instrumento de medida para detectar la variación como parte del análisis inicial del **sistema de medida**.

6. Calcular los promedios y los rangos.

La Tabla 23 indica cómo se calculan los diferentes promedios.

Tabla 23. Cálculo de los promedios y de los rangos

Inspector	Ensayo	Pieza 1	Pieza 2	Pieza 3	Pieza 4	Pieza 5	Pieza 6	Pieza 7	Pieza 8	Pieza 9	Pieza 10	Promedio	
A	1º	23,711	23,710	23,730	23,741	23,706	23,710	23,733	23,720	23,727	23,744	23,7232	
	2º	23,712	23,709	23,728	23,736	23,708	23,710	23,733	23,720	23,727	23,742	23,7225	
	3º	23,710	23,712	23,733	23,735	23,710	23,711	23,731	23,721	23,727	23,745	23,7235	
	Promedio A	23,7110	23,7103	23,7303	23,7373	23,7080	23,7103	23,7323	23,7203	23,7270	23,7437	23,7231	
	Rango A	0,0020	0,0030	0,0050	0,0060	0,0040	0,0010	0,0020	0,0010	0,0000	0,0030	0,0027	
B	1º	23,714	23,714	23,734	23,740	23,711	23,715	23,737	23,724	23,732	23,747	23,7268	
	2º	23,715	23,715	23,728	23,738	23,708	23,713	23,735	23,725	23,733	23,747	23,7257	
	3º	23,715	23,709	23,730	23,739	23,710	23,714	23,736	23,724	23,730	23,748	23,7255	
	Promedio B	23,7147	23,7127	23,7307	23,7390	23,7097	23,7140	23,7360	23,7243	23,7317	23,7473	23,7260	
	Rango B	0,0010	0,0060	0,0060	0,0020	0,0030	0,0020	0,0020	0,0010	0,0030	0,0010	0,0027	
C	1º	23,713	23,711	23,730	23,737	23,712	23,710	23,732	23,721	23,731	23,744	23,7241	
	2º	23,709	23,710	23,734	23,736	23,708	23,710	23,735	23,723	23,731	23,740	23,7236	
	3º	23,715	23,710	23,733	23,736	23,709	23,710	23,732	23,722	23,731	23,744	23,7242	
	Promedio C	23,7123	23,7103	23,7323	23,7363	23,7097	23,7100	23,7330	23,7220	23,7310	23,7427	23,7240	
		Rango C	0,0060	0,0010	0,0040	0,0010	0,0040	0,0000	0,0030	0,0020	0,0000	0,0040	0,0025
		Promedio	23,7127	23,7111	23,7311	23,7376	23,7091	23,7114	23,7338	23,7222	23,7299	23,7446	23,7243
		Promedio	0,0030	0,0033	0,0050	0,0030	0,0037	0,0010	0,0023	0,0013	0,0010	0,0027	0,0043

Fuente: elaboración propia

- Promedio de las medidas para cada ensayo para cada inspector. El número 1 refleja el promedio para el primer ensayo del inspector A (color rojo). Se calcula un total de total de 9 promedios (tres por cada inspector).
- Promedio y rango de las medidas para cada pieza y cada inspector. El número 2 refleja el promedio y el rango de los tres ensayos del inspector A (color verde claro). Se calcula un total de 30 promedios y de 30 rangos (diez por cada inspector).
- Promedio general de los promedios y de los rangos para cada inspector. El número 3 refleja el promedio y el rango general del inspector B (color marrón). Se calcula un total de total de 3 promedios y de 3 rangos (uno por cada inspector).
- Promedio general de los promedios y de los rangos para cada pieza. El número 4 refleja el promedio y el rango general de la pieza 4 (color verde oscuro). Se calcula un total de total de 40 promedios y de 40 rangos (30 por pieza-inspector y 10 globales).

7. Calcular los diversos contribuyentes a la variación del **sistema de medida**.

- Calcular la **repetibilidad**: Variación del Equipo (VE).

Es la variación "dentro" del sistema. Mide la variación que tiene un inspector cuando mide la misma pieza, y la misma característica, utilizando el mismo equipo de medida. La expresión de la Variación del Equipo es la siguiente:

$$VE = \bar{R} \cdot K_1$$

K_1 es una constante que depende del número de ensayos (r). La Tabla 24 refleja los valores de la constante K_1 .

Tabla 24. Valores de K_1

r	K_1
2	0,8862
3	0,5908

Fuente: elaboración propia a partir del MSA de la AIAG, 2010

En el presente proyecto $r = 3 \rightarrow K_1 = 0,5908$.

Siendo el promedio de los rangos:

$$\bar{\bar{R}} = \frac{\bar{R}_A + \bar{R}_B + \bar{R}_C}{r} = \frac{0,0027 + 0,0027 + 0,0025}{3} = 0,00263$$

Por lo tanto, la Variación de Equipo es la siguiente:

$$VE = \bar{\bar{R}} \cdot K_1 = 0,00263 \cdot 0,5908 = 0,00156$$

b. Calcular la **reproducibilidad**: Variación del Inspector (VI).

Es la variación "entre" del sistema. Mide la variación en el promedio de las diferentes medidas realizadas por los diferentes inspectores cuando se mide la misma característica en la misma pieza. La expresión de la Variación del Inspector es la siguiente:

$$VI = \sqrt{(\bar{X}_{DIF} \cdot K_2)^2 - \frac{VE^2}{n \cdot r}}$$

K_2 es una constante que depende del número de inspectores (k). La Tabla 25 refleja los valores de la constante K_2 .

Tabla 25. Valores de K_2

k	K_2
2	0,7071
3	0,5231

Fuente: elaboración propia a partir del MSA de la AIAG, 2010

En el presente proyecto $k = 3 \rightarrow K_2 = 0,5231$.

Siendo:

$$\bar{X}_{DIF} = \bar{X}_{MAX(INSP)} - \bar{X}_{MIN(INSP)}$$

El promedio máximo de los inspectores es 23,7260 y el promedio mínimo de los inspectores es 23,7231. Por lo tanto, la diferencia de promedios es la siguiente:

$$\bar{X}_{DIF} = \bar{X}_{MAX(INSP)} - \bar{X}_{MIN(INSP)} = 23,7260 - 23,7231 = 0,0029$$

Por lo tanto, la variación del inspector es la siguiente:

$$VI = \sqrt{(\bar{X}_{DIF} \cdot K_2)^2 - \frac{VE^2}{n \cdot r}} = \sqrt{(0,0029 \cdot 0,5231)^2 - \frac{0,00156^2}{3 \cdot 3}} = 0,00151$$

- c. Calcular la **repetibilidad** y **reproducibilidad** (GR&R).

Este cálculo combina los dos anteriores.

$$GR\&R = \sqrt{VE^2 + VI^2} = \sqrt{0,00156^2 + 0,00151^2} = 0,00217$$

- d. Calcular la Variación de la Pieza (VP)

La Variación de la Pieza se determina multiplicando el rango de los promedios de las piezas (R_p) por una constante K_3 . La expresión de la Variación de la Pieza es la siguiente:

$$VP = R_p \cdot K_3$$

K_3 es una constante que depende del número de piezas (n). La Tabla 26 refleja los valores de la constante K_3 .

Tabla 26. Valores de K_3

n	K_3	n	K_3
2	0,7071	7	0,3534
3	0,5231	8	0,3375
4	0,4467	9	0,3249
5	0,403	10	0,3146
6	0,3742		

Fuente: elaboración propia a partir del MSA de la AIAG, 2010

En el presente proyecto $n = 10 \rightarrow K_3 = 0,3146$

Siendo:

El promedio máximo por pieza es 23,7446 y el promedio mínimo por pieza es 23,7091. Por lo tanto, el rango de promedios por pieza es el siguiente:

$$R_p = \bar{R}_{MAX(PZA)} - \bar{R}_{MIN(PZA)} = 23,7446 - 23,7091 = 0,0354$$

Por lo tanto, la variación de la pieza es la siguiente:

$$VP = R_p \cdot K_3 = 0,0354 \cdot 0,3146 = 0,01115$$

- e. Calcular la Variación Total (VT)

Este cálculo combina los dos anteriores.

$$VT = \sqrt{GR\&R^2 + VP^2} = \sqrt{0,00217^2 + 0,01115^2} = 0,01136$$

Para determinar si el **sistema de medida** es adecuado o no, se compara cada una de las variaciones calculadas con la Variación Total (VT).

$$GR\&R \text{ total} = \frac{GR\&R}{VT} \cdot 100 = \frac{0,00217}{0,01136} \cdot 100 = 19,07\%$$

$$\text{Repetibilidad (VE)} = \frac{VE}{VT} \cdot 100 = \frac{0,00156}{0,01136} \cdot 100 = 13,70\%$$

$$\text{Reproducibilidad (VI)} = \frac{VI}{VT} \cdot 100 = \frac{0,00151}{0,01136} \cdot 100 = 13,27\%$$

$$\text{Pieza a pieza (VP)} = \frac{VP}{VT} \cdot 100 = \frac{0,01115}{0,01136} \cdot 100 = 98,16\%$$

$$\text{Variación total (VT)} = \frac{VT}{VT} \cdot 100 = \frac{0,01136}{0,01136} \cdot 100 = 100,00\%$$

Se pueden utilizar las siguientes directrices para determinar si un **sistema de medida** es aceptable o no:

- GR&R menor del 10% de la variación total: el **sistema de medida** es aceptable.
- GR&R mayor del 10% y menos de 30% de la variación total: el **sistema de medida** puede ser aceptable dependiendo de la aplicación.
- GR&R mayor del 30% de la variación total: el **sistema de medida** es inaceptable y necesita mejorar.

En el presente proyecto GR&R = 19,07%, por lo tanto, el **sistema de medida** puede ser aceptable dependiendo de la aplicación.

8. Comparar los resultados con la tolerancia.

Si se quiere comparar los resultados con la tolerancia. En lugar de con la Variación Total (TOT), se deberá sustituir VT por:

$$\frac{LSE-LIE}{6} = \frac{0,1}{6} = 0,01667$$

Los resultados son los siguientes:

$$\text{GR\&R total} = \frac{\text{GR\&R}}{\text{TOL}} \cdot 100 = \frac{0,00217}{0,01667} \cdot 100 = 13,00\%$$

$$\text{Repetibilidad (VE)} = \frac{VE}{\text{TOL}} \cdot 100 = \frac{0,00156}{0,01667} \cdot 100 = 9,33\%$$

$$\text{Reproducibilidad (VI)} = \frac{VI}{\text{TOL}} \cdot 100 = \frac{0,00151}{0,01667} \cdot 100 = 9,05\%$$

$$\text{Pieza a pieza (VP)} = \frac{VP}{\text{TOL}} \cdot 100 = \frac{0,01115}{0,01667} \cdot 100 = 66,90\%$$

$$\text{Variación total (VT)} = \frac{VT}{\text{TOL}} \cdot 100 = \frac{0,01136}{0,01667} \cdot 100 = 68,16\%$$

9. Calcular el número de categorías distintas (NCD).

Es la medida del número de categorías distintas que el **sistema de medida** puede distinguir. La expresión del NCD es la siguiente:

$$\text{NCD} = \text{entero} \left(1,41 \cdot \frac{VP}{\text{GR\&R}} \right) = \text{entero} \left(1,41 \cdot \frac{0,01115}{0,00217} \right) = 7$$

Con un NCD mayor o igual a 5 el **sistema de medida** es aceptable. En el presente proyecto NCD es igual a 7, por lo tanto, el **sistema de medida** es aceptable desde este punto de vista.

2. Conclusiones

El primer paso para analizar un **sistema de medida** consiste en asegurar su **estabilidad**, es decir, que esté en estado de control estadístico.

El segundo paso consiste en asegurar que el **sistema de medida** no tiene ningún tipo de **sesgo**.

El tercer paso consiste en asegurar la **linealidad** del **sistema de medida** a lo largo de todo su rango operativo de medida.

El cuarto, y último paso, consiste en el **estudio GR&R** para determinar la cantidad de variación debida al **sistema de medida** en relación con la **repetibilidad** y la **reproducibilidad**, tal y como se acaba de realizar. El resultado de este estudio dice que el **sistema de medida** del presente proyecto es aceptable.

3. Estudio de repetibilidad y reproducibilidad con Excel

Para poder realizar el estudio de **repetibilidad** y **reproducibilidad** G(R&R) con Excel, hacer Ctrl + clic sobre el enlace para seguir el vínculo.

<https://www.dropbox.com/s/8n5x09krb89yn6y/V.%20ESTUDIO%20GR%26R.xlsx?dl=0>

4. Comparación de resultados con Minitab

A continuación, se muestran los resultados obtenidos para el presente proyecto con la aplicación estadística Minitab (Herramienta estadística, muy enfocada al análisis de datos y mejora de productos y servicios para implantar proyectos de control de calidad y Six Sigma (Seis Sigma). La Tabla 27 refleja los resultados del estudio GR&R en Minitab.

Tabla 27. Resultados del estudio GR&R en Minitab

Evaluación del sistema de medición				
	Desv.Est. (DE)	Var. estudio (6 × DE)	%Var. estudio	%Tolerancia (VE/Toler)
Fuente			(%VE)	
Gage R&R total	0,0021667	0,0130003	19,08	13,00
Repetibilidad	0,0015558	0,0093349	13,70	9,33
Reproducibilidad	0,001508	0,0090481	13,28	9,05
Parte a parte	0,0111494	0,0668963	98,16	66,90
Variación total	0,011358	0,0681478	100,00	68,15
Número de categorías distintas = 7				

Fuente: elaboración propia a partir de Minitab

Los resultados obtenidos con Minitab son prácticamente los mismos que los obtenidos con el estudio realizado para el presente proyecto.

ANEXO VI: PRUEBA DE NORMALIDAD DE LOS DATOS

Según Gutiérrez, H. y De La Vara Salazar, R. (2009), existen muchas pruebas para verificar la **normalidad de los datos**. En el presente proyecto se van realizar dos comprobaciones: una gráfica y otra cuantitativa (Anderson-Darling).

1. Prueba gráfica de normalidad de los datos

Para la realización de esta prueba se parte de las 100 medidas realizadas para el cálculo inicial de los límites de control del control estadístico del proceso. La Tabla 28 contiene las 100 medidas, en milímetros, obtenidas para dicho cálculo.

Tabla 28. Medias obtenidas del proceso

Medidas									
23,753	23,743	23,729	23,743	23,736	23,752	23,731	23,725	23,751	23,723
23,722	23,732	23,731	23,709	23,735	23,751	23,723	23,727	23,700	23,749
23,749	23,708	23,713	23,741	23,711	23,748	23,733	23,737	23,773	23,705
23,721	23,712	23,733	23,729	23,746	23,737	23,733	23,709	23,723	23,719
23,721	23,726	23,728	23,719	23,719	23,747	23,716	23,726	23,728	23,717
23,733	23,722	23,726	23,744	23,729	23,718	23,750	23,735	23,728	23,740
23,713	23,738	23,758	23,741	23,761	23,747	23,731	23,737	23,731	23,728
23,711	23,734	23,732	23,707	23,740	23,740	23,706	23,746	23,727	23,705
23,740	23,740	23,715	23,729	23,723	23,734	23,741	23,730	23,723	23,721
23,728	23,726	23,724	23,720	23,712	23,723	23,725	23,727	23,732	23,720

Fuente: elaboración con datos obtenidos en Bexiflon

En primer lugar, se construye un Histograma, con la misma metodología empleada durante el **estudio de sesgo**, para ver cómo se distribuyen las medidas (datos).

- Número de medidas (n) = 100	- Número de clases (N) = 10
- Valor máximo = 23,773	- Resolución de la medida = 0,001
- Valor mínimo = 23,700	- Anchura de clases (A) = 0,0074
- Rango (R) = 0,073	- Número de decimales = 4

La Tabla 29 para construir el Histograma es la siguiente:

Tabla 29. Datos para la construcción del histograma

Número	Límite inferior	Límite superior	Límites	Frecuencia
1	23,6995	23,7069	23,6995 a 23,7069	4
2	23,7069	23,7143	23,7069 a 23,7143	10
3	23,7143	23,7217	23,7143 a 23,7217	12
4	23,7217	23,7291	23,7217 a 23,7291	27
5	23,7291	23,7365	23,7291 a 23,7365	17
6	23,7365	23,7439	23,7365 a 23,7439	14
7	23,7439	23,7513	23,7439 a 23,7513	11
8	23,7513	23,7587	23,7513 a 23,7587	3
9	23,7587	23,7661	23,7587 a 23,7661	1
10	23,7661	23,7735	23,7661 a 23,7735	1

Fuente: elaboración propia

La Figura 47 muestra el Histograma resultante.

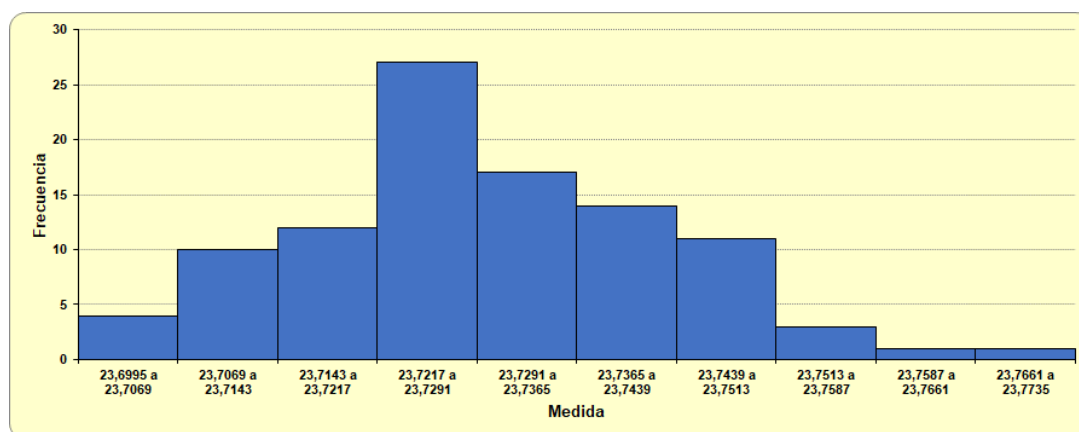


Figura 47. Histograma para el estudio de la normalidad (Fuente: elaboración propia con datos obtenidos en Bexiflon)

El Histograma muestra gráficamente que las medidas pueden seguir la **distribución normal**. Hay que tener en cuenta que un Histograma de datos reales no se verá como una **distribución normal** perfecta. Todo lo que se intenta es determinar si describir los datos como una **distribución normal** es razonable.

Una segunda parte de la prueba gráfica de normalidad es la siguiente: se puede usar una gráfica de probabilidad normal para determinar si un grupo de datos provienen de una **distribución normal**. Esto implica el uso de las propiedades de probabilidad de la **distribución normal**. El procedimiento es el siguiente:

1. Ordenar los datos en orden ascendente,
2. Numerar los datos de 1 a n, siendo n el número de datos (medidas).
3. Calcular la probabilidad acumulativa con la expresión siguiente.

$$P(x) = \frac{i-0,5}{n}$$

$$i=1 \rightarrow P(x) = \frac{1-0,5}{100} = 0,005$$

$$i=100 \rightarrow P(x) = \frac{100-0,5}{100} = 0,995$$

Para el caso de estudio, cuando $i = 1$, el valor de la probabilidad acumulativa es 0,005.

Para el caso de estudio, cuando $i = 100$, el valor de la probabilidad acumulativa es 0,995.

4. Determinar el valor z de la **distribución normal estándar** para cada probabilidad acumulativa.

Se puede obtener el **valor de z**, consultando la tabla de la **distribución normal estándar** o por medio de la siguiente función de Excel:

$$\text{Valor } z = \text{INV.NORM.ESTAND} (0,005) = -2,58$$

$$\text{Valor } z = \text{INV.NORM.ESTAND} (0,995) = +2,58$$

5. Graficar los datos y dibujar la línea de ajuste. Para ello se calcula el **valor z** de la **distribución normal estándar** para cada probabilidad acumulativa.

La Tabla 30 contiene los datos necesarios para graficar la distribución.

Tabla 30. Datos para la construcción del gráfico

Nº	Medida	P(x)	z	Nº	Medida	P(x)	z	Nº	Medida	P(x)	z	Nº	Medida	P(x)	z
1	23,700	0,005	-2,58	26	23,721	0,255	-0,66	51	23,729	0,505	0,01	76	23,740	0,755	0,69
2	23,705	0,015	-2,17	27	23,722	0,265	-0,63	52	23,729	0,515	0,04	77	23,740	0,765	0,72
3	23,705	0,025	-1,96	28	23,722	0,275	-0,60	53	23,729	0,525	0,06	78	23,740	0,775	0,76
4	23,706	0,035	-1,81	29	23,723	0,285	-0,57	54	23,730	0,535	0,09	79	23,740	0,785	0,79
5	23,707	0,045	-1,70	30	23,723	0,295	-0,54	55	23,731	0,545	0,11	80	23,741	0,795	0,82
6	23,708	0,055	-1,60	31	23,723	0,305	-0,51	56	23,731	0,555	0,14	81	23,741	0,805	0,86
7	23,709	0,065	-1,51	32	23,723	0,315	-0,48	57	23,731	0,565	0,16	82	23,741	0,815	0,90
8	23,709	0,075	-1,44	33	23,723	0,325	-0,45	58	23,731	0,575	0,19	83	23,743	0,825	0,93
9	23,711	0,085	-1,37	34	23,723	0,335	-0,43	59	23,732	0,585	0,21	84	23,743	0,835	0,97
10	23,711	0,095	-1,31	35	23,724	0,345	-0,40	60	23,732	0,595	0,24	85	23,744	0,845	1,02
11	23,712	0,105	-1,25	36	23,725	0,355	-0,37	61	23,732	0,605	0,27	86	23,746	0,855	1,06
12	23,712	0,115	-1,20	37	23,725	0,365	-0,35	62	23,733	0,615	0,29	87	23,746	0,865	1,10
13	23,713	0,125	-1,15	38	23,726	0,375	-0,32	63	23,733	0,625	0,32	88	23,747	0,875	1,15
14	23,713	0,135	-1,10	39	23,726	0,385	-0,29	64	23,733	0,635	0,35	89	23,747	0,885	1,20
15	23,715	0,145	-1,06	40	23,726	0,395	-0,27	65	23,733	0,645	0,37	90	23,748	0,895	1,25
16	23,716	0,155	-1,02	41	23,726	0,405	-0,24	66	23,734	0,655	0,40	91	23,749	0,905	1,31
17	23,717	0,165	-0,97	42	23,727	0,415	-0,21	67	23,734	0,665	0,43	92	23,749	0,915	1,37
18	23,718	0,175	-0,93	43	23,727	0,425	-0,19	68	23,735	0,675	0,45	93	23,750	0,925	1,44
19	23,719	0,185	-0,90	44	23,727	0,435	-0,16	69	23,735	0,685	0,48	94	23,751	0,935	1,51
20	23,719	0,195	-0,86	45	23,728	0,445	-0,14	70	23,736	0,695	0,51	95	23,751	0,945	1,60
21	23,719	0,205	-0,82	46	23,728	0,455	-0,11	71	23,737	0,705	0,54	96	23,752	0,955	1,70
22	23,720	0,215	-0,79	47	23,728	0,465	-0,09	72	23,737	0,715	0,57	97	23,753	0,965	1,81
23	23,720	0,225	-0,76	48	23,728	0,475	-0,06	73	23,737	0,725	0,60	98	23,758	0,975	1,96
24	23,721	0,235	-0,72	49	23,728	0,485	-0,04	74	23,738	0,735	0,63	99	23,761	0,985	2,17
25	23,721	0,245	-0,69	50	23,729	0,495	-0,01	75	23,740	0,745	0,66	100	23,773	0,995	2,58

Fuente: elaboración propia

La Figura 48 muestra el gráfico de normalidad de las medidas y la línea de ajuste.

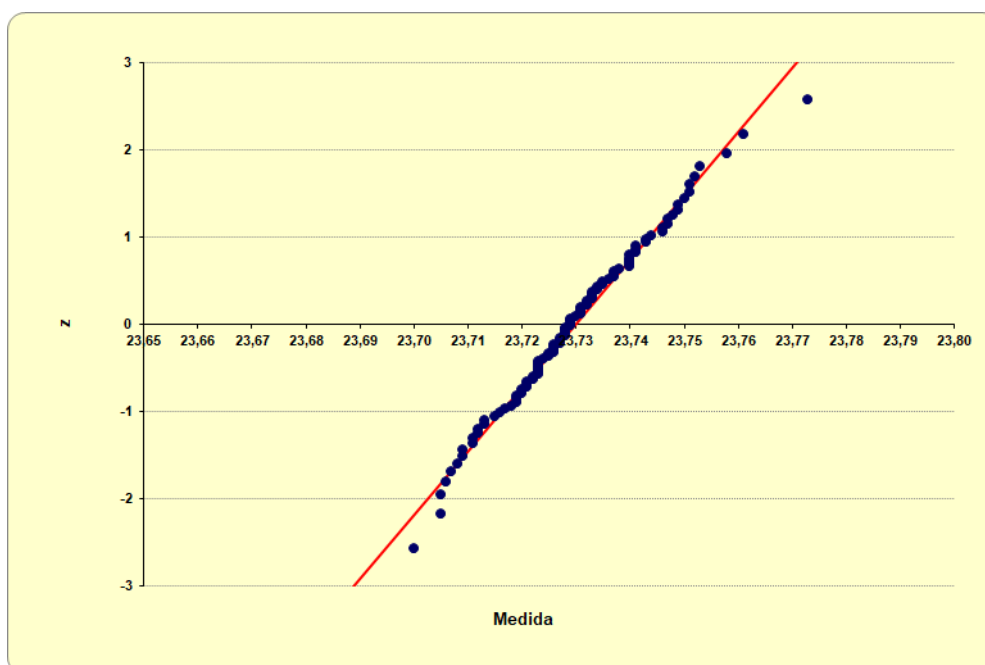


Figura 48. Gráfico de normalidad de las medidas (Fuente: elaboración propia)

Si los puntos caen más o menos en línea recta, se puede suponer que tienen una **distribución normal**. En el presente proyecto, dado que los datos se encuentran en línea recta, puede suponer que tienen una **distribución normal**.

2. Prueba Anderson-Darling de normalidad de los datos

Es una prueba estadística para averiguar si un conjunto de datos proviene o no de una cierta distribución de probabilidad, por ejemplo, la **distribución normal**. La prueba implica calcular el **estadístico Anderson-Darling**. Puede usarse este estadístico para comparar qué tan bien un conjunto de datos se ajusta a diferentes distribuciones.

Las dos hipótesis para la prueba **Anderson-Darling** para la **distribución normal** son las siguientes:

- Hipótesis nula H_0 : los datos siguen la distribución normal.
- Hipótesis alternativa H_1 : los datos no siguen la distribución normal.

En la mayoría de los casos, se determina el **Valor p** para la prueba **Anderson-Darling**, y de este modo, utilizar ese valor para ayudar a determinar si la prueba es significativa o no. El **Valor p** es la probabilidad que mide la evidencia en contra de la hipótesis nula. Un **Valor p** más pequeño proporciona una evidencia más fuerte en contra de la hipótesis nula.

El **estadístico Anderson-Darling** viene dado por la siguiente expresión matemática:

$$AD = -n - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (2i - 1) * [\ln F(X_i) + \ln(1 - F(X_{n-i+1}))]$$

Donde **n** es el tamaño de muestra (100 medidas), **F (X)** es la función de distribución acumulativa para la distribución especificada e **i** es la *i*-ésima muestra cuando los datos se ordenan en orden ascendente. Para el cálculo del **estadístico Anderson-Darling** los pasos son los siguientes:

1. Determinar la media (promedio), la desviación estándar y el número de datos (medidas).

En el presente proyecto los resultados son los siguientes:

- Media = 23,73
- Desviación estándar = 0,01368
- Número de datos = 100

2. Numerar los datos de 1 a n.
3. Ordenar los datos en sentido ascendente.
4. Calcular la función de distribución acumulativa $F(X_i)$.

Este cálculo se puede realizar con Excel por medio de la función siguiente:

$$F(X_i) = \text{DISTR.NORM.N}(X; \text{Media}; \text{Desv_estandar}; \text{VERDADERO})$$

Para el primer valor de X, $X_1 = 23,700$ el resultado de $F(X_1)$ es 0,014619. Para el último valor de X, $X_{100} = 23,773$ el resultado de $F(X_{100})$ es 0,999198.

5. Calcular el valor de $[1 - F(X_i)]$.

Para el primer valor de X, $X_1 = 23,700$ el resultado de $[1 - F(X_1)]$ es 0,985381. Para el último valor de X, $X_{100} = 23,773$ el resultado de $[1 - F(X_{100})]$ es 0,000802.

6. Calcular la función de distribución acumulativa $[1 - F(X_{n-i+1})]$.

Este cálculo se puede realizar con Excel por medio de la función siguiente:

$$[1 - F(X_{n-i+1})] = K.ESIMO.MENOR (\text{Rango de datos}; i)$$

Para el primer valor de X, $X_1 = 23,700$ el resultado de $[1 - F(X_{n-1+1})]$ es 0,000802. Para el último valor de X, $X_{100} = 23,773$ el resultado de $[1 - F(X_{n-1+1})]$ es 0,985381.

7. Calcular el sumatorio de la ecuación de Anderson-Darling:

$$S = (2i-1) \cdot [\ln F(X_i) + \ln(1-F(X_{n-i+1}))]$$

Para el primer valor de X, $X_1 = 23,700$ el resultado de S_1 es -11,354161. Para el último valor de X, $X_{100} = 23,773$ el resultado de S_{100} es -3,090279. El valor total de S es -10.025,56.

8. Calcular el **estadístico Anderson-Darling (AD)** con la siguiente expresión:

$$AD = -n - \frac{1}{n} S = -100 - \frac{-10.025,56}{100} = 0,256$$

9. Ajustar el valor de **AD** para tamaños de muestra pequeños.

El valor **AD ajustado** viene dado por la expresión siguiente:

$$AD^* = AD \cdot \left(1 + \frac{0,75}{n} + \frac{2,25}{n^2}\right) = 0,256 \cdot \left(1 + \frac{0,75}{100} + \frac{2,25}{100^2}\right) = 0,258$$

10. Calcular el **Valor p** a través de las diferentes ecuaciones dependiendo del valor de AD^* :

- Si $AD^* > 0,6 \rightarrow Vp = \text{EXP}(1,2937 - 5,709(AD^*) + 0,0186(AD^*)^2)$
- Si $0,34 < AD^* < 0,6 \rightarrow Vp = \text{EXP}(0,9177 - 4,279(AD^*) - 1,38(AD^*)^2)$
- Si $0,2 < AD^* < 0,34 \rightarrow Vp = 1 - \text{EXP}(-8,318 + 42,796(AD^*) - 59,938(AD^*)^2)$
- Si $AD^* \leq 0,2 \rightarrow Vp = 1 - \text{EXP}(-13,436 + 101,14(AD^*) - 223,73(AD^*)^2)$

Como en el proyecto en curso AD^* es igual a 0,258; hay que emplear la tercera expresión. El resultado es el siguiente:

$$\text{Valor } p = 1 - \text{EXP}(-8,318 + 42,796(0,258) - 59,938(0,258)^2) = 0,720$$

11. Interpretar el **Valor p** para determinar si los datos no siguen una distribución normal.

Para determinar si los datos no siguen una **distribución normal**, se compara el **Valor p** con el nivel de significancia. Por lo general, un nivel de significancia (denotado como α o alfa) de 0,05 funciona adecuadamente. Un nivel de significancia de 0,05 indica un riesgo de 5% de concluir que los datos no siguen una **distribución normal**, cuando los datos sí siguen una **distribución normal**.

Valor p $\leq \alpha$: los datos no siguen una **distribución normal** (Rechazar H_0).

Si el **Valor p** es menor que o igual al nivel de significancia, la decisión es rechazar la hipótesis nula y concluir que sus datos no siguen una **distribución normal**.

Valor p $> \alpha$: no puede concluir que los datos no siguen una **distribución normal** (No se puede rechazar H_0).

Si el **Valor p** es mayor que el nivel de significancia, la decisión es que no se puede rechazar la hipótesis nula. No se tiene la suficiente evidencia para concluir que los datos no siguen una **distribución normal**.

En el proyecto en curso como el **Valor p** (0,720) es mayor que el nivel de significancia (0,05) por lo tanto, no se tiene la suficiente evidencia para concluir que los datos no siguen una **distribución normal**.

La Tabla 31 recoge los cálculos realizados para obtener el **estadístico Anderson-Darling** y el **Valor p**.

Tabla 31. Cálculos para obtener el estadístico Anderson-Darling y el Valor p

Medida	i	Ordenada	F(X _i)	1-F(X _i)	1-F(X _(n+1))	S	Medida	i	Ordenada	F(X _i)	1-F(X _i)	1-F(X _(n+1))	S
23,753	1	23,700	0,014619	0,985381	0,000802	-11,354161	23,752	51	23,729	0,475813	0,524187	0,524187	-140,252346
23,722	2	23,705	0,034776	0,965224	0,011357	-23,510135	23,751	52	23,729	0,475813	0,524187	0,553201	-137,480584
23,749	3	23,705	0,034776	0,965224	0,019750	-36,417006	23,748	53	23,729	0,475813	0,524187	0,553201	-140,150110
23,721	4	23,706	0,040778	0,959222	0,045182	-44,076665	23,737	54	23,730	0,504957	0,495043	0,553201	-136,458763
23,721	5	23,707	0,047595	0,952405	0,052574	-53,915099	23,747	55	23,731	0,534074	0,465926	0,553201	-132,898709
23,733	6	23,708	0,055295	0,944705	0,060895	-62,630425	23,718	56	23,731	0,534074	0,465926	0,553201	-135,337217
23,713	7	23,709	0,063948	0,936052	0,060895	-72,127886	23,747	57	23,731	0,534074	0,465926	0,581934	-132,053996
23,711	8	23,709	0,063948	0,936052	0,070212	-81,088970	23,740	58	23,731	0,534074	0,465926	0,581934	-134,391235
23,740	9	23,711	0,084368	0,915632	0,080588	-84,846476	23,734	59	23,732	0,563010	0,436990	0,581934	-130,555254
23,728	10	23,711	0,084368	0,915632	0,080588	-94,828414	23,723	60	23,732	0,563010	0,436990	0,610236	-127,135887
23,743	11	23,712	0,096256	0,903744	0,092083	-99,242081	23,731	61	23,732	0,563010	0,436990	0,610236	-129,272624
23,732	12	23,712	0,096256	0,903744	0,104749	-105,729549	23,723	62	23,733	0,591612	0,408388	0,610236	-125,314178
23,708	13	23,713	0,109330	0,890670	0,104749	-111,739228	23,733	63	23,733	0,591612	0,408388	0,610236	-127,351807
23,712	14	23,713	0,109330	0,890670	0,118631	-117,318164	23,733	64	23,733	0,591612	0,408388	0,637964	-123,745913
23,726	15	23,715	0,139201	0,860799	0,118631	-119,003693	23,716	65	23,733	0,591612	0,408388	0,637964	-125,694667
23,722	16	23,716	0,156049	0,843951	0,150176	-116,359433	23,750	66	23,734	0,619734	0,380266	0,664987	-116,125245
23,738	17	23,717	0,174189	0,825811	0,167877	-116,560509	23,731	67	23,734	0,619734	0,380266	0,691181	-112,759716
23,734	18	23,718	0,193616	0,806384	0,167877	-119,924154	23,706	68	23,735	0,647237	0,352763	0,691181	-108,593346
23,740	19	23,719	0,214309	0,785691	0,207133	-115,245103	23,741	69	23,735	0,647237	0,352763	0,691181	-110,202137
23,726	20	23,719	0,214309	0,785691	0,207133	-121,474568	23,725	70	23,736	0,673992	0,326008	0,691181	-106,180804
23,729	21	23,719	0,214309	0,785691	0,207133	-127,704033	23,725	71	23,737	0,699879	0,300121	0,691181	-102,394380
23,731	22	23,720	0,236234	0,763766	0,228644	-125,496503	23,727	72	23,737	0,699879	0,300121	0,691181	-103,846782
23,713	23	23,720	0,236234	0,763766	0,228644	-131,335610	23,737	73	23,737	0,699879	0,300121	0,716438	-100,095280
23,733	24	23,721	0,259340	0,740660	0,228644	-132,784587	23,709	74	23,738	0,724794	0,275206	0,716438	-96,333893
23,728	25	23,721	0,259340	0,740660	0,228644	-138,434995	23,726	75	23,740	0,771356	0,228644	0,740660	-83,413040
23,726	26	23,721	0,259340	0,740660	0,228644	-144,085403	23,735	76	23,740	0,771356	0,228644	0,740660	-84,532679
23,758	27	23,722	0,283562	0,716438	0,275206	-135,179503	23,737	77	23,740	0,771356	0,228644	0,740660	-85,652317
23,732	28	23,722	0,283562	0,716438	0,300121	-135,514052	23,746	78	23,740	0,771356	0,228644	0,763766	-82,010274
23,715	29	23,723	0,308819	0,691181	0,300121	-135,578471	23,730	79	23,740	0,771356	0,228644	0,763766	-83,068471
23,724	30	23,723	0,308819	0,691181	0,300121	-140,335610	23,727	80	23,741	0,792867	0,207133	0,785691	-75,253262
23,743	31	23,723	0,308819	0,691181	0,326008	-140,045824	23,751	81	23,741	0,792867	0,207133	0,785691	-76,199844
23,709	32	23,723	0,308819	0,691181	0,352763	-139,668544	23,700	82	23,741	0,792867	0,207133	0,785691	-77,146426
23,741	33	23,723	0,308819	0,691181	0,352763	-144,102466	23,773	83	23,743	0,832123	0,167877	0,806384	-65,830005
23,729	34	23,723	0,308819	0,691181	0,380266	-143,506374	23,723	84	23,743	0,832123	0,167877	0,825811	-62,652499
23,719	35	23,724	0,335013	0,664987	0,380266	-142,172492	23,728	85	23,744	0,849824	0,150176	0,843951	-56,173455
23,744	36	23,725	0,362036	0,637964	0,408388	-135,720043	23,728	86	23,746	0,881369	0,118631	0,860799	-47,225555
23,741	37	23,725	0,362036	0,637964	0,408388	-139,543143	23,731	87	23,746	0,881369	0,118631	0,890670	-41,876514
23,707	38	23,726	0,389764	0,610236	0,408388	-137,831276	23,727	88	23,747	0,895251	0,104749	0,890670	-39,625756
23,729	39	23,726	0,389764	0,610236	0,408388	-141,506777	23,723	89	23,747	0,895251	0,104749	0,903744	-37,499183
23,720	40	23,726	0,389764	0,610236	0,436990	-139,834487	23,732	90	23,748	0,907917	0,092083	0,903744	-35,408166
23,736	41	23,726	0,389764	0,610236	0,436990	-143,374601	23,723	91	23,749	0,919412	0,080588	0,915632	-31,161321
23,735	42	23,727	0,418066	0,581934	0,436990	-141,096676	23,749	92	23,749	0,919412	0,080588	0,915632	-31,505645
23,711	43	23,727	0,418066	0,581934	0,465926	-139,046741	23,705	93	23,750	0,929788	0,070212	0,936052	-25,693206
23,746	44	23,727	0,418066	0,581934	0,465926	-142,318429	23,719	94	23,751	0,939105	0,060895	0,936052	-24,106466
23,719	45	23,728	0,446799	0,553201	0,465926	-139,674427	23,717	95	23,751	0,939105	0,060895	0,944705	-22,625313
23,729	46	23,728	0,446799	0,553201	0,465926	-142,813178	23,740	96	23,752	0,947426	0,052574	0,952405	-19,629272
23,761	47	23,728	0,446799	0,553201	0,495043	-140,314456	23,728	97	23,753	0,954818	0,045182	0,959222	-16,958398
23,740	48	23,728	0,446799	0,553201	0,524187	-137,897690	23,705	98	23,758	0,980250	0,019750	0,965224	-10,791970
23,723	49	23,728	0,446799	0,553201	0,524187	-140,800799	23,721	99	23,761	0,988643	0,011357	0,965224	-9,223091
23,712	50	23,729	0,475813	0,524187	0,524187	-137,475072	23,720	100	23,773	0,999198	0,000802	0,985381	-3,090279

Fuente: elaboración propia

3. Conclusiones

Para este proyecto se puede afirmar que tanto gráficamente como numéricamente, los datos (medidas) se distribuyen según la **distribución normal** de media igual a 23,73 y desviación estándar igual a 0,01368.

4. Prueba de normalidad de los datos con Excel

Para poder realizar la prueba de normalidad de los datos con Excel, hacer Ctrl + clic sobre el enlace para seguir el vínculo.

<https://www.dropbox.com/s/97ooiysy80c17dl/VI.%20PRUEBA%20DE%20NORMALIDAD%20DE%20LOS%20DATOS.xlsx?dl=0>

5. Comparación de resultados con Minitab

A continuación, se muestran los resultados obtenidos para el presente proyecto con la aplicación estadística Minitab (Herramienta estadística, muy enfocada al análisis de datos y mejora de productos y servicios para implantar proyectos de control de calidad y Six Sigma (Seis Sigma). Se puede apreciar que los datos que suministra Minitab coinciden al 100% con los calculados anteriormente:

- Media = 23,73
- Desviación estándar = 0,01368
- N = 100
- Estadístico Anderson-Darling (AD) = 0,256
- Valor p = 0,720

La Figura 49 muestra la Gráfica de probabilidad de Medidas generada por Minitab.

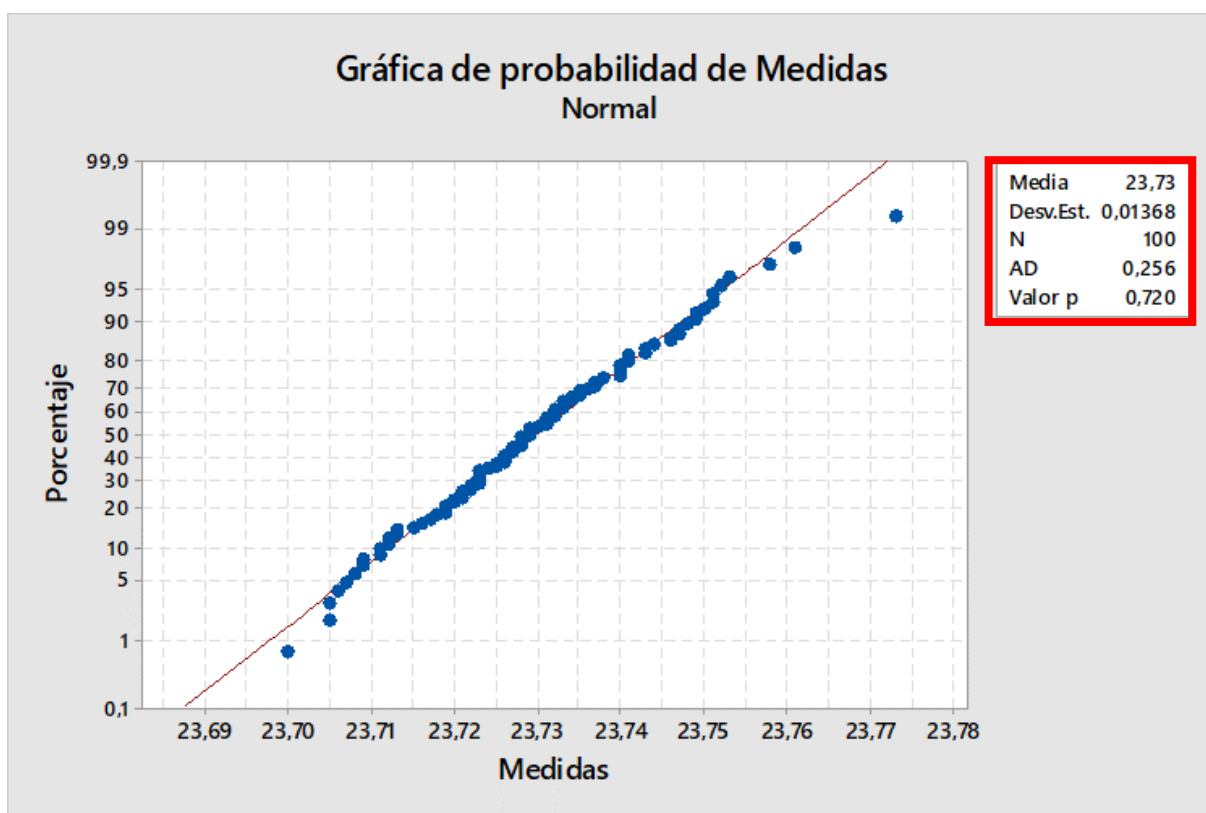


Figura 49. Gráfico de probabilidad de medidas (Fuente: elaboración propia con Minitab)

ANEXO VII: CONTROL ESTADÍSTICO DEL PROCESO

1. Procedimiento de cálculo

Una vez que el sistema de medida es aceptable, el siguiente paso es el cálculo de la línea central y de los límites de control.

Los pasos para llevar a cabo dichos cálculos son los siguientes:

1. Definir la característica a medir (característica de control - CTQ). La CTQ definida para el presente proyecto (ver punto 3.1.4.).
2. Definir el punto de inspección (en qué etapa del proceso se va a medir la característica). En el presente proyecto a la salida del proceso de mecanizado.
3. Seleccionar el gráfico de control a utilizar. En el presente proyecto se elige el Gráfico de Medias y Rangos.
4. Determinar el tamaño del subgrupo (tamaño de la muestra) a medir. En el presente proyecto el tamaño es de 5 unidades
5. Determinar la frecuencia de la medida. En el presente proyecto se realiza una vez por turno.
6. Tomar físicamente las medidas. En el presente proyecto las cien medidas (20 x 5) son las siguientes. La Tabla 32 muestran las 100 medidas.

Tabla 32. Medidas para el cálculo de los parámetros

Día	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5
1	23,753	23,729	23,736	23,731	23,751
2	23,722	23,731	23,735	23,723	23,700
3	23,749	23,713	23,711	23,733	23,773
4	23,721	23,733	23,746	23,733	23,723
5	23,721	23,728	23,719	23,716	23,728
6	23,733	23,726	23,729	23,750	23,728
7	23,713	23,758	23,761	23,731	23,731
8	23,711	23,732	23,740	23,706	23,727
9	23,740	23,715	23,723	23,741	23,723
10	23,728	23,724	23,712	23,725	23,732
11	23,743	23,743	23,752	23,725	23,723
12	23,732	23,709	23,751	23,727	23,749
13	23,708	23,741	23,748	23,737	23,705
14	23,712	23,729	23,737	23,709	23,719
15	23,726	23,719	23,747	23,726	23,717
16	23,722	23,744	23,718	23,735	23,740
17	23,738	23,741	23,747	23,737	23,728
18	23,734	23,707	23,740	23,746	23,705
19	23,740	23,729	23,734	23,730	23,721
20	23,726	23,720	23,723	23,727	23,720

Fuente: elaboración propia elaboración propia con datos obtenidos en Bexiflon

7. Calcular los parámetros estadísticos. La Tabla 33 muestra el valor de las medias y de los rangos.

Tabla 33. Cálculo de las medias y los rangos

Día	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5	Media	Rango
1	23,753	23,729	23,736	23,731	23,751	23,740	0,024
2	23,722	23,731	23,735	23,723	23,700	23,722	0,035
3	23,749	23,713	23,711	23,733	23,773	23,736	0,062
4	23,721	23,733	23,746	23,733	23,723	23,731	0,025
5	23,721	23,728	23,719	23,716	23,728	23,722	0,012
6	23,733	23,726	23,729	23,750	23,728	23,733	0,024
7	23,713	23,758	23,761	23,731	23,731	23,739	0,048
8	23,711	23,732	23,740	23,706	23,727	23,723	0,034
9	23,740	23,715	23,723	23,741	23,723	23,728	0,026
10	23,728	23,724	23,712	23,725	23,732	23,724	0,020
11	23,743	23,743	23,752	23,725	23,723	23,737	0,029
12	23,732	23,709	23,751	23,727	23,749	23,734	0,042
13	23,708	23,741	23,748	23,737	23,705	23,728	0,043
14	23,712	23,729	23,737	23,709	23,719	23,721	0,028
15	23,726	23,719	23,747	23,726	23,717	23,727	0,030
16	23,722	23,744	23,718	23,735	23,740	23,732	0,026
17	23,738	23,741	23,747	23,737	23,728	23,738	0,019
18	23,734	23,707	23,740	23,746	23,705	23,726	0,041
19	23,740	23,729	23,734	23,730	23,721	23,731	0,019
20	23,726	23,720	23,723	23,727	23,720	23,723	0,007

Fuente: elaboración propia elaboración propia obtenidos en Bexiflon

En primer lugar, se calcula la media de las medias.

$$\bar{\bar{X}} = \frac{\sum_{i=1}^k x_i}{k} = \frac{23,740+23,722+\dots+23,731+23,723}{20} = 23,7298$$

En segundo lugar, se calcula la media de los rangos:

$$\bar{R} = \frac{\sum_{i=1}^k R_i}{k} = \frac{0,024+0,035+\dots+0,019+0,007}{20} = 0,0297$$

En tercer lugar, para el gráfico de medias, se calculan la línea central y los límites de control superior e inferior. Las fórmulas son las siguientes:

$$LC = \bar{\bar{X}} = 23,7298$$

$$LSC = \bar{\bar{X}} + A_2 \cdot \bar{R} = 23,7298 + 0,577 \cdot 0,0297 = 23,7470$$

$$LSI = \bar{\bar{X}} - A_2 \cdot \bar{R} = 23,7298 - 0,577 \cdot 0,0297 = 23,7127$$

Para $n = 5$, $A_2 = 0,577$. Fuente: American Society for Testing and Materials (Escalante 2013).

En cuarto lugar, para el gráfico de rangos, se calculan la línea central y los límites de control superior e inferior. Las fórmulas son las siguientes:

$$LC = \bar{R} = 0,0297$$

$$LSC = D_4 \cdot \bar{R} = 2,114 \cdot 0,0297 = 0,0628$$

$$LSI = D_3 \cdot \bar{R} = 0,000 \cdot 0,0297 = 0,0000$$

Para $n = 5$, $D_4 = 2,114$ y $D_3 = 0,000$.

Fuente: American Society for Testing and Materials (Escalante 2013).

Una vez calculados la línea central y los límites de control de ambos gráficos, estos sirven de referencia para la siguiente toma de datos (1^{er} mes). La Tabla 34 muestra las siguientes 100 nuevas medidas con sus medias y rangos.

Tabla 34. Medidas para los gráficos de control

Día	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5	Media	Rango
1	23,723	23,719	23,743	23,721	23,750	23,731	0,031
2	23,729	23,721	23,752	23,725	23,716	23,729	0,036
3	23,734	23,709	23,760	23,730	23,725	23,732	0,051
4	23,711	23,710	23,729	23,736	23,728	23,723	0,026
5	23,725	23,720	23,743	23,735	23,753	23,735	0,033
6	23,708	23,722	23,743	23,721	23,712	23,721	0,035
7	23,722	23,724	23,744	23,730	23,719	23,728	0,025
8	23,744	23,718	23,738	23,728	23,709	23,727	0,035
9	23,698	23,728	23,730	23,744	23,742	23,728	0,046
10	23,726	23,715	23,719	23,714	23,730	23,721	0,016
11	23,739	23,719	23,725	23,725	23,701	23,722	0,038
12	23,716	23,738	23,756	23,721	23,725	23,731	0,040
13	23,728	23,733	23,739	23,709	23,749	23,732	0,040
14	23,724	23,733	23,728	23,727	23,698	23,722	0,035
15	23,724	23,716	23,736	23,731	23,726	23,727	0,020
16	23,740	23,715	23,733	23,730	23,736	23,731	0,025
17	23,710	23,725	23,741	23,732	23,725	23,727	0,031
18	23,749	23,728	23,724	23,721	23,719	23,728	0,030
19	23,739	23,744	23,732	23,697	23,741	23,731	0,047
20	23,744	23,730	23,737	23,761	23,736	23,742	0,031

Fuente: elaboración propia elaboración propia con datos obtenidos en Bexiflon

- Representar las medias, uniéndolas mediante una línea. La Figura 50 muestra el gráfico de control de medias.

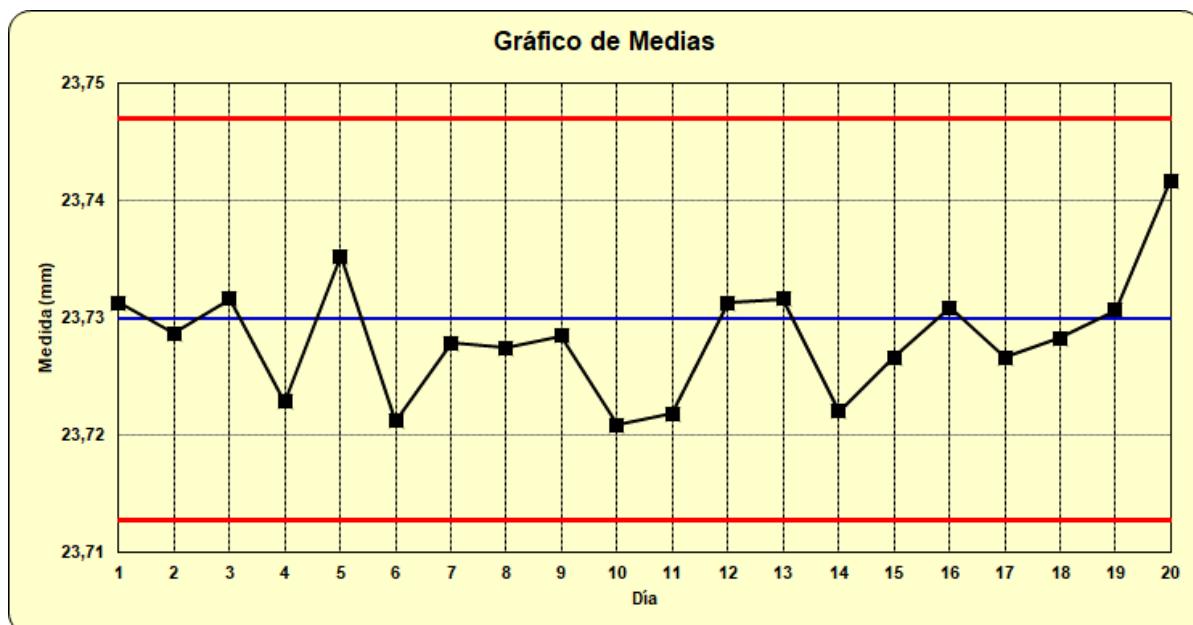


Figura 50. Gráfico de control de medias (Fuente: elaboración propia)

Se puede apreciar en el gráfico que todas las medias están dentro de los límites de control.

- Representar los rangos, uniéndolos mediante una línea. La Figura 51 muestra el gráfico de control de rangos.

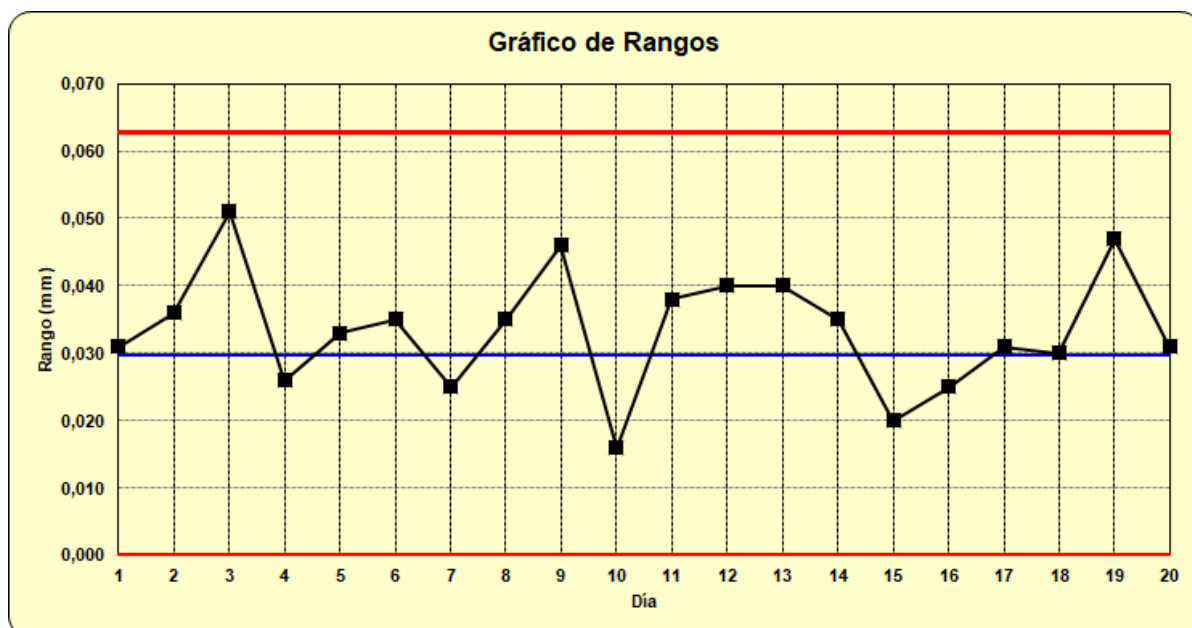


Figura 51. Gráfico de control de rangos (Fuente: elaboración propia)

Se puede apreciar en el gráfico que todos los rangos están dentro de los límites de control.

- Identificar si hay puntos fuera de los límites de control (puntos "fuera de control").

- Si existen causas especiales de variación identificadas para estos puntos, recalcular la línea central y los límites de control sin tener en cuenta los valores asociados a esos puntos.
- Si, a pesar de estar los puntos fuera de control, no existen causas especiales asignables a éstos, sus valores se mantienen para el cálculo de la línea central y los límites de control.

En resumen, analizando ambos gráficos se puede decir que el proceso está en control estadístico y, por lo tanto, que es estable y predecible.

11. Calcular nueva línea central y nuevos límites de control. Con las medidas del primer mes se calculan los parámetros para el segundo mes. Los nuevos parámetros son los siguientes.

Para el gráfico de medias:

$$LC = \bar{\bar{X}} = 23,7283$$

$$LSC = \bar{\bar{X}} + A_2 \cdot \bar{R} = 23,7283 + 0,577 \cdot 0,0335 = 23,7477$$

$$LSI = \bar{\bar{X}} - A_2 \cdot \bar{R} = 23,7283 - 0,577 \cdot 0,0335 = 23,7089$$

Para el gráfico de rangos:

$$LC = \bar{R} = 0,0335$$

$$LSC = D_4 \cdot \bar{R} = 2,114 \cdot 0,0335 = 0,0709$$

$$LSI = D_3 \cdot \bar{R} = 0,000 \cdot 0,0297 = 0,0000$$

12. Al completar las 20 medidas, recalcular la línea central y los límites de control con las nuevas medidas correspondientes a puntos en control.
 - Si los límites así calculados son más amplios que los anteriores, dejar los límites anteriores para una nueva toma de 20 medidas.
 - Si los límites calculados son más estrechos, utilizar éstos para la nueva toma de medidas.

En el presente proyecto se mantienen los parámetros calculados en el punto 7 vs. los calculados en el punto 11.

13. Seguir con el proceso mes a mes.

2. Conclusiones

Para este proyecto se puede afirmar que los gráficos de medias y de rangos muestran que el proceso está estadísticamente bajo control y por lo tanto que es estable y predecible.

3. Control estadístico del proceso con Excel

Para poder realizar el control estadístico del proceso con Excel, hacer Ctrl + clic sobre el enlace para seguir el vínculo.

<https://www.dropbox.com/s/n8sbdwqaomldfsg/VII.%20CONTROL%20ESTAD%20C3%8DSTIC%20DEL%20PROCESO.xlsx?dl=0>

4. Comparación de resultados con Minitab

A continuación, se muestran los resultados obtenidos para el presente proyecto con la aplicación estadística Minitab (Herramienta estadística, muy enfocada al análisis de datos y mejora de productos y servicios para implantar proyectos de control de calidad y Six Sigma (Seis Sigma). Se puede apreciar que los datos que suministra Minitab coinciden al 100% con los calculados anteriormente.

La Figura 52 muestra la Gráfica de medias y recorridos de Medidas_1 generada por Minitab.

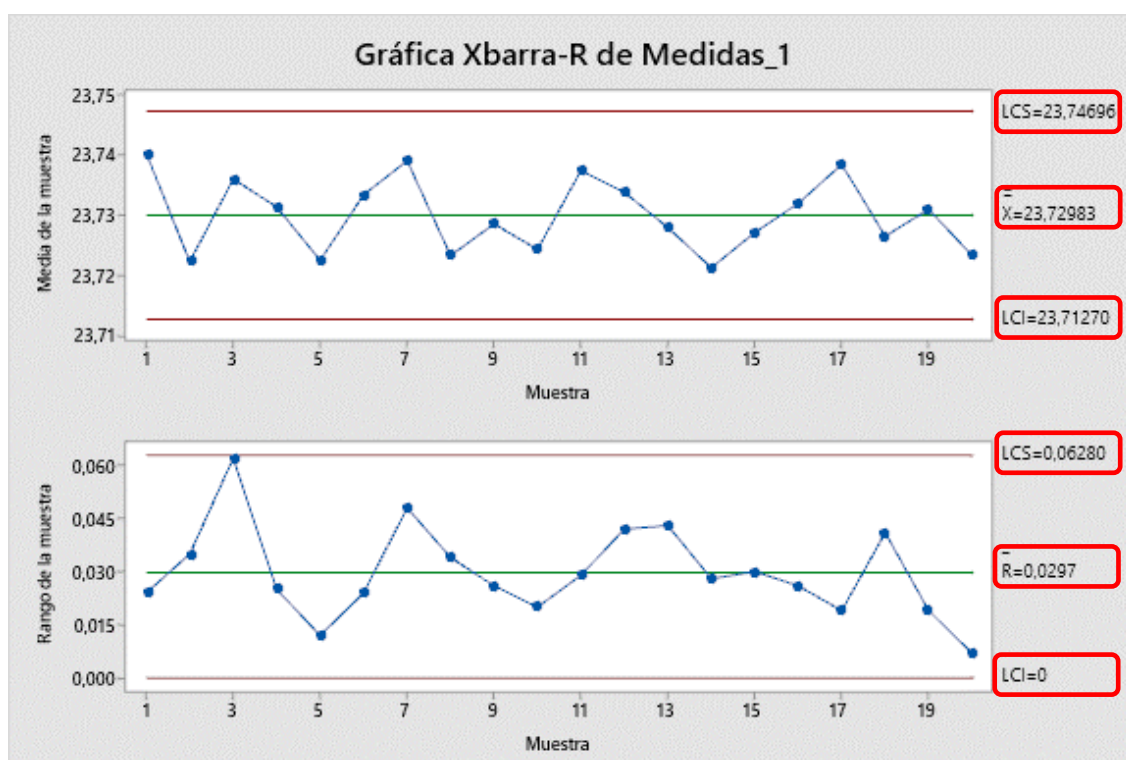


Figura 52. Gráfico de medias y recorridos de medidas_1 (Fuente: elaboración propia con Minitab)

La Figura 53 muestra la Gráfica de medias y recorridos de Medidas_2 generada por Minitab.

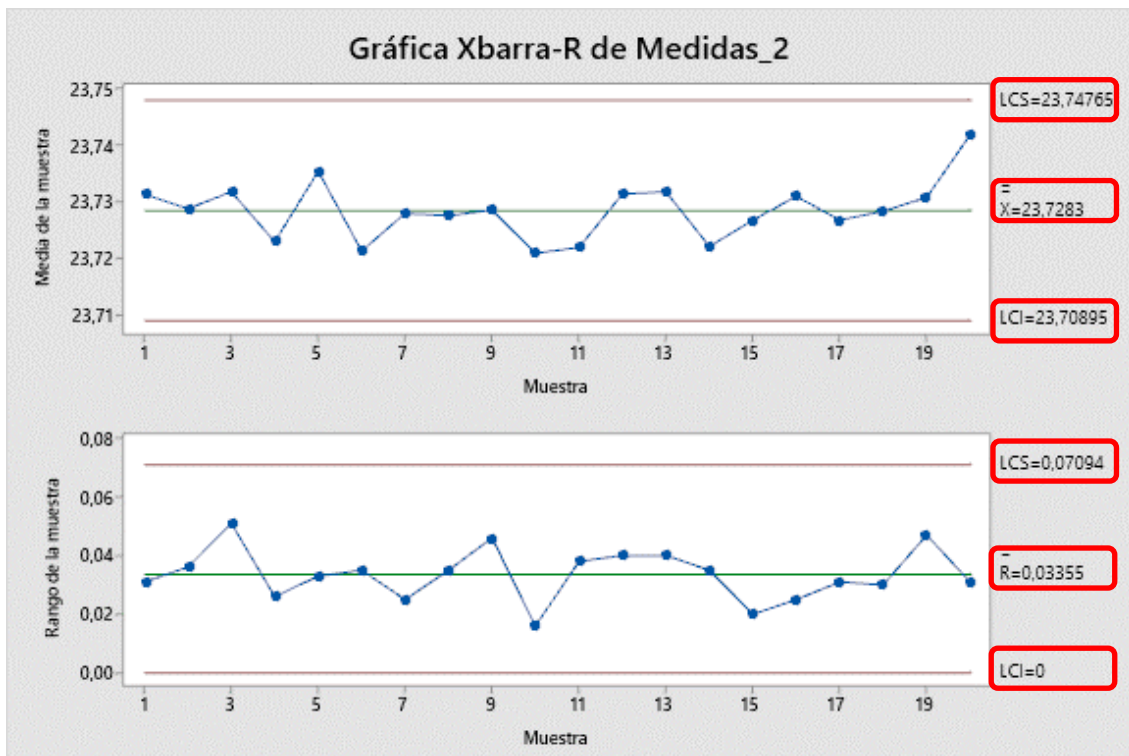


Figura 53. Gráfico de medias y recorridos de medidas_2 (Fuente: elaboración propia con Minitab)

ANEXO VIII: PLAN DE CONTROL

El procedimiento para definir un **plan de control** es el siguiente:

1. Cumplimentar los datos generales.

Incluir los datos generales que permitan identificar el documento:

- Fecha: en el presente proyecto, el **31/10/2020**.
- Producto: en el presente proyecto, la **referencia 9010618** de **Bexiflon**.
- Proceso: en el presente proyecto, el de **fabricación**.

Es crítico para el éxito del proyecto que se mantenga actualizada la revisión del **plan de control**, para que todos manejen el mismo nivel de información. En el presente proyecto, la revisión **A**.

Conforme se añadan controles al proceso, el **plan de control** se debe actualizar y modificar la revisión.

2. Recopilar la información del proceso.

- Paso del proceso: listar de los pasos del proceso que aparecen como críticos en el AMEF. En el presente proyecto, el proceso de **mecanizado**.
- ¿Qué se controla?: nombre de la variable de entrada o salida. En el presente proyecto, la **altura de la bola** (ver punto 3.1.4.)
- ¿Es un parámetro crítico?: sí o no. En el presente proyecto, **sí** es crítico (CTQ).
- Entrada/Salida: especificar si se trata de una variable de salida o, de entrada. Inicialmente puede haber más variables de salida que, de entrada; sin embargo, la meta es controlar las entradas que aseguren que las salidas estén controladas. En el presente proyecto, es la **salida** del mecanizado.

3. Describir el proceso de medida.

- Límites de especificación/Requerimientos: mostrar los límites de especificación o los valores objetivo junto con sus tolerancias. Incluir unidad de medida. En el presente proyecto, **23,68 mm y 23,78 mm**.
- Método de medida: describir el sistema de medida que será utilizado, incluyendo qué equipo se usará para realizar la medida. En el presente proyecto, se utiliza un reloj **comparador sylvac S229**.
- Lugar de medida: especificar el lugar o punto. En el presente proyecto, a la **salida del mecanizado**.
- Método de control: ¿cuál es el método de control utilizado? ¿automático? ¿control estadístico del proceso? En el presente proyecto, el **control estadístico del proceso (CEP)**.

4. Documentar el proceso de muestreo

- Tamaño de la muestra: seleccionar el tamaño de la muestra en base al sistema de medida, capacidad del proceso y coste del muestreo. En el presente proyecto, el tamaño es de **5 unidades**.
- Frecuencia del muestreo: seleccionar la frecuencia basada en el sistema de medida, capacidad del proceso, requerimientos de la operación y costes. En el presente proyecto, **una vez por turno**.
- ¿Quién/Qué hace la medida?: la persona o equipo que será responsable de tomar las medidas en la frecuencia indicada. En el presente proyecto, el **operario de mecanizado**.

5. Documentar el proceso de toma de decisiones

- ¿Dónde se registra?: en qué documento o archivo se registran y almacenan los datos, por cuánto tiempo. En el presente proyecto, en la hoja de cálculo **Datos.xlsx**.
- Regla de decisión/Acción correctiva: son las acciones que se deben implantar cuando las medidas al proceso muestran que está fuera de control. En el presente proyecto, la **Norma 012/A**.
Debe incluir en nombre de la persona responsable de llevarla a cabo. En el presente proyecto, **el responsable de fabricación**.
- N.º de documento: incluir el número de documento donde puede ser consultados los detalles de cada punto de control. En el presente proyecto, la **Norma 033/C**.

6. Cumplimentar el apartado de autorización

Es la parte más importante del plan de control, porque muestra que el proyecto ha sido "comprado" por las personas que deberán dar seguimiento a las acciones. En el presente proyecto:

- Aprobado por: **Responsable de fabricación**.
- Realizado por: **Responsable de calidad**.
- Fecha última actualización: **21/10/2020**.
- Versión: **A**.

El plan de reacción es un procedimiento que indica las actividades a realizar en caso de que exista alguna anomalía en el funcionamiento del proceso.

Dentro de este plan de reacción para que la toma de decisiones sea efectiva, deben incluir lo siguiente:

- La persona que tomará la decisión.
- La acción que debe llevarse a cabo.
- El parámetro o proceso que se debe modificar.
- El lugar en donde se documentará el cambio.
- El responsable de documentar el cambio.
- El criterio que dispara la acción.
- El criterio para escalar el tema en el organigrama.
- Los datos que respaldan dicha acción.
- Evaluación de la acción después de llevarse a cabo.
- Si se siguieron correctamente los puntos definidos.

Para finalizar este apartado, recordar al respecto de la regla de decisión lo siguiente: cuando más cercana al proceso esté la persona que toma la decisión; más efectiva será la solución.

La Figura 54 muestra el documento final del **plan de control**.

Fecha: 31/10/2020		Revisión: A												
Producto: Referencia 9010618		bexiflon												
Proceso: Fabricación														
Proceso			Proceso de medida					Proceso de muestreo			Proceso de toma de decisiones			
Paso proceso	¿Qué se controla?	Critico	Entrada Salida	Límites de especificación Requerimientos	Método de medición	Lugar	Método de control	Tamaño de muestra	Frecuencia	¿Quién o qué mide?	Dónde se registra	Regla de decisión Acción correctiva	Nº. doc	
Mecanizado	Altura de la bola	Si	Salida	23,68 mm 23,78 mm	Compador S229	Salida del mecanizado	CEP	5 unidades	1 x turno	Operario de mecanizado	Datos.xlsx	Norma 012/A R. de Fabricación	Norma 033/C	
										Aprobado por:		Responsable de fabricación		
										Realizado por:		Responsable de calidad		
										Fecha última actualización:		21/10/2020		
										Versión:		A		

Figura 54. Documento final del plan de control (Fuente: elaboración propia)

ANEXO IX: CAPACIDAD DEL PROCESO

1. Procedimiento de cálculo

Una vez que el sistema de medida es aceptable, que las medidas siguen la distribución normal y que el proceso, a través de control estadístico, está estable y es predecible, el siguiente paso consiste en calcular la capacidad del proceso.

Partiendo del segundo conjunto de datos utilizados en el Anexo VII del control estadístico del proceso, los pasos para llevar a cabo dicho cálculo son los siguientes:

1. Calcular la media, el rango y la desviación estándar de cada una de las 20 muestras. La Tabla 35 refleja las 20 muestras de 5 unidades cada una de ellas.

Tabla 35. Veinte muestras de 5 unidades

Día	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5
1	23,723	23,719	23,743	23,721	23,750
2	23,729	23,721	23,752	23,725	23,716
3	23,734	23,709	23,760	23,730	23,725
4	23,711	23,710	23,729	23,736	23,728
5	23,725	23,720	23,743	23,735	23,753
6	23,708	23,722	23,743	23,721	23,712
7	23,722	23,724	23,744	23,730	23,719
8	23,744	23,718	23,738	23,728	23,709
9	23,698	23,728	23,730	23,744	23,742
10	23,726	23,715	23,719	23,714	23,730
11	23,739	23,719	23,725	23,725	23,701
12	23,716	23,738	23,756	23,721	23,725
13	23,728	23,733	23,739	23,709	23,749
14	23,724	23,733	23,728	23,727	23,698
15	23,724	23,716	23,736	23,731	23,726
16	23,740	23,715	23,733	23,730	23,736
17	23,710	23,725	23,741	23,732	23,725
18	23,749	23,728	23,724	23,721	23,719
19	23,739	23,744	23,732	23,697	23,741
20	23,744	23,730	23,737	23,761	23,736

Fuente: elaboración propia elaboración propia con datos obtenidos en Bexiflon

Para el cálculo de la media la fórmula es la siguiente:

$$\bar{X} = \frac{X_1 + \dots + X_n}{n}$$

Para el caso de la primera muestra el resultado es el siguiente:

$$\bar{X} = \frac{X_1 + \dots + X_n}{n} = \frac{23,723 + \dots + 23,750}{5} = 23,731$$

Para el cálculo del rango la fórmula es la siguiente:

$$\text{Rango} = \text{Valor máximo} - \text{Valor mínimo}$$

Para el caso de la primera muestra el resultado es el siguiente:

$$\text{Rango} = \text{Valor máximo} - \text{Valor mínimo} = 23,743 - 23,719 = 0,031$$

Para el cálculo de la desviación estándar la fórmula es la siguiente:

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

Donde d_2 depende del número de unidades de la muestra. La Tabla 36 muestra los valores de d_2 .

Tabla 36. Valores de d_2

n	d_2
2	1,128
3	1,693
4	2,059
5	2,326
6	2,534
7	2,704
8	2,847
9	2,970
10	3,078

Fuente: American Society for Testing and Materials (Escalante 2013)

Para el caso de la primera muestra el resultado es el siguiente:

$$\hat{\sigma} = \frac{R}{d_2} = \frac{0,031}{2,326} = 0,013$$

La Tabla 37 refleja la media, el rango y la desviación estándar de las 20 muestras.

Tabla 37. Medias, rangos y desviaciones estándar

Día	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5	Media	Rango	Desviación
1	23,723	23,719	23,743	23,721	23,750	23,731	0,031	0,013
2	23,729	23,721	23,752	23,725	23,716	23,729	0,036	0,015
3	23,734	23,709	23,760	23,730	23,725	23,732	0,051	0,022
4	23,711	23,710	23,729	23,736	23,728	23,723	0,026	0,011
5	23,725	23,720	23,743	23,735	23,753	23,735	0,033	0,014
6	23,708	23,722	23,743	23,721	23,712	23,721	0,035	0,015
7	23,722	23,724	23,744	23,730	23,719	23,728	0,025	0,011
8	23,744	23,718	23,738	23,728	23,709	23,727	0,035	0,015
9	23,698	23,728	23,730	23,744	23,742	23,728	0,046	0,020
10	23,726	23,715	23,719	23,714	23,730	23,721	0,016	0,007
11	23,739	23,719	23,725	23,725	23,701	23,722	0,038	0,016
12	23,716	23,738	23,756	23,721	23,725	23,731	0,040	0,017
13	23,728	23,733	23,739	23,709	23,749	23,732	0,040	0,017
14	23,724	23,733	23,728	23,727	23,698	23,722	0,035	0,015
15	23,724	23,716	23,736	23,731	23,726	23,727	0,020	0,009
16	23,740	23,715	23,733	23,730	23,736	23,731	0,025	0,011
17	23,710	23,725	23,741	23,732	23,725	23,727	0,031	0,013
18	23,749	23,728	23,724	23,721	23,719	23,728	0,030	0,013
19	23,739	23,744	23,732	23,697	23,741	23,731	0,047	0,020
20	23,744	23,730	23,737	23,761	23,736	23,742	0,031	0,013

Fuente: elaboración propia elaboración propia con datos obtenidos en Bexiflon

2. Calcular la **media** de las 100 medidas, aplicando la fórmula siguiente:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^N X_i}{N} = \frac{23,723 + \dots + 23,736}{100} = 23,7283$$

3. Calcular la **desviación estándar a largo plazo** de las 100 medidas, aplicando la fórmula siguiente:

$$s(\text{largo}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2}{N-1}} = 0,0132585$$

4. Calcular la **desviación estándar a corto plazo** de las 20 muestras, aplicando la fórmula siguiente:

$$s(\text{corto}) = \frac{\sum_{i=1}^k \frac{R_i}{d_2}}{k} = \frac{0,288}{20} = 0,0144239$$

5. Calcular el valor de la **capacidad del proceso a largo plazo** (Pp), aplicando la fórmula siguiente:

$$Pp = \frac{LSE - LIE}{6\sigma(\text{largo})} = \frac{23,780 - 23,680}{6 \cdot 0,0132585} = 1,26$$

6. Calcular el valor de la **capacidad inferior del proceso a largo plazo** (Ppi), aplicando la fórmula siguiente:

$$Ppi = \frac{\bar{X} - LIE}{3\sigma(\text{largo})} = \frac{23,7283 - 23,680}{3 \cdot 0,0132585} = 1,21$$

7. Calcular el valor de la **capacidad superior del proceso a largo plazo** (Pps), aplicando la fórmula siguiente:

$$Pps = \frac{LSE - \bar{X}}{3\sigma(\text{largo})} = \frac{23,780 - 23,7283}{3 \cdot 0,0132585} = 1,30$$

8. Calcular el valor de la **capacidad real del proceso a largo plazo** (Ppk), aplicando la fórmula siguiente:

$$Ppk = \text{Menor} \left(\frac{\bar{X} - LIE}{3\sigma(\text{largo})}; \frac{LSE - \bar{X}}{3\sigma(\text{largo})} \right) = \text{Menor}(1,21; 1,30) = 1,21$$

9. Calcular el valor de la **capacidad del proceso a corto plazo** (Cp), aplicando la fórmula siguiente:

$$Cp = \frac{LSE - LIE}{6\sigma(\text{corto})} = \frac{23,780 - 23,680}{6 \cdot 0,0144239} = 1,16$$

10. Calcular el valor de la **capacidad inferior del proceso a corto plazo** (Cpi), aplicando la fórmula siguiente:

$$Cpi = \frac{\bar{X} - LIE}{3\sigma(\text{corto})} = \frac{23,7283 - 23,680}{3 \cdot 0,0144239} = 1,12$$

11. Calcular el valor de la **capacidad superior del proceso a corto plazo** (Cps), aplicando la fórmula siguiente:

$$Cps = \frac{LSE - \bar{X}}{3\sigma(\text{corto})} = \frac{23,780 - 23,7283}{3 \cdot 0,0144239} = 1,19$$

12. Calcular el valor de la **capacidad real del proceso a corto plazo** (Cpk), aplicando la fórmula siguiente:

$$Cpk = \text{Menor} \left(\frac{\bar{X} - LIE}{3\sigma(\text{corto})}; \frac{LSE - \bar{X}}{3\sigma(\text{corto})} \right) = \text{Menor}(1,12; 1,19) = 1,12$$

2. Conclusiones

La capacidad real a largo plazo tiene un valor de 1,21, y si se logra centrar el proceso tendría un valor de 1,26. El proceso sería capaz a expensas del valor que indique el cliente. Una vez centrado el proceso, si se quiere mejorar la capacidad habría que actuar sobre la desviación estándar del proceso para disminuir su valor.

La capacidad real a corto plazo tiene un valor de 1,12, y si se logra centrar el proceso tendría un valor de 1,16. El proceso sería capaz a expensas del valor que indique el cliente. Una vez centrado el proceso, si se quiere mejorar la capacidad habría que actuar sobre la desviación estándar del proceso para disminuir su valor.

Por ejemplo, si se quiere conseguir un valor del indicador de capacidad de 1,5 el valor de la desviación tendría que ser de 0,011111.

3. Capacidad del proceso con Excel

Para poder realizar el control estadístico del proceso con Excel, hacer Ctrl + clic sobre el enlace para seguir el vínculo.

<https://www.dropbox.com/s/1qr60wqnuvq9lxz/IX.%20CAPACIDAD%20DEL%20PROCESO.xlsx?dl=0>

4. Comparación de resultados con Minitab

A continuación, se muestran los resultados obtenidos para el presente proyecto con la aplicación estadística Minitab (Herramienta estadística, muy enfocada al análisis de datos y mejora de productos y servicios para implantar proyectos de control de calidad y Six Sigma (Seis Sigma). Se puede apreciar que los datos que suministra Minitab coinciden al 100% con los calculados anteriormente.

La Figura 55 muestra la gráfica de distribución de las medidas elaborada con Minitab.

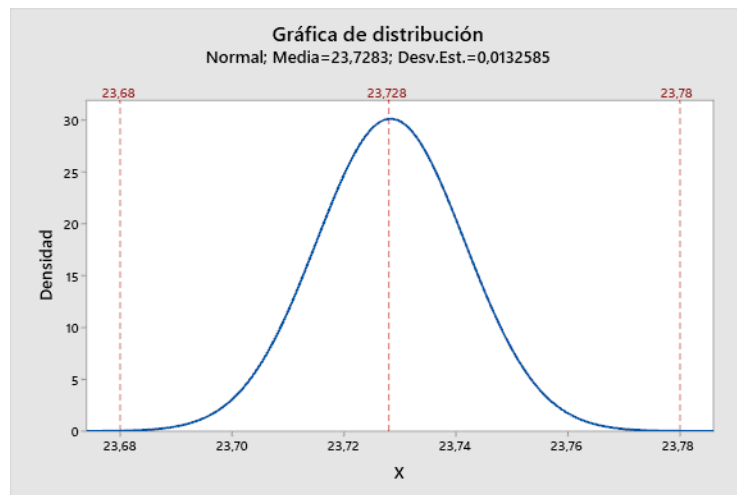


Figura 55. Gráfico de distribución de las medidas (Fuente: elaboración propia con Minitab)

La Figura 56 muestra el informe de capacidad del proceso elaborado con Minitab.

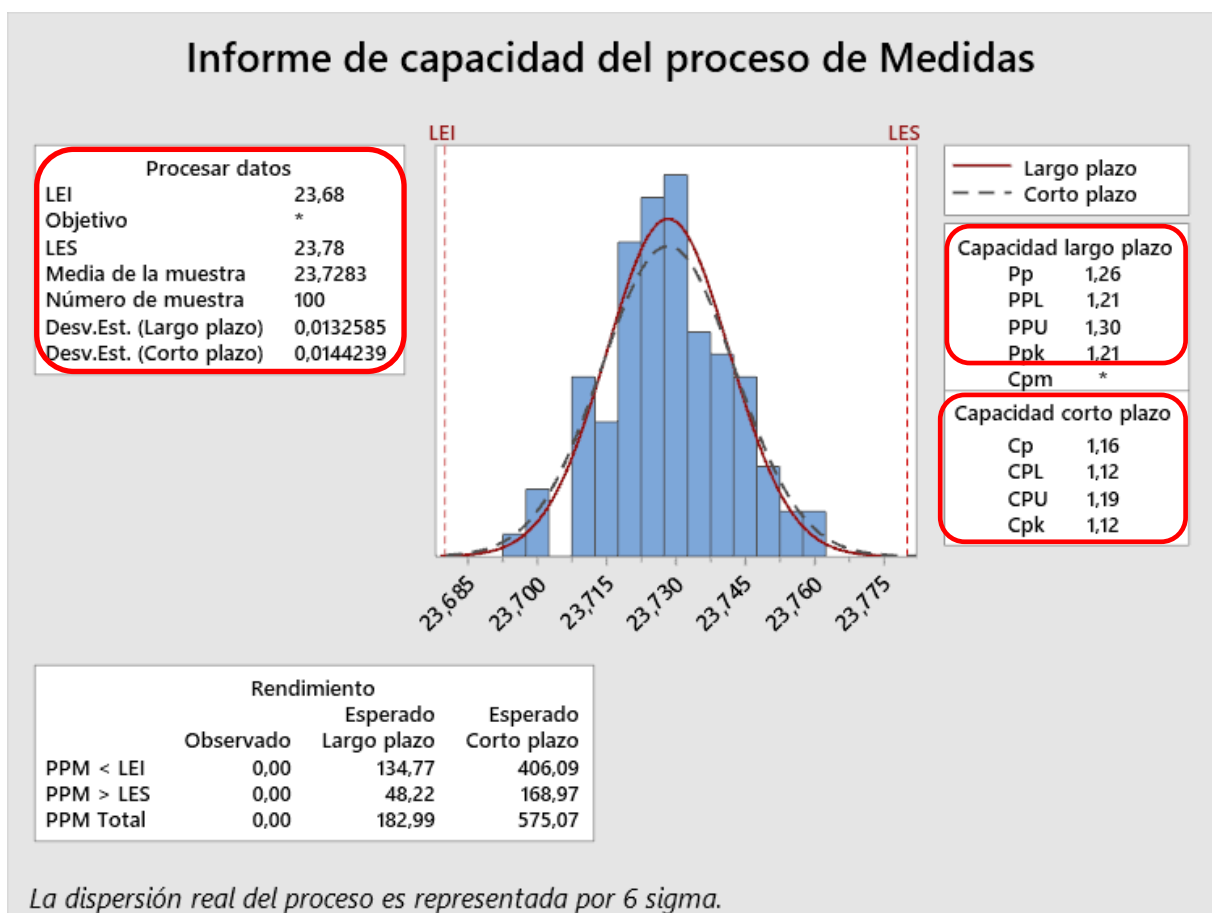


Figura 56. Informe de capacidad del proceso (Fuente: elaboración propia con Minitab)

ANEXO X: PORCENTAJE DE PRODUCTO DEFECTUOSO

1. Procedimiento de cálculo

Una vez calculados los indicadores de capacidad del proceso, el siguiente paso es calcular el porcentaje de producto defectuoso. Partiendo de la información de los cálculos anteriores, los pasos para llevar a cabo dicho cálculo son los siguientes:

1. Calcular, a largo plazo, el valor Z del límite inferior de especificación, aplicando la fórmula siguiente:

$$Z_{LIE} = \frac{\bar{X} - LIE}{\sigma} = \frac{23,7283 - 23,680}{0,0132585} = -3,64$$

También se puede hacer con la siguiente fórmula de Excel:

$$=NORMALIZACION(23,680;23,7283;0,0132585) = -3,64$$

2. Calcular, a largo plazo, el valor Z del límite superior de especificación, aplicando la fórmula siguiente:

$$Z_{LSE} = \frac{LSE - \bar{X}}{\sigma} = \frac{23,780 - 23,7283}{0,0132585} = 3,90$$

También se puede hacer con la siguiente fórmula de Excel:

$$=NORMALIZACION(23,780;23,7283;0,0132585) = 3,90$$

3. Calcular el área de la distribución normal hasta el punto -3,64 (a su izquierda). Se puede hacer con la tabla de la distribución normal o con la Excel, aplicando la fórmula siguiente:

$$=DISTR.NORM.ESTAND(-3,64) = 0,00013$$

El porcentaje de producto defectuoso que queda fuera del límite inferior es $0,00013 \times 100 = 0,013\%$. La fracción defectuosa en Partes Por Millón (PPMs) es $0,00013 \times 10^6 = 134,77$.

4. Calcular el área de la distribución normal hasta el punto 3,90 (a su izquierda). Se puede hacer con la tabla de la distribución normal o con la Excel, aplicando la fórmula siguiente:

$$=DISTR.NORM.ESTAND(3,90) = 0,99995$$

El porcentaje de producto defectuoso que queda fuera del límite superior es $(1 - 0,99995) \times 100 = 0,005\%$. La fracción defectuosa en Partes Por Millón (PPMs) es $(1 - 0,99995) \times 10^6 = 48,22$.

5. Calcular el porcentaje total fuera de especificaciones, aplicando la fórmula siguiente:

$$0,013\% + 0,005\% = 0,018\%$$

En Partes Por Millón es $134,77 + 48,22 = 182,99$

6. Calcular, a corto plazo, el valor Z del límite inferior de especificación aplicando la fórmula siguiente:

$$Z_{LIE} = \frac{\bar{X} - LIE}{\sigma} = \frac{23,7283 - 23,680}{0,0144239} = -3,35$$

También se puede hacer con la siguiente fórmula de Excel:

$$=NORMALIZACION(23,680;23,7283;0,0144239) = -3,35$$

7. Calcular, a corto plazo, el valor Z del límite superior de especificación aplicando la fórmula siguiente:

$$Z_{LSE} = \frac{LSE - \bar{X}}{\sigma} = \frac{23,780 - 23,7283}{0,0144239} = 3,58$$

También se puede hacer con la siguiente fórmula de Excel:

$$=NORMALIZACION(23,780;23,7283;0,0144239) = 3,58$$

8. Calcular el área de la distribución normal hasta el punto -3,35 (a su izquierda). Se puede hacer con la tabla de la distribución normal o con la Excel aplicando la fórmula siguiente:

$$=DISTR.NORM.ESTAND(-3,35) = 0,00041$$

El porcentaje de producto defectuoso que queda fuera del límite inferior es $0,00041 \times 100 = 0,041\%$. La fracción defectuosa en Partes Por Millón (PPMs) es $0,00041 \times 10^6 = 406,09$.

9. Calcular el área de la distribución normal hasta el punto 3,58 (a su izquierda). Se puede hacer con la tabla de la distribución normal o con la Excel aplicando la fórmula siguiente:

$$=DISTR.NORM.ESTAND(3,58) = 0,99983$$

El porcentaje de producto defectuoso que queda fuera del límite superior es $(1 - 0,99983) \times 100 = 0,017\%$. La fracción defectuosa en Partes Por Millón (PPMs) es $(1 - 0,99983) \times 10^6 = 168,97$.

10. Calcular el porcentaje total fuera de especificaciones, aplicando la fórmula siguiente:

$$0,041\% + 0,017\% = 0,058\%$$

En Partes Por Millón es $406,09 + 168,97 = 575,06$

2. Conclusiones

El porcentaje de producto defectuoso, o fuera de especificaciones, a largo plazo es del 0,018%. A corto plazo es del 0,058%. En Partes Por Millón (PPMs) es de 182,99 vs. 575,06. Si en un futuro próximo la empresa es capaz de centrar el proceso y de reducir la desviación estándar, los porcentajes de producto defectuoso o de fuera de especificaciones también mejorarán.

3. Porcentaje de producto defectuoso con Excel

Para poder calcular el porcentaje de producto defectuoso con Excel, hacer Ctrl + clic sobre el enlace para seguir el vínculo.

<https://www.dropbox.com/s/lijapp9m13792cp/X.%20PORCENTAJE%20DE%20PRODUCTO%20DEFECTUOSO.xlsx?dl=0>

4. Comparación de resultados con Minitab

A continuación, se muestran los resultados obtenidos para el presente proyecto con la aplicación estadística Minitab (Herramienta estadística, muy enfocada al análisis de datos y mejora de productos y servicios para implantar proyectos de control de calidad y Six Sigma (Seis Sigma). Se puede apreciar que los datos que suministra Minitab coinciden al 100% con los calculados anteriormente.

La Figura 57 muestra el informe de porcentaje de producto de defectuoso elaborado con Minitab.

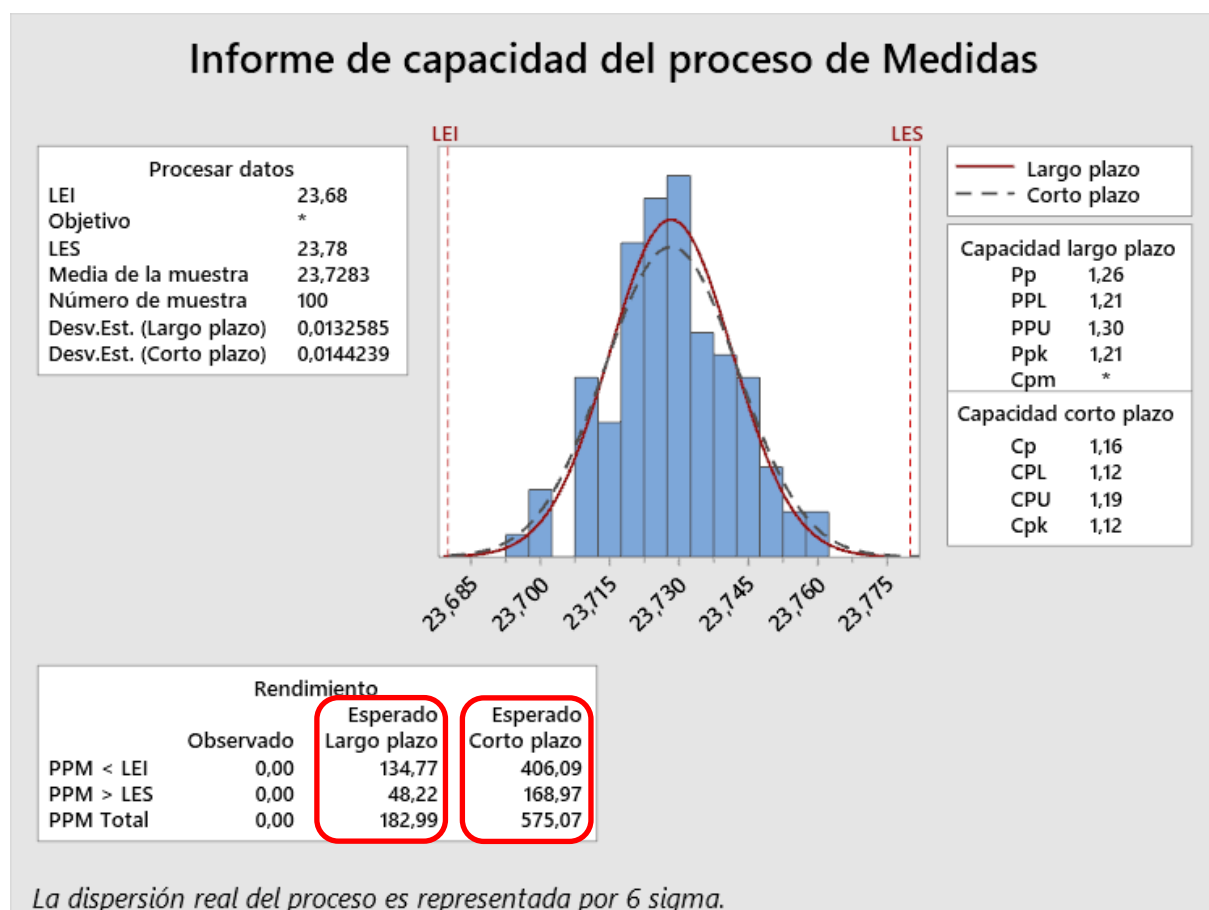


Figura 57. Informe de porcentaje de producto defectuoso (Fuente: elaboración propia con Minibab)

ANEXO XI: NIVEL SIGMA DEL PROCESO

1. Procedimiento de cálculo

Una vez calculado el porcentaje de producto defectuoso, el siguiente, y último paso, consiste en calcular el Nivel Sigma del proceso. Partiendo de la información de los cálculos anteriores, los pasos para llevar a cabo dicho cálculo son los siguientes:

1. Calcular, a largo plazo, el porcentaje dentro de especificaciones, aplicando la fórmula siguiente:

$$\% \text{ dentro de especificaciones} = 100 - \% \text{ fuera de especificaciones} = 100 - 0,018 = 99,98\%$$

2. Calcular, a largo plazo, el Nivel Sigma del proceso. Se puede hacer con la tabla de la distribución normal o con la Excel aplicando la fórmula siguiente:

$$=DISTR.NORM.ESTAND.INV(0,9998) = 3,56$$

3. Calcular, a corto plazo, el porcentaje dentro de especificaciones, aplicando la fórmula siguiente:

$$\% \text{ dentro de especificaciones} = 100 - \% \text{ fuera de especificaciones} = 100 - 0,058 = 99,94\%$$

4. Calcular, a corto plazo, el Nivel Sigma del proceso. Se puede hacer con la tabla de la distribución normal o con la Excel aplicando la fórmula siguiente:

$$=DISTR.NORM.ESTAND.INV(0,9994) = 3,25$$

2. Conclusiones

El Nivel Sigma a largo plazo es 3,56 y a corto plazo es 3,25. Este indicador permitirá a la empresa comparar los niveles sigma de diferentes procesos o incluso con procesos de otras empresas, siempre y cuando el proceso de cálculo haya sido el mismo. A medida que se mejore el proceso mejora el Nivel Sigma.

3. Nivel sigma del proceso con Excel

Para poder calcular el nivel sigma del proceso con Excel, hacer Ctrl + clic sobre el enlace para seguir el vínculo.

<https://www.dropbox.com/s/vw515xs0593rjks/XI.%20NIVEL%20SIGMA.xlsx?dl=0>

4. Comparación de resultados con Minitab

A continuación, se muestran los resultados obtenidos para el presente proyecto con la aplicación estadística Minitab (Herramienta estadística, muy enfocada al análisis de datos y mejora de productos y servicios para implantar proyectos de control de calidad y Six Sigma (Seis Sigma). Se puede apreciar que los datos que suministra Minitab coinciden al 100% con los calculados anteriormente.

La Figura 58 muestra el informe del nivel sigma del proceso elaborado con Minitab.

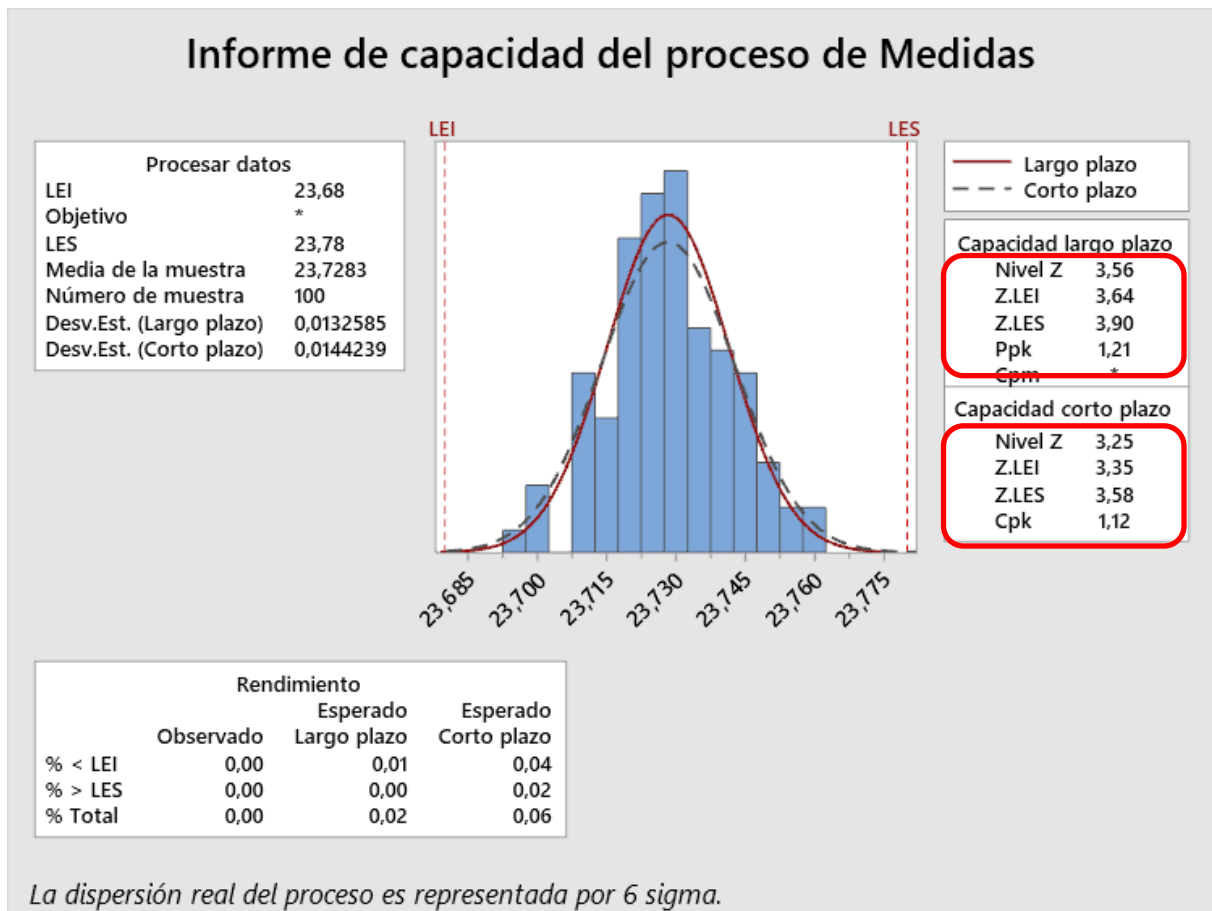


Figura 58. Informe del nivel sigma del proceso (Fuente: elaboración propia con Minibab)