



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

CAMPUS D'ALCOI

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Politécnica Superior de Alcoy

Control Estadístico de Procesos en una empresa de
extrusión de PVC

Trabajo Fin de Máster

Máster Universitario en Ingeniería de Organización y Logística

AUTOR/A: Mateos Alonso, Marcos

Tutor/a: Gisbert Soler, Víctor

Cotutor/a: Pérez Molina, Ana Isabel

CURSO ACADÉMICO: 2022/2023

RESUMEN

Una empresa dedicada a producir cantos de PVC para muebles de melamina carece actualmente de procesos normalizados de calidad del producto, lo que provoca variaciones significativas entre producciones y retos en la creación de patrones y la comunicación con el cliente. Aunque la dirección de la empresa y sus principales clientes han definido una serie de parámetros límite y es crucial abordar la ausencia de estandarización de los procesos.

La fase inicial consistió en recopilar información para establecer los límites operativos de la empresa en relación con la colorimetría del producto. A continuación, se llevó a cabo una verificación de la capacidad mediante capacitancias para evaluar la capacidad de la empresa de cumplir los requisitos especificados por el cliente.

Para garantizar la alta calidad del producto extruido final, el proceso incorpora ahora el control de la extrusión mediante pruebas piloto. Estas pruebas implican la utilización de una máquina de extrusión específica para verificar la correlación entre diferentes series de producción y sus resultados de extrusión.

Siguiendo los pasos mencionados, se seleccionaron cuidadosamente las herramientas de calidad esenciales y se definieron las correspondientes plantillas de recogida de datos. Además, se realizaron simulaciones para garantizar la competencia en la utilización de cada herramienta. Posteriormente, se formuló y aplicó en toda la empresa un plan de acción de calidad integral.

Palabras clave: PVC, colorimetría, calidad, gráficos de control, variables, atributos, estadística.

ABSTRACT

The company dedicated to producing PVC edges for melamine furniture currently lacks standardized product quality processes, leading to significant variations between productions and challenges in pattern creation and customer communication. While the company's management and key clients have defined a set of limit parameters, addressing the absence of process standardization is crucial.

The initial phase involved gathering information to establish the company's operational limits regarding product colourimetry. Following that, capacity verification was conducted using capacitances to assess the company's ability to meet the specified client requirements.

To ensure the high quality of the final extruded product, the process now incorporates extrusion control through pilot tests. These tests involve utilizing a dedicated extrusion machine to verify the correlation between different production runs and their extrusion outcomes.

Following the abovementioned steps, the essential quality tools were carefully selected, and the corresponding data collection templates were defined. Additionally, simulations were conducted to ensure proficiency in utilizing each tool. Subsequently, a comprehensive quality action plan was formulated and implemented throughout the company.

Keywords: PVC, colorimetry, quality, control chart, variables, attributes, statistics.

GLOSARIO

CAUSA ASIGNABLE: Factor esporádico que desestabiliza el sistema y que es fácilmente identificable y corregible. (Gisbert Soler, 2022)

CAUSA COMÚN: Es inevitable e inherente al proceso, aleatoria y no se corrige fácilmente. (Gisbert Soler, 2022)

MILÍMETRO (mm): “Unidad de longitud equivalente a la milésima parte de un metro”. (Real Academia Española, 2017)

NCA (NIVEL DE CALIDAD ACEPTABLE): “Es el máximo porcentaje defectuoso que, a los fines de la inspección, puede considerarse satisfactorio como media del proceso” (Juran & Gryna, 1993). Es la calidad mínima que se puede aceptar.

RIESGO DEL CONSUMIDOR (β): “Probabilidad de que un lote “malo” sea aceptado por el plan de muestreo. Este riesgo se establece en conjunción con una definición numérica de la calidad rechazable, tal como el porcentaje de unidades defectuosas toleradas en el lote (PDTL)”. (Juran & Gryna, 1993)

RIESGO DEL PROVEEDOR (α): “Probabilidad de que un “buen” lote sea rechazado por el plan de muestreo. Este riesgo se establece en conjunción con la definición numérica de un máximo nivel de calidad que puede alcanzarse con el plan, habitualmente llamado nivel de calidad aceptable (NCA)”. (Juran & Gryna, 1993)

ESPACIO DE COLOR CIELAB: “Un espacio de color es una manera de expresar el color de un objeto utilizando algún tipo de anotación, así como los números. El espacio de color $L^*a^*b^*$ fue diseñado en base a una teoría de color oponente que establece que dos colores no pueden ser rojo y verde a la vez, o amarillo y azul al mismo tiempo. Por tanto, L^* indica la Luminosidad, y a^* y b^* son las coordenadas cromáticas.” (Konica Minolta, 2023)

Índice de contenido

1	Introducción.....	8
2	Planteamiento del problema	10
3	Objetivos.....	11
3.1	Objetivo general.....	11
3.2	Objetivos específicos	11
4	Generalidades del sector	12
4.1	Historia del canto de PVC.....	12
4.2	Descripción de la empresa.....	12
5	Marco de referencia	14
5.1	Control Estadístico de la Calidad	14
5.2	Definición operativa de defecto	14
5.3	Variabilidad de los procesos	15
5.4	Gráficos de control.....	16
5.4.1	Gráficos de control por variables.....	16
5.4.2	Gráficos de control por atributos	18
5.4.3	Señales fuera de control	20
5.5	Muestreo para aceptación o rechazo	21
5.5.1	Clasificación según el número de muestras	21
5.5.2	Clasificación según la clase de inspección	22
5.6	Capacidad real de proceso.....	23
5.7	Índice de correlación lineal de los procesos	24
6	Metodología.....	26
6.1	Análisis de metodologías	26
6.2	Metodología empleada.....	26
6.2.1	Fase 1: Conocer proceso de producción de los cantos de PVC	26
6.2.2	Fase 2: Identificar etapas de inspección del proceso a ser analizadas con ayuda de la definición operativa de defectos	27
6.2.3	Fase 3: Seleccionar herramientas de control estadístico	27
6.3	Limitaciones	28
7	Control estadístico de la calidad en el proceso de extrusión de cantos de PVC.....	29
7.1	Proceso de extrusión del canto.	29

7.1.1	Diagrama de procesos	29
7.1.2	Equipos y tecnología involucradas.....	33
7.2	Definición operativa de defectos y etapas de inspección del proceso	34
7.2.1	Definición operativa de defecto	34
7.2.2	Etapas de inspección del proceso	37
7.3	Herramientas de control estadístico	39
7.3.1	Herramientas de control estadístico	39
7.3.2	Uso de herramientas de calidad	47
7.3.3	Diseño de planes de acción.....	54
8	Discusión de resultados	59
8.1	Resultados Fase 1.....	59
8.2	Resultados Fase 2.....	59
8.3	Resultados Fase 3.....	60
9	Conclusiones y recomendaciones.....	61
	Bibliografía	63
	Anexos.....	¡Error! Marcador no definido.

Índice de tablas

Tabla 1: Equipos y herramientas utilizadas en el proceso productivo	33
Tabla 2: Tecnología y software utilizados en el proceso	34
Tabla 3: Variables y atributos a inspeccionar en los insumos o materias primas	37
Tabla 4: Etapa y herramienta de control de calidad por defecto	39
Tabla 5: Plantilla de recolección de datos para el control de los insumos para el Responsable de Calidad 41	
Tabla 6: Plantilla de recolección de datos para el control del producto final en producción.....	42
Tabla 7: Límites de control para el gráfico “ \bar{x} -R” del defecto “desviación de color unicolores”	44
Tabla 8: : Límites de control para el gráfico “ \bar{x} -R” del defecto “desviación de color decorados” ..	45
Tabla 9: Inspección por muestreo para el defecto “colorimetría granza”	48
Tabla 10: Análisis de capacidad canto unicolor	49
Tabla 11: Análisis de capacidad canto decorado	50
Tabla 12: Análisis de correlación lineal.....	51
Tabla 13: Calendario de calibraciones y mantenimiento de equipos.....	57

Índice de ilustraciones

Ilustración 1: Reglas de cambio de nivel de inspección.....	23
Ilustración 2: Diagrama de procesos canto PVC	32
Ilustración 3: Instrumentos de medición empleados en el proceso	36
Ilustración 4: Gráfico de medias “ \bar{x} -R” para el defecto “colorimetría de canto unicolor”	44
Ilustración 5: Gráfico de recorridos “ \bar{x} -R” para el defecto de “colorimetría de canto unicolor”	45
Ilustración 6: Gráfico de medias “X-R” para el defecto de “colorimetría de canto decorado”	46
Ilustración 7: Gráfico de recorridos “X-R” para el defecto de “colorimetría de canto decorado”	46
Ilustración 8: Gráfico de medias “ \bar{x} -R” para el defecto “colorimetría de canto decorado.....	53
Ilustración 9: Gráfico de recorridos “ \bar{x} -R” para el defecto de “colorimetría de canto decorado”	54

Índice de ecuaciones

Ecuación 1 Límite Superior – Gráfico de promedios “ $x-R$ ”	16
Ecuación 2 Límite Central – Gráfico de promedios “ $x-R$ ”	16
Ecuación 3 Límite Inferior – Gráfico de promedios “ $x-R$ ”	16
Ecuación 4 Límite Superior – Gráfico de recorridos “ $x-R$ ”	17
Ecuación 5 Límite Central – Gráfico de recorridos “ $x-R$ ”	17
Ecuación 6 Límite Inferior – Gráfico de recorridos “ $x-R$ ”	17
Ecuación 7 Límite Superior – Gráfico de promedios “ $x-S$ ”	17
Ecuación 8 Límite Central – Gráfico de promedios “ $x-S$ ”	17
Ecuación 9 Límite Inferior – Gráfico de promedios “ $x-S$ ”	17
Ecuación 10 Límite Superior – Gráfico de desviaciones estándar “ $x-S$ ”	17
Ecuación 11 Límite Central – Gráfico de desviaciones estándar “ $x-S$ ”	18
Ecuación 12 Límite Inferior – Gráfico de desviaciones estándar “ $x-S$ ”	18
Ecuación 13 Límite Superior – Gráfico “ np ”	18
Ecuación 14 Límite Central – Gráfico “ np ”	18
Ecuación 15 Límite Inferior – Gráfico “ np ”	18
Ecuación 16 Límite Superior – Gráfico “ p ”	18
Ecuación 17 Límite Central – Gráfico “ p ”	19
Ecuación 18 Límite Inferior – Gráfico “ p ”	19
Ecuación 19 Límite Superior – Gráfico “ c ”	19
Ecuación 20 Límite Central – Gráfico “ c ”	19
Ecuación 21 Límite Inferior – Gráfico “ c ”	19
Ecuación 22 Límite Superior – Gráfico “ u ”	19
Ecuación 23 Límite Central – Gráfico “ u ”	20
Ecuación 24 Límite Inferior – Gráfico “ u ”	20
Ecuación 25 Límite índice inferior de capacidad	24
Ecuación 26 Límite índice superior de capacidad	24
Ecuación 27: Índice de correlación lineal	25

1 Introducción

Los muebles de melamina son una gran alternativa a los muebles de manera convencional, puesto que poseen una gran durabilidad y versatilidad. Esta popularidad se debe en parte a la combinación de materiales como el PVC y el ABS, que les otorgan a los muebles de melamina una resistencia y un acabado superior.

El PVC y el ABS son plásticos duros que se utilizan comúnmente en la fabricación de productos como tuberías, accesorios para el baño, juguetes y muebles. Estos materiales se fabrican agregando compuestos químicos a una mezcla plástica. Esta mezcla proporciona resistencia a la humedad, resistencia a los golpes y dureza al material. Además, el PVC y el ABS son materiales de baja densidad, lo que los hace ideales para su empleo en muebles ya que los hacen más ligeros y livianos. (Maderame, 2023)

El uso del PVC en los muebles de melamina confiere a estos muebles una resistencia superior a la humedad, a la luz solar y a los golpes. Esto significa que los muebles de melamina tendrán una mayor durabilidad y resistencia al desgaste. Además, proporciona un acabado robusto al mueble y un aspecto moderno y elegante.

Otra ventaja de los cantos de PVC es que son fáciles de limpiar y debido a su bajo nivel de corrosión no hay que preocuparse por el desgaste causado por la limpieza. Estos cantos también son resistentes a manchas y no absorben los líquidos, por lo que tampoco adquieren olores desagradables. (Interiores y cocinas, 2023)

Cabe destacar que las empresas productoras de las melaminas no son las mismas que producen o fabrican los cantos. Por lo tanto, el ajustar los cantos a los tableros supone una tarea de gran complejidad, al mismo tiempo que permite generar múltiples configuraciones del producto o incluso crear productos personalizados a las necesidades y gustos de los consumidores.

En conclusión, el uso de cantos de PVC en los muebles de melamina ofrece multitud de beneficios y se adapta a las necesidades actuales de los consumidores. Es por ello, que cada vez más personas están optando por utilizar este tipo de muebles para sus hogares.

La empresa estudiada en el siguiente informe es considerada como una de los mayores fabricantes de cantos de PVC de España cubriendo anualmente una superficie en metros de producto anuales superior a la distancia que existe entre Alicante y Madrid.

Pese a ser líderes nacionales en el sector, en el momento actual no posee estandarizado el proceso de análisis de calidad. Sin embargo, poseen certificaciones de años anteriores de calidad que no han podido renovar con el paso de los años. Cabe destacar el alto nivel de profesionalidad de sus operarios que, pese a la falta de estandarización del proceso de calidad del producto, tienen en cuenta los objetivos de la empresa y han estado guiando esta a la mejora de los productos sin conocimientos básicos sobre calidad, pero velando por obtener las mejores producciones posibles. Por todo ello, no se tiene conocimiento de la calidad real que se puede ofrecer a los clientes y por lo tanto deberían elaborarse los límites de control del proceso de extrusión, destacando sobre todo en términos de colorimetría.

Debido a esto, el Control Estadístico de la Calidad posee un papel muy importante y es considerado como una herramienta muy útil de obtención de información, ya que permite verificar si las distintas etapas productivas cumplen tanto con las exigencias del cliente como con las propias de la empresa y ayuda a cumplirlas, siendo por lo tanto capaz el proceso. Con el siguiente informe, se busca aplicar

dicho concepto en la empresa estudiada, en la que además de estandarizar el proceso, se controle la calidad de los productos, de tal manera que otras personas puedan llegar a la empresa y ser capaces de desarrollar su trabajo de manera correcta y poseer un criterio sobre lo que es bueno o malo en cuestión de calidad colorimétrica, obteniendo productos con altos estándares de calidad y continuar con el control interno de calidad.

La metodología empleada para la estandarización será la medición colorimétrica empleando el espacio de color CIELAB a partir de las muestras de producciones, a partir de las cuales se procederá a establecer los límites de control viables para la maquinaria y sistema empleado en la actualidad en la empresa y comprobación de la capacidad de la empresa de cumplir con las especificaciones del cliente. A mayores, también se realizará una verificación de la correlación existente entre una máquina extrusora de pequeño tamaño, que puede servir para hacer pruebas a menor escala tanto de las coloraciones de las materias primas recibidas por parte de los proveedores, como de las mezclas de colores para verificar la colorimetría que se va a obtener con las extrusoras de mayor tamaño antes de comenzar a extrusionarla.

En caso de llegarse a implementar el proyecto propuesto, esto impactaría positivamente sobre la calidad tanto presente como futura ya que se puede verificar previamente a la producción la colorimetría de las futuras producciones y de este modo obtener productos más estandarizados y con menor riesgo de sufrir desviaciones no deseadas y por tanto de conseguir una mejor adaptación a los requerimientos del cliente. Así mismo, con la implementación del sistema de control de calidad, busca conseguir una reducción de los desperdicios producidos como merma de no calidad de producto. Este objetivo está en correlación con lo establecido según la agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), más específicamente con el de establecer una producción y consumo responsables (ODS 12). Al ser el material de producción el PVC, esta reducción de las mermas supondrá una reducción de desechos plásticos, lo que tendrá una repercusión positiva, siendo esta una acción por el clima (ODS 13) al reducir la huella de carbono de la empresa.

Se puede considerar que, al aplicarse el Control Estadístico en la determinación de los límites de colorimetría y establecer una correlación entre las máquinas, se aplican conocimientos adquiridos en el máster y se visualizan más claramente conceptos como: tolerancias del cliente, calidad, criterios de aceptación y rechazo, riesgo del proveedor y riesgo del comprador entre otros.

Finalmente, el proyecto va a documentar, establecer e implementar los límites de control de calidad para la colorimétrica del producto. Esto tendrá una repercusión positiva en el desempeño de la empresa y sobre todo de los trabajadores, ya que trabajarán sobre valores reales y específicos para las características propias tanto de las maquinarias empleadas, como de los materiales, aumentando la capacidad productiva y a la satisfacción del cliente final.

2 Planteamiento del problema

Los muebles de melamina son una tendencia que se revalorizó recientemente. Esta materia prima es de hecho una forma de plástico muy resistente y versátil. Por lo tanto, son perfectos para aquellos que buscan combinar estilo y funcionalidad. Son ligeros, resistentes a la humedad y económicos. Si bien los muebles de madera natural pueden ser caros, los de melamina le permiten ahorrar dinero sin comprometer el estilo. Los muebles de melamina están disponibles en una gran variedad de colores y estilos, lo que les permite adaptarse a todos los estilos de decoración. Esto, repercute de manera directa a los cantos de PVC, ya que el mercado de estos productos ha presentado un aumento y puede continuar creciendo en los próximos años debido a los altos costes de los muebles de mejor calidad y la facilidad de montaje que tienen los de melamina. Sin embargo, al estar hablando de polímeros plásticos es posible que de cara a un futuro se busque algún tipo de material sustitutivo de estos plásticos para reducir la contaminación.

Cabe destacar que esta moda de muebles pese a que en Europa ya ha llegado a un punto cumbre de consumo, en los últimos años se ha visto aumentada en gran medida la demanda de estos en países latinoamericanos. Siendo, por lo tanto, un gran nicho comercial que se puede explotar. Sin embargo, debido a los costes de transporte y aduanas los beneficios se ven reducidos significativamente si se quiere ser competitivo con respecto a otros países. Esto hace que los controles de calidad a la hora de exportar los materiales sean mucho más exigente y estricto, ya que una reclamación en estos países puede suponer la pérdida de todo el beneficio obtenido de la venta o incluso generar pérdidas a la empresa.

Debido a este gran nicho de mercado, se detecta la necesidad de estandarizar el proceso, para poder contar la calidad con ayuda de los trabajadores que colaboren en el proceso de calidad. Para ello se les debe formar y capacitar adecuadamente para que hagan sus labores con los estándares de calidad que se definan y adquieran autonomía para poder tomar decisiones críticas en momentos en los que los responsables de dicha sección no se encuentran en planta debido a los horarios de producción de 24h durante cinco días de la semana. Adicionalmente, se requiere que el proceso de control de calidad de las materias primas e insumos, se realice de forma rigurosa y de acuerdo a la metodología apropiada para el sector de estudio.

Las situaciones mencionadas con anterioridad demuestran los problemas y dificultades que se tienen en cuanto al control de calidad, más específicamente con respecto a la colorimetría de los cantos plásticos de PVC en la empresa y se desea establecer un plan de acción para la aplicación de herramientas de control estadístico y estandarización en el proceso mencionado. De este modo y parejo a este proyecto, se busca también mantener la documentación y registros necesarios para volver a conseguir la certificación de calidad y de este modo demostrar al cliente la seriedad de la empresa y generar una confianza para que sigan trabajando con nosotros o nos elijan frente a la competencia.

Por lo tanto, debemos hacernos la siguiente pregunta: ¿cuál es la mejor manera de controlar la calidad tanto de las materias primas como de los productos finales para garantizar el cumplimiento de los estándares con respecto a la colorimetría del canto de PVC?

3 Objetivos

3.1 Objetivo general

Aplicar el control estadístico de la calidad al proceso producción de cantos de PVC desde el punto de vista de la colorimetría con el fin de mejorar la calidad, evitar el rechazo de productos, reducir la cantidad de desperdicios y reprocesos, para así entregar al cliente final, productos estandarizados y con las especificaciones de color requeridas y cumpliendo con todos los parámetros visuales con los que fueron diseñadas las muestras aceptadas por el cliente.

3.2 Objetivos específicos

- Conocer los límites internos de calidad sobre los que puede trabajar la empresa mediante una metodología Six-sigma.
- Determinar la capacidad real de la empresa, para verificar que los límites establecidos y garantizados por la empresa se pueden cumplir ya que se han asegurado valores de colorimetría sin haber realizado un control interno de capacidad.
- Establecer una correlación colorimétrica entre la maquinaria empleada para la extrusión del producto a gran escala con respecto de maquinaria de menor tamaño que se puede emplear para la realización de pruebas previas a la extrusión.
- Seleccionar herramientas de control estadístico y diseñar un plan de acción para abordar y tratar las variabilidades en la etapa de inspección.

4 Generalidades del sector

4.1 Historia del canto de PVC

El perfil de PVC es un material de construcción que se utiliza para crear estructuras, como marcos de puertas y ventanas, revestimientos de paredes y techos, y para proteger cables y tuberías. La historia del perfil de PVC se remonta a la década de 1830, cuando se descubrió. Pero no es hasta un siglo después que se le encuentra una utilidad y se comenzó a producir masivamente el polvo de polivinilo cloruro (PVC). Durante las décadas siguientes, el PVC se utilizó principalmente en la fabricación de productos como tubos de agua, cables y productos de revestimiento.

Fue hasta la década de 1960 cuando se comenzó a utilizar el PVC para fabricar perfiles de construcción. Este material se convirtió en una alternativa popular a los materiales de construcción tradicionales, como la madera y el aluminio, debido a sus ventajas, como su resistencia a la humedad, la corrosión y la intemperie, su ligereza y su facilidad de procesamiento. (Soluvent, 2023)

Desde entonces, la perfilería de PVC ha evolucionado y se ha perfeccionado para adaptarse a las necesidades de la industria de la construcción. Hoy en día, el perfil de PVC se utiliza ampliamente en la construcción de viviendas, edificios comerciales, infraestructuras y otros proyectos de construcción.

Para la industria del mueble los cantos de PVC no sólo confieren un poder decorativo y visual a los muebles. Son una protección contra arañazos y humedades que protege el tablero de melamina y que al mismo tiempo se mimetiza con el acabado general del mueble, para generar una imagen continua y fluida de la pieza, ya que se busca simular fielmente el color, diseño y textura de las partes visibles del mueble. (Excelencia en PVC, 2023)

La empresa analizada posee una trayectoria profesional con más de 25 años en el sector ha alcanzado un nivel de excelencia en la fabricación de este producto. Destacando por trabajar de manera continua con tecnologías avanzadas de la extrusión de plástico e innovando en sus sistemas productivos.

4.2 Descripción de la empresa

Por motivos de privacidad no se mencionará el nombre de la empresa sobre la que se ha realizado el estudio de calidad. La empresa es una de las líderes nacionales en producción de canto plástico de PVC, caracterizada por su gran capacidad de adaptación a las necesidades de los clientes y personalización del producto ya que produce tanto cantos unicolores como decorados. Además, también posee gran variedad de poros, con los que puede aportar textura al producto para ajustarlo aún más al tablero que se desea. Esto hace que en la empresa se trabaje con una gran cantidad de combinaciones y muestras distintas.

De acuerdo con lo indicado por el CEO y los responsables de marketing de la empresa, la empresa destaca puesto que son “especialista en crear contratipos que encajen milimétricamente con los nuevos diseños de tableros de melamina, fabricarlos y servirlos al gusto del cliente”.

Los cantos de PVC ofrecen:

- **Dureza:** creando una capa protectora de material plástico a los bordes de nuestros tableros.
- **Acabado estético:** pese a que el plástico posee un brillo natural, este se puede modificar con la aplicación de diferentes barnices haciendo que el producto se ajuste casi perfectamente a la madera que se quiere imitar.

- **Impermeables:** convirtiéndolo en el componente ideal para muebles de baño y cocina.
- **Estanqueidad al material:** si se trata de manera correcta se puede conseguir la eliminación de las juntas consiguiendo un efecto uniforme.
- **Resistencia:** haciendo que el producto pueda durar años sin perder sus características físicas y estéticas, manteniendo unas propiedades necesarias para resistir el paso del tiempo.

5 Marco de referencia

5.1 Control Estadístico de la Calidad

El Control estadístico es definido según la bibliografía empleada para la realización de este trabajo como “técnica estadística de análisis secuencial de datos con la que se puede ver, de forma rápida y gráficamente, cuánto se aparta una unidad de producto de un estándar previamente establecido, determinando el valor aceptable o inaceptable de tal desviación. Estos gráficos de control permiten monitorizar en forma continua las diferencias acumuladas de una característica cualitativa de un proceso determinado” (Vírveda, 2011).

Para aplicar de manera técnica del sistema de control estadístico primeramente debemos estudiar y evaluar las posibles variables que afectan al proceso productivo, puesto que es en esto en lo que nos vamos a fundamentar a la hora de la realización del estudio.

5.2 Definición operativa de defecto

Según la Real Academia Española (RAE), se puede definir defecto como “la falta derivada de la infracción de la observancia de las normas procesales en una causas, que puede llevar a nulidad de las actuaciones” (RAE, 2023) o también como “Imperfección en algo o en alguien” (RAE, 2023). Es decir, se considera defecto todo aquel carácter que se salga de lo establecido como aceptado o adecuado con respecto al producto estandarizado y que conlleve una posible no aceptación por parte del consumidor o cliente por una posible de funcionalidad o características propias y necesarias para su correcto empleo. Estas características específicas del producto o de funcionalidad se encuentran especificadas dentro de la ficha técnica del producto y acordadas previamente con el cliente o bien estar intrínsecas en las necesidades básicas del mismo.

Podemos diferenciar varios tipos de defectos:

- **Defectos críticos:** “Son aquellos que hacen inservible o no apto el producto para el consumidor debido a:
 - El producto no cumple con la función para el que ha sido diseñado o destinado.
 - El producto es potencialmente peligroso para la salud del consumidor.
 - El producto no cumple alguna especificación que pudiera considerarse como fraudulenta para el consumidor.
 - El producto contraviene algún tipo de legislación vigente.” (Miró Albero & Gisbert Soler, 2007)

Consideraremos defecto crítico de color cuando el canto no pueda ser decorado para solventar el problema de la coloración para ajustarlo a la necesidad del cliente y por tanto deberá ser tomado como desperdicio y desechado del ciclo productivo.

- **Defectos mayores:** “Son aquellos que, no siendo críticos, reducen considerablemente la aptitud para el uso (o para la venta) del producto que los posee”. (Miró Albero & Gisbert Soler, 2007).

Consideramos defectos mayores todos productos que van con una desviación de color superior a la permitida por los límites de color establecidos pudiéndose percibir a simple

vista. Sin embargo, este defecto se puede solventar mediante la decoración y por tanto el material no debe ser desechado como desperdicio.

- **Defectos menores:** “Son aquellos que no son importantes por sí mismos, pero una acumulación de ellos podría hacer no apto el uso o venta del producto”. (Miró Alberó & Gisbert Soler, 2007)

Consideramos defecto menor todos los productos que posean una desviación colorimétrica con respecto del patrón, pero que se encuentra dentro del rango de aceptación del cliente. Por lo tanto, no será necesario realizar ningún tipo de decoración para eliminar el defecto. Sin embargo, si este defecto se junta con otros también menores puede producir que el producto final sea rechazado.

En la actualidad, el criterio más crítico que considera la empresa es el de la colorimetría, puesto que si los valores de esta no son los correctos el cliente considera el mismo no cumple con las funciones o con lo acordado con el cliente, ya que si se ha acordado dar un material unicolor, entregar uno decorado supone, aunque una manera de no desperdiciar producciones, un coste que no está asumido en los costes de venta.

5.3 Variabilidad de los procesos

Cuando se fabrican varios productos de una misma referencia, es muy difícil que estos sean siempre idénticos entre sí, ya que siempre se producirán pequeñas diferencias que los hagan únicos, aunque la producción se encuentre bajo control. Estas variabilidades pueden ocasionar que se generen productos no conformes o incluso que no cumplan con las especificaciones del cliente. Por lo tanto, las empresas lo que buscan es minimizar en la medida de lo posible estas variabilidades y asegurando que estas variaciones de manera interna sean menores que las que el cliente está dispuesto a aceptar, asegurando la aceptación del producto por parte del cliente. (Gisbert Soler, 2022)

Las variaciones del proceso anteriormente mencionadas, se pueden clasificar como:

- **Comunes:** “Son inevitables e inherentes al proceso, actuando cada una de ellas de forma insignificante y dando como resultado una variación aleatoria, muy difícil de corregir
 - Aparecen en muchos instantes.
 - Son estables.
 - Pueden ser previstas.
 - Son debidas a muchas fuentes pequeñas.” (Gisbert Soler, 2022)
- **Asignables:** “También llamadas esporádicas, son fácilmente detectables y corregibles, ya que se asignan a una o varias causas concretas.
 - Aparecen en instantes aislados.
 - Pueden ser irregulares.
 - Son imprevisibles.
 - Son debidas a pocas fuentes importantes.
 - Reaparecen si no se toman medidas correctivas.
 - Se corrigen mediante actuaciones locales.” (Gisbert Soler, 2022)

5.4 Gráficos de control

En base a lo estudiado en la asignatura de Control Estadístico de la Calidad en el Máster de Ingeniería de Organización y Logística, impartido por el profesor Víctor Gisbert y tutor de este trabajo, se puede definir Gráfico de Control como “un registro gráfico de la calidad donde se sitúan unos límites de control, que sirven para comparar las variaciones de la calidad medidas en torno a un nivel general” (Gisbert Soler, 2022).

Debemos saber que si los valores a analizar, representados gráficamente como un punto, se encuentran situados fuera de los límites, querrá decir que hay una variación en el proceso y por tanto deberá ser investigada esta situación para solventarla y reducir en la medida de lo posible estas variaciones hasta alcanzar un control sobre el mismo. Por lo tanto, estos gráficos tienen como objetivo facilitar la identificación de estas situaciones anómalas para poder corregirlas y tomar las acciones correctivas frente a las desviaciones, permitiendo identificarlas de manera más clara y por lo tanto pudiendo establecer soluciones específicas frente a la causa raíz y evitar que se repitan en el tiempo. Una vez eliminados todos los errores de sistema, únicamente quedarán los errores aleatorios y por tanto, se podrá indicar que el proceso “está bajo control”.

5.4.1 Gráficos de control por variables

- **Gráficos “ \bar{x} -R”** (Medias y recorridos): Ambos gráficos son complementarios entre si. Mediante el gráfico de medias se representa la variabilidad que existe entre las medias de los subgrupos de las muestras, mientras que en el de recorridos como bien indica su nombre verifica las distintas variaciones que se producen en los recorridos entre los subgrupos de las muestras.

Las fórmulas usadas para el planteamiento de los límites de los gráficos “ \bar{x} -R” se muestran a continuación:

- **Gráfico de promedios:**

$$LCS = \bar{\bar{x}} + A_2 \bar{R}$$

Ecuación 1 Límite Superior – Gráfico de promedios “ \bar{x} -R”

Fuente: Ishikawa, Kaoru (Introducción al control de calidad, 1994).

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

Ecuación 2 Límite Central – Gráfico de promedios “ \bar{x} -R”

Fuente: Ishikawa, Kaoru (Introducción al control de calidad, 1994).

$$LCI = \bar{\bar{x}} - A_2 \bar{R}$$

Ecuación 3 Límite Inferior – Gráfico de promedios “ \bar{x} -R”

Fuente: Ishikawa, Kaoru (Introducción al control de calidad, 1994).

El valor de A_2 viene determinado por el tamaño de la muestra (Ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**); $\bar{\bar{x}}$ es el promedio de la media de los subgrupos de muestras; y \bar{R} el promedio de la diferencia entre los valores máximos y el mínimo de cada subgrupo de muestras.

- **Gráfico de recorridos:**

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

Ecuación 4 Límite Superior – Gráfico de recorridos “ \bar{x} -R”

Fuente: Ishikawa, Kaoru (Introducción al control de calidad, 1994).

$$LC = \bar{R}$$

Ecuación 5 Límite Central – Gráfico de recorridos “ \bar{x} -R”

Fuente: Ishikawa, Kaoru (Introducción al control de calidad, 1994).

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

Ecuación 6 Límite Inferior – Gráfico de recorridos “ \bar{x} -R”

Fuente: Ishikawa, Kaoru (Introducción al control de calidad, 1994).

Al igual que en el caso anterior, los valores de D_3 y D_4 depende del tamaño de la muestra (Ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**); y \bar{R} es el promedio de la diferencia entre el máximo y el mínimo de cada subgrupo de muestras.

- **Gráficos “ \bar{x} -S”** (Medias y desviación estándar): Al igual es que gráfico “ \bar{x} -R”, se compone de dos gráficos. En uno se representan la variabilidad de las medias de los subgrupos o muestras; y en el otro las variaciones de las desviaciones estándar de las mismas.

Las fórmulas empleadas para determinar los límites de los gráficos “ \bar{x} -S” son los siguientes:

- **Gráfico de promedios:**

$$LCS = \bar{\bar{x}} + A_3 \bar{S}$$

Ecuación 7 Límite Superior – Gráfico de promedios “ \bar{x} -S”

Fuente: Montgomery, Douglas C. (Control estadístico de la calidad, 2013).

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

Ecuación 8 Límite Central – Gráfico de promedios “ \bar{x} -S”

Fuente: Montgomery, Douglas C. (Control estadístico de la calidad, 2013).

$$LCI = \bar{\bar{x}} - A_3 \bar{S}$$

Ecuación 9 Límite Inferior – Gráfico de promedios “ \bar{x} -S”

Fuente: Montgomery, Douglas C. (Control estadístico de la calidad, 2013).

Donde A_3 está viene indicado según el tamaño de muestras (Ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**); $\bar{\bar{x}}$ corresponde al promedio de las medias de los subgrupos de muestras; y \bar{S} es el promedio de la desviación estándar de cada subgrupo de muestras.

- **Gráfico de desviaciones estándar:**

$$LCS = B_4 \bar{S}$$

Ecuación 10 Límite Superior – Gráfico de desviaciones estándar “ \bar{x} -S”

Fuente: Montgomery, Douglas C. (Control estadístico de la calidad, 2013).

$$LC = \bar{S}$$

Ecuación 11 Límite Central – Gráfico de desviaciones estándar “ \bar{x} -S”

Fuente: Montgomery, Douglas C. (Control estadístico de la calidad, 2013).

$$LCI = B_3 \bar{S}$$

Ecuación 12 Límite Inferior – Gráfico de desviaciones estándar “ \bar{x} -S”

Fuente: Montgomery, Douglas C. (Control estadístico de la calidad, 2013).

Donde B_3 y B_4 está tabulado (Ver ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.); y \bar{S} es la media de la desviación estándar de cada subgrupo de muestras.

5.4.2 Gráficos de control por atributos

- **Gráficos “np”** (Número de unidades y tamaño de muestra constante): se emplea en proceso de control de calidad cuyos tamaños de muestra son constantes y por lo tanto el número de unidades revisada son constantes. Su finalidad es la de determinar el número de unidades defectuosas dentro de cada lote.

Las fórmulas para el establecimiento de límites, se muestran a continuación:

$$LCS = n\bar{p} + 3\sqrt{n\bar{p}(1-\bar{p})}$$

Ecuación 13 Límite Superior – Gráfico “np”

Fuente: Ishikawa, Kaoru (Introducción al control de calidad, 1994).

$$LC = n\bar{p}$$

Ecuación 14 Límite Central – Gráfico “np”

Fuente: Ishikawa, Kaoru (Introducción al control de calidad, 1994).

$$LCI = n\bar{p} - 3\sqrt{n\bar{p}(1-\bar{p})}$$

Ecuación 15 Límite Inferior – Gráfico “np”

Fuente: Ishikawa, Kaoru (Introducción al control de calidad, 1994).

Donde $n\bar{p}$ es el promedio de las unidades defectuosas detectadas en las muestras; y \bar{p} corresponde al promedio de las unidades verificadas.

- **Gráficos “p”** (Muestras no constantes y con muestreo porcentual de unidades): al igual que en los gráficos anteriores (“np”), se emplea para controlar el número de unidades defectuosas en cada lote. Sin embargo, como el tamaño del lote no es constante, se emplean cantidades porcentuales del mismo para asegurar un control.

Las fórmulas para el establecimiento de límites son las siguientes:

$$LCS = \bar{p} + 3\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n_i}}$$

Ecuación 16 Límite Superior – Gráfico “p”

Fuente: Ishikawa, Kaoru (Introducción al control de calidad, 1994).

$$LC = \bar{p}$$

Ecuación 17 Límite Central – Gráfico “p”

Fuente: Ishikawa, Kaoru (Introducción al control de calidad, 1994).

$$LCI = \bar{p} - 3 \sqrt{\frac{\bar{p}(1 - \bar{p})}{n_i}}$$

Ecuación 18 Límite Inferior – Gráfico “p”

Fuente: Ishikawa, Kaoru (Introducción al control de calidad, 1994).

Donde \bar{p} es el promedio de la proporción de unidades defectuosas detectadas en las muestras; y n_i corresponde al promedio de las unidades verificadas.

- **Gráficos “c”** (Número de defectos por muestra con muestra constante): Este tipo de gráfico se usa para verificar el número de defectos presentes o deméritos en el producto inspeccionado, cuando el tamaño de muestra es constante.

Para calcular los límites de control de este gráfico, se utilizan las siguientes fórmulas:

$$LCS = \bar{c} + 3\sqrt{\bar{c}}$$

Ecuación 19 Límite Superior – Gráfico “c”

Fuente: Ishikawa, Kaoru (Introducción al control de calidad, 1994).

$$LC = \bar{c}$$

Ecuación 20 Límite Central – Gráfico “c”

Fuente: Ishikawa, Kaoru (Introducción al control de calidad, 1994).

$$LCI = \bar{c} - 3\sqrt{\bar{c}}$$

Ecuación 21 Límite Inferior – Gráfico “c”

Fuente: Ishikawa, Kaoru (Introducción al control de calidad, 1994).

Donde \bar{c} es el promedio de los deméritos detectados en las muestras

- **Gráficos “u”** (Porcentaje de defectos por muestra con número de muestra no constante): Al igual que los gráficos “c”, éstos se usan para verificar los defectos o deméritos de un producto, pero teniendo en cuenta la proporción de los mismo con respecto del tamaño de muestra puesto que este no es constante.

Los límites de control se calculan de la siguiente manera:

$$LCS = \bar{u} + 3 \sqrt{\frac{\bar{u}}{n_i}}$$

Ecuación 22 Límite Superior – Gráfico “u”

Fuente: Ishikawa, Kaoru (Introducción al control de calidad, 1994).

$$LC = \bar{u}$$

Ecuación 23 Límite Central – Gráfico “u”

Fuente: Ishikawa, Kaoru (Introducción al control de calidad, 1994).

$$LCI = \bar{u} - 3 \sqrt{\frac{\bar{u}}{n_i}}$$

Ecuación 24 Límite Inferior – Gráfico “u”

Fuente: Ishikawa, Kaoru (Introducción al control de calidad, 1994).

Donde \bar{u} es el promedio de la proporción de deméritos detectados en las muestras; y n_i el número de unidades verificadas.

Como se puede observar, en todos los gráficos de control por atributos, se establece un límite de control inferior. Sin embargo, para efectos de análisis, todos ellos se considerarán en cero, ya que cuando se inspeccionan estos lo óptimo es que no se produzca ningún error y por lo tanto ningún demérito.

5.4.3 Señales fuera de control

Existe una gran variedad de señales en los gráficos de control que, pese a no ser valores que se encuentran fuera del límite establecido, indican que se están produciendo comportamientos anormales y se pueden emplear como método de detección de las anomalías en la producción.

Cabe destacar que las circunstancias a continuación mencionadas no son debidas al azar y su aparición indica que existe algún tipo de perturbación especial en el proceso.

Racha ascendente o descendente de 7 o más puntos. Se produce cuando un alto número de puntos siguen la misma tendencia. Normalmente es debido a un mal ajuste de la maquinaria, desgaste, suciedad etc. Siendo siempre achacado a problemas que se amplifican con el tiempo.

Racha de 8 o más puntos a un mismo lado de la línea central. Debido a que en una situación estable la probabilidad de que un punto caiga en un lado de la gráfica es del 50%, que 8 se sitúen en el mismo lado de la gráfica sería de 1 de cada mil. Siendo casi imposible que se produzca este caso por azar. Algunas de las causas para que esto se produzca son: cambios en las características del producto como cambios de lote o proveedor; la realización de ajustes o reparaciones de manera incorrecta, etc.

Dientes de sierra, comportamiento errático. Se caracteriza por fuertes oscilaciones en los valores recuperados. Puede ser debido a una mala interpretación de los gráficos, que provoca el llamado sobre control debido a la respuesta con acción sobre la máquina a la mínima oscilación de la característica controlada, dando lugar a una situación innecesariamente inestable.

Demasiados puntos en la zona central. A priori es lo mejor que nos podría pasar, producir siempre sobre el valor deseado. Pero hemos de tener en cuenta que, si la mayoría de los puntos están sobre el eje, muy cercanos al valor medio o deseado, es una situación un tanto extraña, ya que en el tercio central del gráfico deben situarse aproximadamente 2/3 (más exactamente el 68%) de los puntos. Entre las causas posibles de este comportamiento se encuentran: el error en el cálculo de los límites de control; el hecho de ser unos límites antiguos que no se han actualizado conforme el proceso mejoraba y se volvía más homogéneo; la mezcla de dos poblaciones (líneas diferentes del mismo

proceso), situada simétricamente en torno a la línea central y las dos muy homogéneas; la mejora real del proceso.

Pocos puntos en la zona central. Si es anormal la presencia de demasiados puntos en el tercio central, también lo es la presencia de pocos. Entre sus posibles causas podemos citar: error en el cálculo de los límites; empeoramiento real del proceso, con aumento de su dispersión.

Ciclos. Estas señales representan una inestabilidad en el sistema. Sus causas son de lo más variado, pudiendo ser efecto de factores ambientales (luz, temperatura, humedad, ...), efecto de la fatiga de operarios, turno de trabajo, de procedimientos de mantenimiento, etc. La identificación de las causas que los provocan requiere que se preste una especial atención a la duración del ciclo (diario, semanal, ...) y al momento en que se detectó su inicio.

Cambios de nivel. Tendencias. Los datos representan una evolución de la característica considerada, que presenta un evidente cambio en su nivel de oscilación o una tendencia ascendente o descendente, sin que lleguen a presentarse ninguna de las anteriores señales de falta de control. Esto es achacable a cambios de proveedor, desgaste de herramientas, agotamiento de componentes, son alguna de las posibles causas de este comportamiento.

Dos de tres puntos sucesivos en el tercio exterior del gráfico. Si es a un mismo lado de la línea central deduciremos que se ha producido un cambio de nivel. Si los puntos están en lados contrarios de la línea central, cabe concluir que ha aumentado la dispersión. (Gisbert Soler, 2022)

5.5 Muestreo para aceptación o rechazo

La principal finalidad del control de la calidad mediante muestreo es contrastar que lo producido por la empresa y por lo tanto el producto a vender posee una correlación con los niveles preestablecidos por la propia empresa de antemano, determinando si el producto será aceptado o rechazado (Gisbert Soler, 2022).

Cabe destacar que durante la inspección por muestreo no se examina la totalidad del producto, sino que se realiza la comprobación de un número limitado de elementos que deberían tomados al azar de cada lote o producción durante el proceso de fabricación, que en este caso no podrán ser destructivos ya que el material no se puede cortar para comprobar más detenidamente. Por ello se debe seguir un plan de muestreo preestablecido y asegurar que sea representativo a la producción total.

5.5.1 Clasificación según el número de muestras

- **Simple:** “Se inspecciona la muestra y se cuenta el número de unidades defectuosas. Si el número de muestras defectuosas es igual o inferior al número de aceptación se acepta el lote completo, a excepción de las unidades de la muestra que hayan sido encontradas defectuosas, las cuales deben también rechazarse. Por el contrario, si el número de unidades defectuosas es superior que el número de rechazo, se rechaza el lote entero” (Gisbert Soler, 2022).
- **Doble:** “En este tipo de muestreo se toma una muestra de tamaño inferior a la que sería necesaria en el muestreo simple y si la calidad encontrada es suficientemente buena o mala el lote se acepta o se rechaza. Pero si el resultado obtenido con la muestra es un valor intermedio, se tomará una segunda muestra para decidir la aceptación” (Gisbert Soler, 2022).

- **Múltiple:** “El funcionamiento es el mismo que el muestreo doble, con la diferencia de que se puede llegar a recurrir a más de dos muestras” (Gisbert Soler, 2022).

5.5.2 Clasificación según la clase de inspección

- **Normal:** Siempre se debe llevar a cabo al comienzo de la realización de la inspección, ya que no se tiene constancia de si el producto cumple con las condiciones especificadas o no. Se lleva a cabo siempre que no se tiene información de las condiciones reales de calidad del proveedor.
- **Reducida:** Se examinan menos piezas que en la inspección normal, disminuyendo el nivel de inspección o relajando el parámetro de aceptación. De este modo se ve aumentado el conocido como riesgo del comprador. Puede aplicarse cuando se posee un alto grado de confianza con el proveedor y durante un largo periodo de colaboración no ha ocurrido ninguna no conformidad.
- **Rigurosa:** Con este sistema se consigue disminuir el riesgo del comprador, ya sea bajando el parámetro de aceptación o aumentando el nivel de inspección (número de muestras). Cabe destacar que este sistema se aplica cuando hay evidencia de que el comprador no ha cumplido con las exigencias en repetidas ocasiones. Se emplea como método para asegurar la calidad del producto tras la desconfianza producida por la deficiente calidad del proveedor.

Dependiendo de cómo se comporten las producciones anteriormente analizadas por parte de la empresa, se puede pasar de un tipo de inspección a otro de acuerdo con las siguientes reglas (mostradas en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.!**):

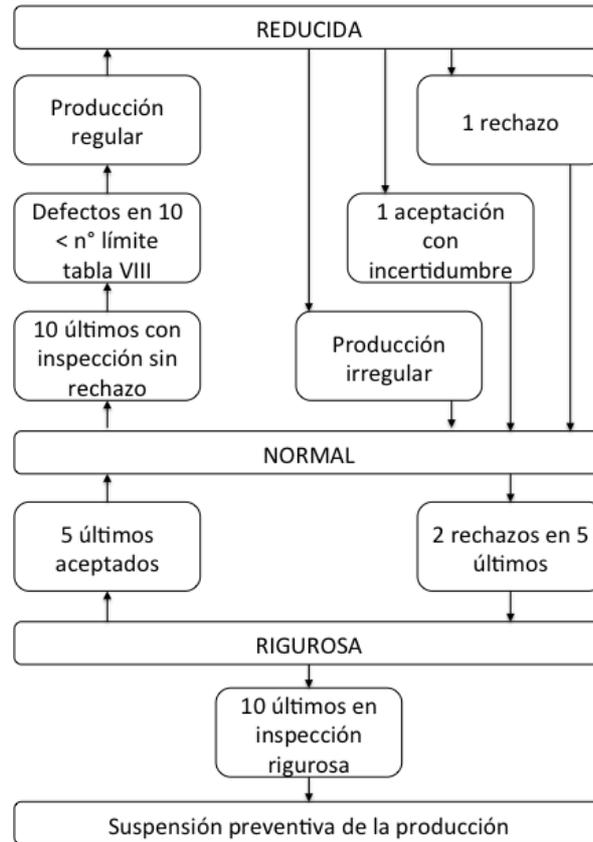


Ilustración 1: Reglas de cambio de nivel de inspección

Fuente: Diagrama inspección por Muestreo (Gisbert Soler, 2022).

Para tomar decisiones de aceptación y rechazo, se emplean las tablas de la norma UNE 66020-1:2001 o de la MIL STD 105. Del **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** al **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, donde se muestran las tablas del código de tamaño de muestra y de los diferentes planes de muestreo establecidos según la norma UNE 66020-1:2001.

5.6 Capacidad real de proceso

Debido a las posibles variaciones en el proceso productivo pese a que este se considere bajo control, es seguro que no se van a general productos idénticos. Es por ello que debemos comparar esta variabilidad de proceso y compararlo con las tolerancias estipuladas para poder determinar si es posible el cumplimiento de estos límites en el proceso de la manera en la que se produce.

A la hora de analizar la capacidad de los procesos se puede realizar de dos modos:

- Por la derecha si lo que se busca es protegerse de los valores altos y cumplir con el límite superior
- Por la izquierda si lo que se busca es protegerse de los valores bajos y cumplir con el límite inferior.

Si se quiere proteger tanto de valores bajos como altos, se denomina como análisis de la capacidad por ambos lados.

Un proceso se considera capaz por ambos lados cuando el mínimo entre límite índice superior de capacidad y límite índice inferior de capacidad es mayor que uno (1). Así mismo, se considera capaz

por izquierda cuando el límite inferior de capacidad es mayor que uno (1); y será capaz por derecha cuando el límite superior de capacidad es mayor que uno (1).

Las fórmulas utilizadas para el análisis de capacidad, se muestran a continuación:

$$C_{pi} = \frac{\mu - T_i}{3\sigma}$$

Ecuación 25 Límite índice inferior de capacidad

Fuente: Gisbert Soler, Víctor (Contenidos de la asignatura "Control estadístico de Calidad", 2022).

La determinación de la capacidad por la izquierda sólo se determina cuando el proceso posee especificaciones inferiores de calidad, o lo que es lo mismo, cuando los valores bajos suponen un problema y por lo tanto el cliente especifica límites.

$$C_{ps} = \frac{T_s - \mu}{3\sigma}$$

Ecuación 26 Límite índice superior de capacidad

Fuente: Gisbert Soler, Víctor (Contenidos de la asignatura "Control estadístico de Calidad", 2022).

La determinación de la capacidad por la derecha se emplea cuando sólo se tiene especificación superior. En otras palabras, cuando el cliente se quiere proteger contra valores altos. Siendo esta la empleada en el caso del producto a analizar.

Donde T_i : Tolerancia inferior del cliente; T_s : Tolerancia superior del cliente; μ : target de tolerancias; y σ : Desviación estándar del proceso, que si se puede equiparar a la desviación estándar de las muestras S .

5.7 Índice de correlación lineal de los procesos

La correlación es "la medida estadística que determina el nivel de relación entre dos variables. En concreto, sirve para determinar en qué medida se encuentran relacionadas de manera lineal las dos variables a analizar". (C. Salazar, 2018)

Se puede decir que dos variables están correlacionadas cuando al sufrir una modificación uno de los valores, también sufre una modificación igual o proporcional el valor de la otra variable. Por ejemplo, si al aumentar la variable A también aumenta la variable B, existe una correlación entre ambas variables, o que al aumentar una variable la otra disminuya, siendo por lo tanto dependientes la una de la otra.

Según cómo sea la correlación entre las dos variables, se distinguen los siguientes tipos de correlación:

- **Directa (o correlación positiva):** una variable aumenta cuando la otra también aumenta. Siendo por tanto directamente proporcionales entre si. Cuando se produce esto, el valor del índice de correlación toma valores positivos y
- **Inversa:** cuando una variable aumenta la otra disminuye, y al revés, si una variable disminuye la otra aumenta. Siendo por tanto inversamente proporcionales entre si.

- Nula: cuando una variable aumenta la otra no posee ningún cambio, indicando que no existe ningún tipo de relación entre ambas.

$$\rho_{XY} = \frac{\text{cov}(X, Y)}{\sqrt{\text{Var}(X) \cdot \text{Var}(Y)}}$$

Ecuación 27: Índice de correlación lineal

6 Metodología

6.1 Análisis de metodologías

A la hora de terminar la metodología de análisis a emplear debemos tener en cuenta una serie de factores, ya que para un mismo producto pueden encontrarse una gran multitud de factores que se pueden determinar y además multitud de sistemas para determinarlos. Es por ello que se deben focalizar los esfuerzos no solo en determinar los problemas que se encuentran a la hora de la producción, sino también de los recursos que dispone o puede disponer en el momento la empresa.

Para seleccionar el método de análisis adecuado para un problema, necesitamos considerar las necesidades propias de la empresa y compararlas con las fortalezas y debilidades que poseen los distintos métodos de los que disponemos. Siendo muy importantes los factores que tome la empresa para decidir el grado de adaptación de estos procesos con las necesidades reales de la empresa. Algunos de estos factores a tener en cuenta son: (Harvey, 2023)

- **Precisión:** medida de la distancia o lejanía entre el valor obtenido con respecto al valor “verdadero” o esperado. A mayor precisión, mayor cercanía con respecto del valor “verdadero”.
- **Sensibilidad:** medida de la variabilidad en un sistema. Pese a realizar mediciones sobre una misma muestra, los resultados pueden variar y cuanto menor sean estas variaciones, mayor sensibilidad poseerá el método.
- **Selectividad:** capacidad de diferenciar entre dos muestras debido a que poseen valores distintos, pudiendo identificarlas como distintas.
- **Robustez:** indica el grado de interferencias que se pueden producir a la hora de obtener los resultados. En algunos casos es posible que se produzcan interferencias a la hora de la medición generando incertidumbres en los propios resultados y que estas interferencias camuflen errores. Cuanto más robusto sea el método menor posibilidad de interferencias se producirán.
- **Equipos, tiempo y coste:** estos tres factores son en realidad los más significativos ya que van a marcar la verdadera diferencia en la selección de sistema de análisis.

6.2 Metodología empleada

Para implantar el sistema de calidad se ha optado por un procedimiento en 3 fases, iniciado por una primera fase que nos permita conocer el producto y las necesidades operativas de la empresa, una segunda fase que sirva para tener un conocimiento sobre los defectos y puntos donde se pueden realizar las comprobaciones y una última etapa de análisis tras tener conocimiento del proceso y de los recursos y necesidades de la empresa.

6.2.1 Fase 1: Conocer proceso de producción de los cantos de PVC

- Elaborar una lista de los procesos (diagrama de procesos) que se llevan a cabo en la empresa, identificando la secuencia de actividades y decisiones que se toman en cada momento: se elaboró una lista de las principales actividades ejecutadas para la producción y extrusión del canto de PVC. Identificando los puntos en los que el operario debe verificar las características del producto y las posibles decisiones que se debe tomar.
- Determinar los equipos y variables del proceso: para este análisis se identificaron de la maquinaria y las partes a las que los operarios pueden acceder o tienen que realizar algún

tipo de actividad sobre ella durante el proceso productivo del canto. Dicho procedimiento se elaboró con el fin de examinar si alguno de estos equipos o tecnologías requiere algún tipo de mantenimiento o calibración adicional y que no se tuviera en cuenta anteriormente para garantizar la calidad de los mismos y su buen funcionamiento durante el proceso productivo.

6.2.2 Fase 2: Identificar etapas de inspección del proceso a ser analizadas con ayuda de la definición operativa de defectos

- Elaborar la definición operativa de defectos: los diferentes tipos de defectos de colorimetría que pueden presentarse a la hora de la extrusión. Se identificarán las características esperadas por el cliente, al igual que las especificaciones que se deben cumplir. Obteniendo de este análisis los posibles defectos que se pueden observar en el producto, clasificándolos en críticos, mayores y menores. Cada tipo de defecto poseerá título, código, descripción y método de medición. Finalmente, se establecieron los criterios de aceptación o rechazo del producto, asignando unos límites de colorimetría iniciales, que son con los que se trabaja internamente en la empresa en el momento actual.
- Identificar las etapas de inspección del proceso que requieran especial atención en cuanto a control de la calidad: se analizó el proceso de extrusión (planteado en la primera fase) según etapas, una al inicio concordando con la recepción de materias primas, otra en proceso de extrusión por parte de los maquinistas y otra al final previo al envío del producto al cliente; en las tres fases se identifican los atributos y variables a inspeccionar, para posteriormente proponer en uso las plantillas de comprobación, planes de muestreo, análisis de capacidad de proceso y/o gráficos de control para mantener controlada la calidad en la empresa (fase 3).

6.2.3 Fase 3: Seleccionar herramientas de control estadístico

- Seleccionar herramientas de control estadístico para abordar y tratar las variabilidades, así como para controlar el proceso creación de canto de PVC de acuerdo con las fases anteriores, se identificaron las herramientas de control de calidad recomendables para el tipo de proceso, catalogación de defectos y fuentes de variabilidad presentes en la extrusión de cantos de PVC. Se analizaron las diferentes opciones que se tienen en cuanto a gráficos de control y se determinó que se debían usar los “ \bar{x} -R” para controlar las variables y el índice de correlación para determinar el grado de correlación existente en el proceso de comprobación a priori de las mezclas.
- Uso de las herramientas de control estadístico seleccionadas: debido a la gran producción de la empresa en el momento de análisis, se tomaron mediciones cada hora durante una semana completa de producción (120h) en las 3 líneas de producción.
- Diseñar planes de acción para aquellos estándares que no se cumplan: para los casos en los que se detecte la aparición de defectos y problemas de calidad, se estableció un plan de acción estratégico que ayudara a la empresa a gestionar los casos de no calidad y hacerle frente con el fin de garantizar un buen producto y mantener la actual imagen ante los clientes, así como mejorar de manera continua de los procesos. Adicionalmente, se comprueba la correlación existente entre la maquinaria empleada para la realización de las pruebas con respecto de los materiales enviados a los clientes.

6.3 Limitaciones

A nivel general, se identificaron una serie de limitaciones que se deben tener en cuenta a la hora de realizar este trabajo. Siendo los siguientes:

- La empresa estudiada pese a tener una antigüedad en el sector de más de 25 años, no se ha realizado ningún estudio con anterioridad con respecto a calidad pese a haber poseído en el pasado certificaciones de Calidad, únicamente se poseía un registro de reclamaciones que ha servido como guía para la determinación de defectos. Por lo que la gran mayoría de la información recopilada se ha obtenido mediante: reuniones con el CEO, revisión de la poca documentación antigua disponible y con los operarios de planta, que hasta el momento han sido los responsables de decisiones críticas con respecto a la calidad del producto debido a la falta de estandarización del proceso.
- Adicionalmente, se dificulta el contacto con los operarios del turno de noche ya que por jornada laboral como máximo se puede coincidir con los empleados del turno de mañana y tarde. Sin embargo, se han realizado hojas de control para asegurar las mediciones y recibir la información necesaria sobre las producciones elaboradas por todos trabajadores.
- El instrumental del que se disponía se compró antes de comenzar con el sistema de control de calidad y sin tener en cuenta algunas características de los materiales, por lo que es posible encontrar interferencias a la hora de analizar puesto que el espectrofotómetro del responsable de calidad es capaz de detectar la radiación UV y ciertos materiales que se añaden para ajustar el color poseen compuestos con dicha radiación.
- No se han encontrado investigaciones previas respecto al tema estudiado, debido a que no hay mucha competencia en el sector y generalmente las empresas que se encargan a la producción de estos productos son PYME. Sin embargo, en este informe se toman como referencia una gran cantidad de información genérica, con la cual se trabaja y genera contenido de gran importancia con respecto a al proceso de control y gestión de la calidad.

7 Control estadístico de la calidad en el proceso de extrusión de cantos de PVC

7.1 Proceso de extrusión del canto.

7.1.1 Diagrama de procesos

El proceso comienza por una verificación de las materias primas necesarias para la producción del pedido tras la recepción del material y previamente a ser empleado en producción. De este modo se obtiene una verificación previa de las coloraciones que se van a obtener con la extrusión final y una revisión de forma visual de las impurezas. Si la prueba inicial es correcta y posee un parecido significativo con los patrones estipulados como estándar para la producción se da el visto bueno para la comenzar a realizar las mezclas con ella.

Una vez verificada determinada las mezclas necesarias para la producción, se proceden a la selección de los materiales. Antes de abrir los sacos y mezclarlos de manera física, se realiza una doble verificación de los materiales para asegurar que no ha habido ninguna confusión entre la recopilación de las referencias. Cuando esta verificación se ha realizado y dada como correcta, ya se procede a mezclar el material y se realiza una prueba a pequeña escala de la mezcla para ajustar la colorimetría si fuera necesario.

Cuando los materiales ya se encuentran recopilados del almacén se procede al mezclado del mismo en los silos de mezclado mediante flujos de aire de manera ascendente en el tanque, permitiendo que al mismo tiempo que mezcla la granza realiza un precalentado del material y secado del mismo, facilitando su fundición en las siguientes fases.

Previa a la introducción del material en los silos de mezclado deberá realizarse una última comprobación de la lista de materiales para verificar y asegurarse de que el material corresponde con el que se debe realizar la producción.

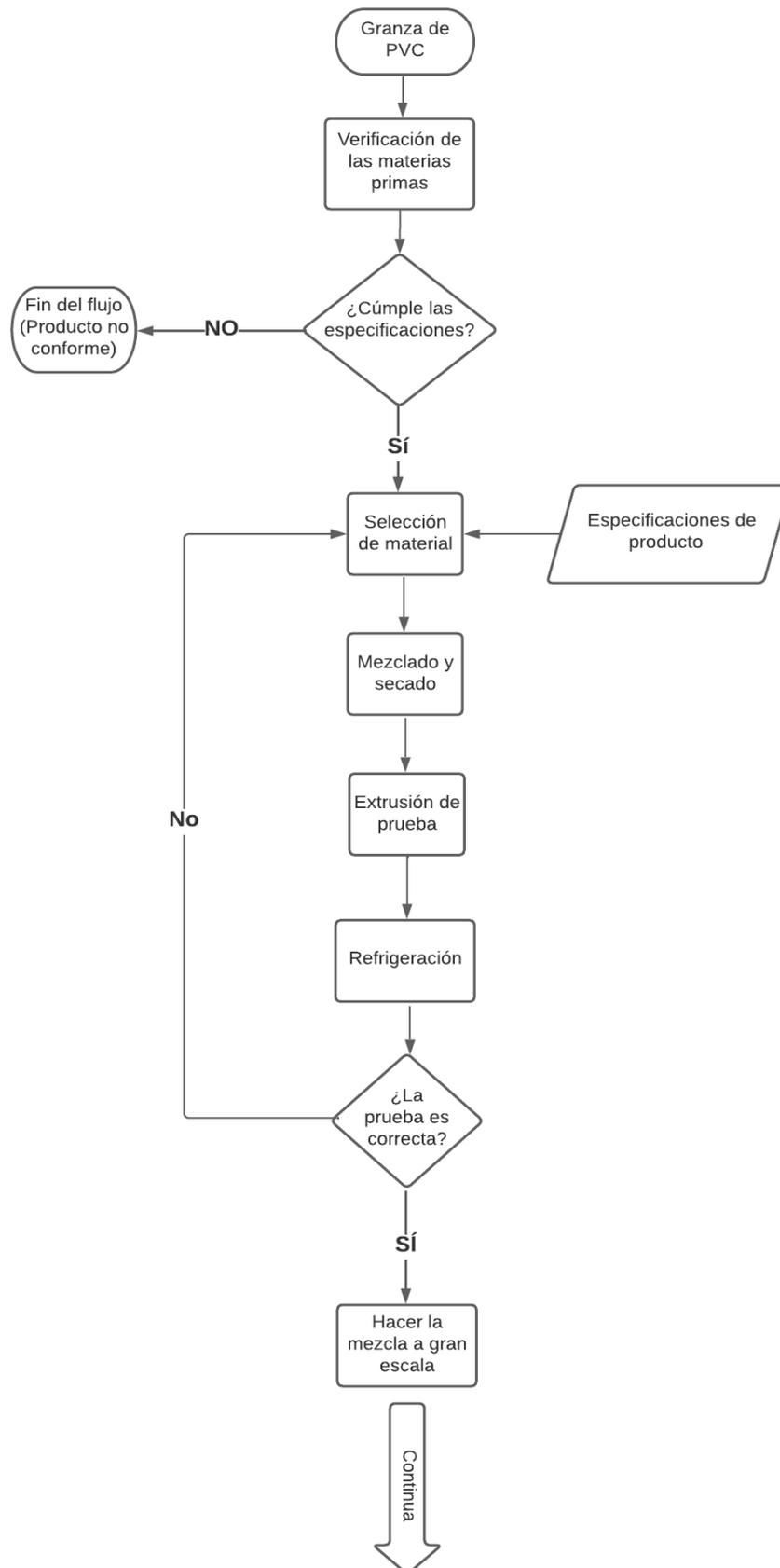
Tras media hora de mezclado de la granza procede a ser introducida en la extrusora, donde el material se funde y mezcla mediante un sistema de cámaras y usillos, alcanzado temperaturas máximas de 179°C para evitar que el material se degrade o se queme. Posteriormente es extrusionado mediante la aplicación de presión y sale por la boquilla, donde se lamina y a causa del cambio de presiones el plástico se expande. Posteriormente se pasa por un baño de agua que posee la finalidad de bajar la temperatura y solidificar parcialmente el material. Al mismo tiempo que se enfría, la lámina ya extruida, se pasa por los postizos. Los postizos poseen la finalidad de alisar y aplanar la lámina recién extruida para darle una apariencia uniforme y lisa a la superficie de la calandra.

Una vez se ha enfriado el material y la calandra está formada, se realiza un secado de la misma para eliminar todos los restos de agua que hayan podido quedar en el material, ya que si el primer que se aplica a continuación se mezcla con agua pierde su capacidad adhesiva, y la funcionalidad del encolado es facilitar la adherencia del PVC a la melamina.

Una vez seco el PVC se procede a la aplicación del primer por una de las caras de la bobina mediante un sistema de rodillos grafilados. Cuando se ha aplicado el primer, se debe secar de manera rápida para evitar que en la fase siguiente se quede pegado el material entre si. Para ello se emplean unos secadores que se encuentran a 75°C, temperatura suficiente para evaporar el primer ya que es en base acetona. Finalmente se realiza el bobinado de la misma y tras el corte ya se puede distribuir al

cliente si el pedido es unicolor. Si el cliente requiere material decorado se procede a decorar y posteriormente se corta previo a la entrega en rollos de diferente ancho.

Antes de que el material salga de la zona de extrusión se realiza una comprobación de la colorimetría por parte del departamento de Calidad empleando un software específico para la comprobación del color (SpectraMagic), donde se determina si el producto es conforme o debe ser decorado para ser conforme o directamente se debe retirar por no cumplir con los parámetros de calidad.



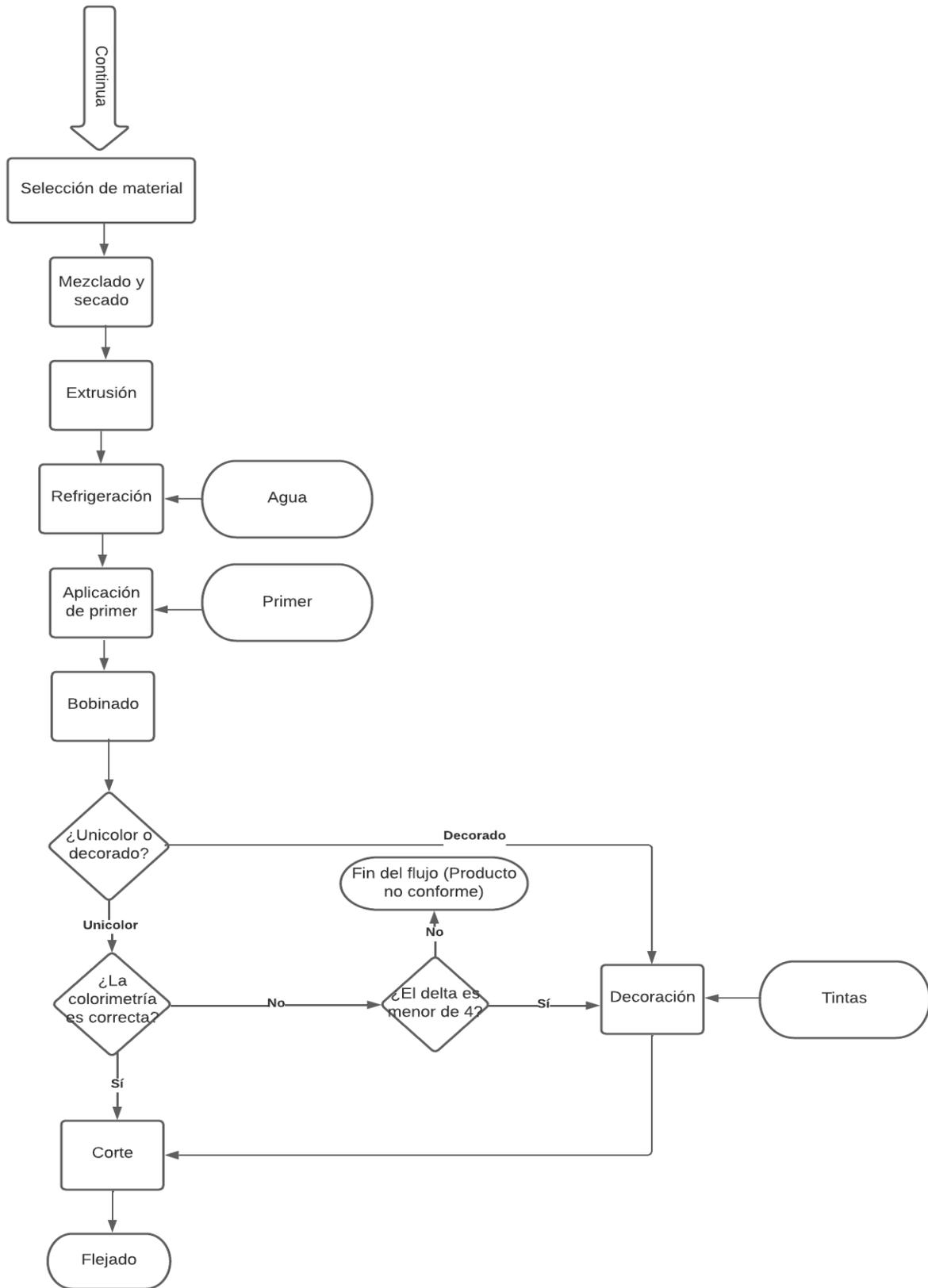


Ilustración 2: Diagrama de procesos canto PVC

Fuente: Elaboración propia.

7.1.2 Equipos y tecnología involucradas

Para la producción del canto de PVC, se emplean los siguientes equipos (Tabla 1) y tecnología (Tabla 2):

Tabla 1: Equipos y herramientas utilizadas en el proceso productivo

Equipos y herramientas	Función
Silo	Almacenar la materia prima y mezclar las distintas referencias de producto, al mismo tiempo que elimina la posible humedad en el producto gracias a flujos de aire.
Extrusora	Fundir la granza de plástico para realizar la extrusión del mismo.
Bañera	Bajar la temperatura de la lámina de plástico extrusionada, al mismo tiempo que endurece el material para que no se deforme en las fases posteriores.
Postizos	Dar forma plana a la lámina de plástico y alisar la superficie, eliminando burbujas de la superficie.
Ventiladores	Eliminar las posibles gotas de agua que hayan salido de la bañera para que no queden marcas en el material mediante chorros de aire frío.
Secadores	Secar el primer mediante aire caliente para evitar que este llegue húmedo al momento del bobinado y que las capas se peguen unas a otras.
Encolador	Aplicar el primer en la parte inferior de la calandra previamente a ser formada la bobina.
Bobinadora	Enrollar la calandra sobre el mandril para formar con ella la bobina.
Carretillas	Transportar el material de manera más fácil sin necesidad de ejercer fuerza y facilitar de este modo la actuación de los operarios.
Polipasto	Realizar movimientos de materiales pesados con facilidad, en este caso se encuentran en la zona de las bobinadoras para poder sacar las bobinas y ponerlas en los pallets.
Báscula	Realizar el pesado de los distintos materiales que forman la mezcla para permitir de este modo realizarlas en las proporciones exactas y poder estandarizar las mezclas.
Colorímetro CR10	Realizar mediciones colorimétricas de las producciones de manera rápida y en cualquier lugar de la planta ya que es portátil.
Espectrofotómetro	Realizar mediciones con más detalle y de manera fija asegurando calibraciones diarias.

Fuente: Elaboración propia.

Todo el instrumental empleado en la extrusión de PVC requiere de mantenimiento de primer nivel para prevenir posibles desviaciones o errores en la extrusión o medición, permitiendo de este modo alargar en gran medida su vida útil. Además, cabe destacar que tanto el colorímetro como el espectrofotómetro y la báscula al ser instrumentos electrónicos de medición requieren de una

calibración para asegurar la medición. Por lo tanto, se ha establecido una periodicidad de calibración anual para los instrumentos y un mantenimiento adaptado a las necesidades de cada elemento de extrusión.

Tabla 2: Tecnología y software utilizados en el proceso

Tecnología y software	Función
Software de control de colorimetría SpectraMagic NX	Utilizado para extraer informes de colorimetría del producto empleados para tener controles de calidad y poder demostrar la estandarización y control de todas las producciones realizadas.

Fuente: Elaboración propia.

El software anteriormente mencionado requiere una actualización periódica de acuerdo con las versiones y actualizaciones que lance el proveedor del mismo. Estas actualizaciones normalmente las lanza el proveedor a principios de año.

7.2 Definición operativa de defectos y etapas de inspección del proceso

7.2.1 Definición operativa de defecto

PRODUCTO

Canto de PVC con un espesor determinado, con adhesivo de auto pegado en la cara posterior que se ajuste al tono y textura del tablero de melamina para el cual se ha realizado el contratipo.

DEFECTOS CRÍTICOS

COLORIMETRÍA. Código CO (c). En el caso de canto decorado el defecto se considera crítico si el valor de dE^* tras la decoración es 2 o superior. En el caso de canto unicolor, el valor máximo de dE^* admisible es de 1. Si estas desviaciones son superiores, esto indica que la mezcla empleada no son las correctas. A mayores en el caso del canto decorado, la base empleada no debe superar un valor de 4 en su desviación de color, ya que esta desviación de color tan grande puede apreciarse fácilmente de manera visual contra el patrón y no es disimulable mediante la decoración. Para asegurarse de que estos valores se cumplen, se realiza en planta una revisión de la colorimetría bajo la campana de luz con el Colorímetro CR10 de todos los inicios de bobina.

En el caso de los insumos, el valor máximo aceptable es de $dE^*=1$, ya que si este es mayor las producciones poseerán una desviación directamente superior a la permitida debido a la materia prima. Siendo de este modo imposible alcanzar los límites estipulados por el proveedor o suponiendo un sobreesfuerzo no asumible por la empresa para alcanzar los valores óptimos de colorimetría.

PORO. Código PO (c). La parte superior de la calandra, donde se marca el poro no posee el mismo patrón de poro que la muestra, o la fuerza del poro no es como la del patrón y presenta zonas sin poro cuando debería llevarlo con una superficie mayor a 15 cm de largo y 2 cm de ancho. Esto indica que los rodillos de poro no estaban correctamente ajustados, o que no se ha verificado el poro antes de introducirlos en producción. Se aprecia de manera visual mediante la comparación con el patrón de poros y la referencia del poro indicada en la orden de producción.

AGUJEROS. Código AG (c). Los agujeros encontrados en la calandra sobrepasan los 5 mm o bien se encuentra una cantidad superior a 15 picadas en un metro de longitud. Se debe realizar un control visual. Si este suceso se produce nos indica que o bien el material no se está repartiendo de forma

homogénea en las planchas de extrusión y es debido a suciedad en los postizos, o bien que el usillo o las chimeneas se encuentran quemados y debe realizarse una parada de máquina para limpiarla

ARQUEADO LONGITUDINAL. Código AL (c). El canto al ser cortado en rollos se arquea de manera longitudinal con un ángulo superior a 5º cuando debería ser recto. Esto se verifica mediante el posicionamiento del rollo estirado con respecto a un ángulo recto.

PRIMER. Código PR (c). El material presenta primer, pero este se ha mojado o se encuentra reseco o se encuentra en mal estado, impidiendo su correcto pegado al tablero cuando se especifica en la ficha técnica del producto que debe llevarlo. Esto se verifica mediante el pegado de una cinta adhesiva y se verifica que no se desprege el primer al desprege la cinta.

ESPESOR INCORRECTO. Código ES (c). El espesor del canto posee una variación superior a $\pm 0,2$ mm con respecto a lo estipulado. Esto se verifica mediante un pie de rey el cual debe estar de manera perpendicular al material y este al mismo tiempo estar introducido hasta la parte más

ADHESIVIDAD DEL PRIMER Códigos AP (c). El primer se encuentra en un estado de conservación deficiente por su mezcla con agua mientras todavía está húmedo, por lo tanto, no ejerce su función adhesiva y el canto se suelta de la melamina con una fuerza inferior a 3 N. Esto se revisa con ayuda del dinamómetro.

DEFECTOS MAYORES

COLORIMETRÍA. Código CO (c). En el caso de canto decorado el valor de dE^* en valor absoluto se encuentra entre 1,5 y 2. Si el canto es unicolor se considera defecto mayor si el dE^* se encuentra entre 0,8 y 1. Esto indica que la mezcla introducida en los bombos no es la correcta. Cabe destacar que esta desviación de color tan grande puede apreciarse fácilmente de manera visual contra el patrón, para asegurarse se realiza en planta una revisión de la colorimetría bajo la campana de luz con el Colorímetro CR10 de todos los inicios de bobina.

PORO. Código PO (M). La parte superior del canto el poro presenta zonas poco marcadas, pero manteniendo siempre el poro y siendo este el correcto. Esto indica que los rodillos de poro no estaban correctamente ajustados. Se aprecia de manera visual mediante la comparación con el muestrario de poros.

AGUJEROS. Código AG (M). La calandra presenta menos de 15 picadas en 1 metro de longitud, o bien son marcas sin llegar a ser agujeros. Esto indica que se han introducido gases en el proceso de extrusión o se ha introducido algún material contaminante. Se realiza una revisión visual del producto durante la extrusión.

PRESENCIA DE PRIMER. Código PP (M). El material no presenta primer o se encuentra en mal estado, impidiendo su correcto pegado al tablero cuando se especifica en la ficha técnica del producto que debe llevarlo. Esto se verifica mediante luz UV ya que el primer posee fluorescencia bajo esta luz, mientras que el PVC no.

ADHESIVIDAD DEL PRIMER Códigos AP (m). El primer se encuentra en un estado de conservación deficiente por su mezcla con agua mientras todavía está húmedo, por lo tanto, no ejerce su función adhesiva y el canto se suelta de la melamina con una fuerza inferior a 4,5 N, pero superior a 3 N. Esto se revisa con ayuda del dinamómetro.

DEFECTOS MENORES

COLORIMETRÍA. Código CO (m). El valor de dE^* absoluto es inferior a 1 en decorados y 0,8 en unicolores. Esto indica que la mezcla introducida en los bombos es la correcta en cuanto a proporciones, pero puede haber variaciones entre los materiales o durante el proceso productivo. Para asegurarse se realiza en planta con el Colorímetro CR10.

SUCIEDAD EN SUPERFICIE. Código SS (m). Se crea una capa de suciedad blanca sobre el canto, que puede generar la sensación de distorsión del material. Si esto se observa, se deberá implementar un sistema de limpieza en línea para evitar confusiones de los clientes.

ESPESOR INCORRECTO. Código ES (m). El espesor del canto posee una variación inferior a $\pm 0,2$ mm con respecto a lo estipulado. Esto se verifica mediante un pie de rey el cual debe estar de manera perpendicular al material y este al mismo tiempo estar introducido hasta la parte más

ADHESIVIDAD DEL PRIMER Códigos AP (m). El primer se encuentra en un estado de conservación deficiente por su mezcla con agua mientras todavía está húmedo, por lo tanto, no ejerce su función adhesiva y el canto se suelta de la melamina con una fuerza inferior a 5 N, pero superior a 4,5N. Esto se revisa con ayuda del dinamómetro.

DEFINICIÓN OPERATIVA DE CANTO DE PVC DEFECTUOSO

A cada tipo de defecto nombrado anteriormente se le asigna la siguiente cantidad de deméritos:

- Cada defecto crítico: 7 deméritos.
- Cada defecto mayor: 3 deméritos.
- Cada defecto menor: 1 demérito.

El valor máximo de deméritos permitidos por muestra será de 6, siendo considerada como muestra no conforme toda aquella que obtenga valores de deméritos iguales o superiores a 6. Siendo directamente considerados no conformes los productos que posean un solo defecto crítico.

Los instrumentos de medición o comprobación, empleados a la hora de detectar anomalías o defectos de calidad, se muestran en la siguiente figura:



Ilustración 3: Instrumentos de medición empleados en el proceso

Fuente: Captura de cámara e internet (konicaminolta, 2023).

Como se puede observar en la

Ilustración 3: Instrumentos de medición empleados en el proceso

, el primer instrumento, de izquierda a derecha, es dinamómetro, que gracias a una tracción horizontal realiza las mediciones de adhesividad del canto sobre la melamina previamente canteada; a continuación, se muestra el colorímetro CR10, el cual a partir de un haz de luz realiza una medición de la colorimetría, obteniendo como resultado la desviación del color dE^* en la escala a^* , b^* , C^* . Para ello se realiza una primera medición del patrón para tomar como referencia y a continuación se mide la muestra en plano y sin dejar que la luz entre en la zona de medición; a continuación, se encuentra el pie de rey, empleado para la medición del espesor de las muestras, para el cual se introduce la muestra entre los dientes y se cierra. En la pantalla digital se muestra el espesor en mm; el siguiente instrumento es el espectrofotómetro Konica Minolta CM-23000d que al igual que el colorímetro de mano sirve para la comprobación del color. Sin embargo, este se encuentra fijo en el laboratorio y vuelca los datos directamente en el software de SpectraMagic NX específico para la gestión y análisis de controles colorimétricos; finalmente en la izquierda se encuentra el abanico de poros que se emplea como muestra de cómo es a simple vista los poros y como debe ser el nivel de presión que deben llevar para cumplir con lo especificado por el cliente.

7.2.2 Etapas de inspección del proceso

A fin de facilitar y simplificar los controles a la hora de producción del canto de PVC, se han determinado 3 fases de control del producto donde se monitoriza y controlan las diferentes variables y atributos anteriormente mencionados. De este modo se facilita la toma de decisiones finales sobre la conformidad del producto final y por lo tanto, decidir si se acepta como bueno y se puede entregar al cliente o por el contrario es considerado como no conforme y se rechaza.

Etapa #1: Llegada de insumos a la empresa

Lo primero que se debe tener para producir con buena calidad son materias primas de buena calidad, por ello una vez se reciben los insumos se deben revisar los siguientes atributos y medir las variables determinadas para las materias primas antes de introducirlas en producción. También se deben comprobar las fichas de comprobación de calidad de los proveedores si las tienen. Si se observan desviaciones con respecto de las especificaciones establecidas con el proveedor y así poder realizar las reclamaciones pertinentes antes de producir sin tener el control sobre el producto:

Tabla 3: Variables y atributos a inspeccionar en los insumos o materias primas

Insumo	Tipo de medida	Característica
Granza de PVC	Atributos	Cantidad de impurezas
	Variables	Desviación de color (dE^*)
Primer	Atributos	Pureza
		Viscosidad
		Fuerza de pegado
	Variables	Tiempo de flujo

Fuente: Elaboración propia.

Los atributos y variables expuestos en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, que se verifican a fin de detectar y anticiparnos a los posibles defectos:

- Colorimetría (Códigos CO (c), CO(M), CO(m))
- Agujeros (Códigos AG (c), AG (M)).

- Presencia de Primer (Códigos PP (c), PP (M)).
- Suciedad en superficie (Código SS (m)).

Todas las verificaciones realizadas de estos parámetros deberán ser registrada, junto con el resultado obtenido de las distintas pruebas realizadas en la plantilla de recolección de datos, que se encuentra en el apartado 7.3.1 Herramientas de control estadístico.

En la etapa #1 es la clave del proceso ya que en esta fase de control se asegura que si el sistema de trabajo es el indicado y que la maquinaria se encuentra en buen estado porque el mantenimiento se está realizando de manera correcta, se asegura casi por completo el control sobre el producto final y obtener unas producciones estables y de calidad conforme. Es por ello que, cuando se reciben las materias primas, se deben analizar y testear todos y cada uno de los lotes de cada materia primas recibida antes de ser empleada, asegurando que cumplan con las especificaciones requeridas a los proveedores.

Etapa #2: Después de la extrusión del plástico (producto en proceso)

En la zona de bobinado, antes de realizarse el mismo se debe realizar un control completo de la producción ya que en este punto no se puede producir ningún defecto a mayores y si se detecta algo, ir subiendo a lo largo de la línea productiva hasta encontrar el inicio del problema. En esta etapa se deben realizar la mayoría de los controles de los atributos y variables finales, ya que, si alguno de ellos va desviado, es en producción donde se deben realizar los ajustes correctos o realizar las paradas necesarias para minimizar los costes de reproceso o mermas por mala calidad del producto. De este modo se asegura que el producto se está elaborando con calidad.

Cabe destacar que en esta parte del proceso todos los parámetros quedan verificados y por tanto no faltaría por revisar ningún parámetro de producto y si no se detecta nada extraño pasaría a la siguiente etapa de inspección.

Dicha verificación se hace con el fin de identificar la presencia de los siguientes defectos:

- Colorimetría (Códigos CO (c), CO(M), CO(m))
- Poro (Código PO (c), PO (M)).
- Agujeros (Códigos AG (c), AG (M)).
- Espesor (Código ES(c), ES (m)).
- Suciedad en superficie (Código SS (m)).

Etapa #3: Una vez la calandra se ha cortado y está lista para su comercialización (producto terminado)

Para garantizar que el canto se encuentra en condiciones óptimas y que cumple con sus funciones de manera correcta sin sufrir daños durante el corte, y a fin de plasmar los controles y poseer una base de datos de los posibles fallos producidos para eliminar la causa raíz de los mismos cuando se producen, se realiza esta última verificación antes de ser enviado al cliente. Además, pueden realizarse correcciones en la colorimetría una vez se ha finalizado los procesos de extrusión si se añade la decoración empleada en algunas situaciones para cubrir defectos mayores y de este modo camuflar los deméritos y poder aprovechar material que se debería descartar como material no conforme.

Con esta operación se analizarán de manera global todos los defectos. Aunque se da una mayor relevancia a la colorimetría ya que el documento generado con el software será el comprobante del de conformidad de la colorimetría, siendo este uno de los parámetros más reclamados y con mayor impacto económico sobre la empresa.

7.3 Herramientas de control estadístico

7.3.1 Herramientas de control estadístico

Para llevar a cabo las inspecciones de calidad de una manera estandarizada y siempre con la misma metodología, se propone usar las diferentes herramientas de control de calidad durante las distintas etapas de inspección.

A continuación, se muestra un resumen de los defectos que se deben inspeccionar en cada una de las etapas de inspección anteriormente mencionadas durante el propio proceso productivo, así como la herramienta que se debe utilizar para medir cada uno de ellos.

Tabla 4: Etapa y herramienta de control de calidad por defecto

DEFECTO	TIPO	HERRAMIENTA	ETAPA		
			# 1	# 2	# 3
Desviación de colorimetría	Variable	Gráfico "X-R"	X	X	X
Espesor	Variable	Gráfico "X-R"		X	X
Grabado de poro	Atributo	PRD (muestreo)		X	X
Arqueado longitudinal	Atributo	PRD (muestreo)			X
Ausencia del primer	Atributo	PRD (muestreo)		X	X
Adhesividad de primer	Variable	Gráfico "X-R"	X		X
Agujeros/ picadas	Atributo	PRD (muestreo)	X	X	
Suciedad en superficie	Atributo	PRD		X	

Fuente: Elaboración propia.

7.3.1.1 Inspección por muestreo.

Tanto los controles realizados sobre la materia prima como los que se realizan en las propias bobinas en la tercera fase de control deben realizarse mediante muestre debido a la dificultad y al elevado tiempo que supondría realizar un control total del 100% del producto, o por la pedida de material debido a la realización de pruebas a la materia prima de forma destructiva.

Como simulación del método de muestreo empleado se muestra el siguiente ejemplo: suponiendo un tamaño de lote de 100 unidades (número de rollos o Kg de materia prima recibidos) y para un nivel de inspección II (siempre se requiere la realización de al menos la verificación de una muestra, a menos que se especifique lo contrario), se debe tomar en cuenta la letra F según se indica en las tablas del Military Standard (Ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**). Estas tablas nos muestran además del tamaño de muestra que se debe tomar con respecto del tamaño de producto a analizar, los criterios de aceptación y rechazo que se debe tener y seguir para la determinación de aceptación o rechazo de un lote indicando la calidad deseada y por lo tanto que se pueda equiparar con el Nivel de Calidad Aceptable definido por la empresa (estos valores de calidad aceptable deben conocerse y emplearse a la hora de la determinación del criterio de aceptación para conocer los límites aceptables). Una vez obtenidos y claros los límites teóricos de aceptación y rechazo, se procede a la toma de muestras que se ha definido previamente, y se realizan las pruebas pertinentes

dependiendo del material a analizar siguiendo siempre los criterios de aceptación y rechazo, junto con las reglas de cambio entre los distintos niveles de inspección y el modo de actuación plasmado en el diagrama que se ha mostrado con anterioridad en la Figura 1.

Debido a que hasta el comienzo de este estudio no se hacía ningún control sobre las materias primas de manera estandarizada, se realizó un análisis de las últimas recepciones de materia prima y según las reclamaciones realizadas, se determinó tomar como criterio inicial un nivel de inspección normal en muestra simple. Debiéndose pasar a muestreo riguroso si se producen 2 rechazos en las últimas 5 inspecciones, así como disminuir el número de muestreos si se pasa a un muestreo reducido una vez se encadenen 10 inspecciones sin que se produzca ningún rechazo u observación. Junto con los análisis se procederá a generar los respectivos informes a los proveedores para comunicarles los resultados obtenidos, haciéndoles conocedores de la implantación del nuevo sistema de control de calidad, lo cual se realiza con la finalidad de que estos adquieran una actitud proactiva y mejoren sus sistemas al igual que la empresa si se detectan desviaciones en sus materiales.

Debido a que hay producciones en las cuales el cliente no da gran importancia al parámetro de colorimetría, es posible que, aunque se produzcan desviaciones en algunos lotes, estos se etiqueten como NO CONFORME, pero con la indicación de usar en ciertas referencias en las cuales este aspecto no aplica. Previamente se ha llegado a un acuerdo con los proveedores para ajustar los precios de estas ya que no son de la calidad estipulada y por lo tanto su precio será inferior, por lo que se deberá adjuntar un informe específico del material etiquetado de este modo que demuestre el defecto.

Con esta actuación la empresa no sólo ahorra en costes al emplear materias primas de peor calidad en las producciones de calidad inferior, sino que también puede aprovechar estas materias primas que ya tenemos y consideradas de mala calidad y de este modo no tener que modificar las planificaciones productivas y poder emplear el material que se posee en el almacén.

A continuación, se muestran los diseños de las plantillas empleadas para la recolección de datos con muestra tanto para los operarios que realizan las pruebas en máquina, como el Responsable de Calidad que es el encargado de realizar la comprobación de los insumos y estipulas las muestras que se deben de realizar en cada producción y recepción de materia prima. Cabe destacar que, aunque ambas plantillas son similares, la que:

Tabla 5: Plantilla de recolección de datos para el control de los insumos para el Responsable de Calidad

Plantilla de Recolección de datos												
Información general												
Código de Material												
Fecha de recepción de la materia prima												
Fecha de inspección												
Operario												
Características a medir												
Nombre y código del defecto												
Descripción del defecto												
Instrumento de medición												
Medición												
Toma de muestras												
ID	Tipo de muestreo	Tipo de inspección	Tamaño de lote	Letra	NCA	Muestras	A	R	Resultados	Decisión final del lote		
										Conforme	No conforme	2ª Calidad
1												
2												
3												
4												
5												
6												
7												
8												
9												
10												
11												

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6: Plantilla de recolección de datos para el control del producto final en producción

Plantilla de Recolección de datos											
Información general											
Código de Material											
Fecha de recepción de la materia prima											
Fecha de inspección											
Operario											
Características a medir											
Nombre y código del defecto											
Descripción del defecto											
Instrumento de medición											
Medición											
Toma de muestras											
ID	Tipo de muestreo	Tipo de inspección	Tamaño de lote	Letra	NCA	Muestras	A	R	Resultados	Decisión final del lote	
										Conforme	No conforme
1											
2											
3											
4											
5											
6											
7											
8											
9											
10											
11											

Fuente: Elaboración propia.

Para que el Responsable de Calidad pueda llevar a cabo la inspección por muestreo, se le entregaría una carpeta con todas las tablas necesarias para conocer la letra código según el tamaño de muestra y los planes de muestreo según el tipo de inspección y muestreo en el que se encuentre, es decir, se le darían las tablas del **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** al **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, además de las plantillas mostradas en el presente apartado (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** y Tabla 8).

Con respecto a los operarios de fábrica se les informará por medio de las ordenes de fabricación de manera directa el número de muestras que se deben tomar en cada producción según el tamaño y cuál es el rango de aceptación del lote, facilitando de este modo su trabajo y no sobre cargándoles de tareas para permitirles que se centren en producir con calidad, al mismo tiempo que se eliminan posibles errores a la hora de gestionar estos controles.

7.3.1.2 Análisis de capacidad

La empresa estudiada posee unas tolerancias de desviación de color máxima previamente establecida con un valor de erro de dE^* máximo de 1 en canto unicolor y de 1,5 en cantos decorados, por lo que se propone realizar una verificación de la capacidad del proceso, para comprobar que de este modo se van a cumplir con las especificaciones ofrecidas a los clientes y a mayores saber si se deben reestablecer unos límites nuevos, ya que no se han verificado estos límites desde antes la

implantación de las mejoras de control de calidad del sistema. De este modo se conseguirá que los valores obtenidos en las producciones se asemejen más a los valores reales de producción y sin distorsiones del proceso productivo de la empresa por exigencias utópicas o demasiado pesimistas.

Para establecer los límites, inicialmente se debe realizar una comprobación lo suficientemente significativa para no obtener datos distorsionados. Para ello se tomaron muestras durante un periodo de dos semanas y de esos valores se tomaron de manera aleatoria 25 de ellos como muestras para analizar. Una vez se han determinado las muestras, se procede a realizar el cálculo de la media de las mismas, tanto para cada número de tomas (ya que se deberán de realizar al menos por cuadruplicado), como una media general de los promedios. Así mismo, se deberá calcular la desviación estándar de los datos obtenidos para una misma muestra, para luego generar el promedio de las desviaciones mismas. Posteriormente, se aplicará la Ecuación 25 Límite índice inferior de capacidad, la cual se usa en los casos en los que el cliente tenga una especificación Superior, como es en el caso actual.

En resumen, se calculará la media de las medias y la media de las desviaciones estándar. Adicionalmente, se usará la tolerancia inferior de cada uno de las variables estudiadas. Para el caso de canto unicolor la tolerancia superior es de un $dE^* 1$ y para cantos decorados de 1,5.

7.3.1.3 Análisis índice de correlación

Puesto que se ha establecido un sistema de prueba de prueba de las mezclas previa a la extrusión del producto, se quiere comprobar el grado de seguridad que pueden aportar los valores obtenidos mediante estas pruebas, que pese a estar resultando favorables a priori. Se quiere conocer de forma cuantitativa la correlación existente entre ambos procesos ya que, aunque se han intentado realizar lo más similares posibles, no se han podido hacer iguales por capacidad de la planta y por la maquinaria disponible.

7.3.1.4 Gráficos " \bar{x} -R" (Gráficos de control por variables)

En sectores donde se busca trabajar con gran precisión, son empleados con carácter obligatorio o casi obligatorio los gráficos " \bar{x} -S" como sistema de control del proceso; como pueden ser el sector aeroespacial o de transportes. Sin embargo, para realizar controles en las industrias de plástico normalmente se emplean los gráficos de tipo " \bar{x} -R" debido a su simplicidad y gran similitud en la mayoría de los casos con los resultados obtenidos mediante los gráficos " \bar{x} -S".

En este caso, debido al foco del trabajo en la colorimetría, se empleará sobre esta variable. Siendo esta variable verificada y controlada en todas y cada una de las etapas de inspección. Sin embargo, para no repetirme en los cálculos y sirviendo como ejemplo, se van a analizar únicamente los valores obtenidos en la etapa #3 de inspección

Para el establecimiento de los límites de control se debe tener en cuenta el tamaño de la muestra, ya que de éste depende el valor de A_2 (Gráfico de medias) y de D_3 (Gráfico de desviaciones). Los cuales se establecen con ayuda de la tabla del **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..** En este caso se generaron 4 (cuatro) muestras por número de toma, por lo cual, el valor de A_2 es 0,729 y de D_3 es 2,282.

De esta manera, aplicando las ecuaciones 1 a 5, se obtienen los siguientes límites de control:

Tabla 7: Límites de control para el gráfico “ \bar{x} -R” del defecto “desviación de color unicolores”

Medias	LCS	0,555
	LC	0,418
Recorridos	LCS	0,270
	LC	0,119

Fuente: Elaboración propia.

Canto Unicolor

En este caso, el límite de control inferior que se establece en los gráficos, tanto en el de medias como en el de recorridos, es 0, ya que no se busca el proteger a la empresa contra valores bajos puesto que en este caso son beneficiosos ya que supone que no hay error. Mientras más cerca se encuentren las muestras la una de la otra, mejor será el comportamiento del proceso y mientras más bajo sea la media de desviaciones, más se asemejará el color a lo establecido por el cliente.

Con los límites de control mencionados en la Tabla 9, se procede a elaborar la plantilla del gráfico que servirá de base para ubicar cada una de las muestras que se tomen y analizar el comportamiento de los valores a lo largo del tiempo.

A continuación, se muestra el gráfico “ \bar{x} -R” (de medias y de recorridos) utilizado para controlar la variable del límite de colorimetría en canto de PVC unicolor.

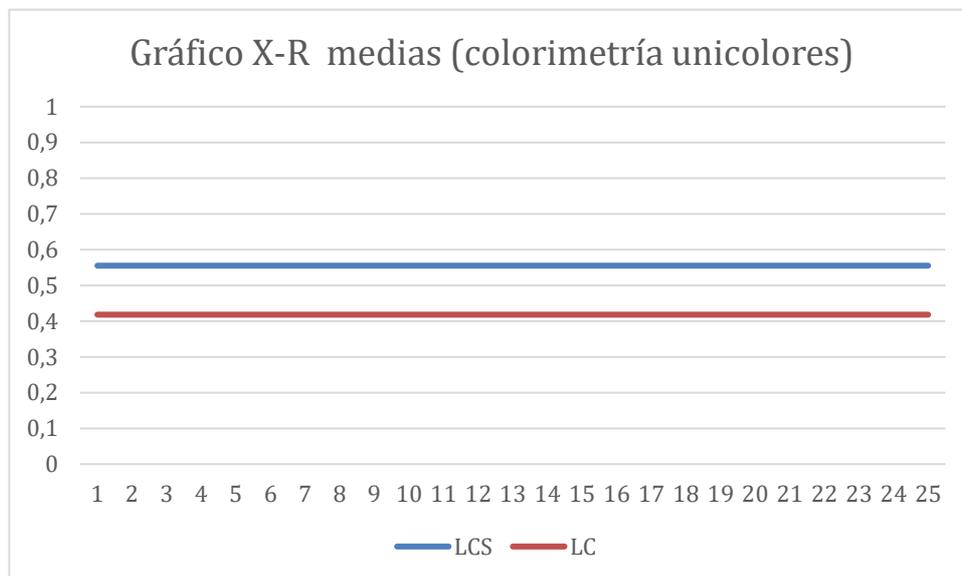


Ilustración 4: Gráfico de medias “ \bar{x} -R” para el defecto “colorimetría de canto unicolor”

Fuente: Elaboración propia.

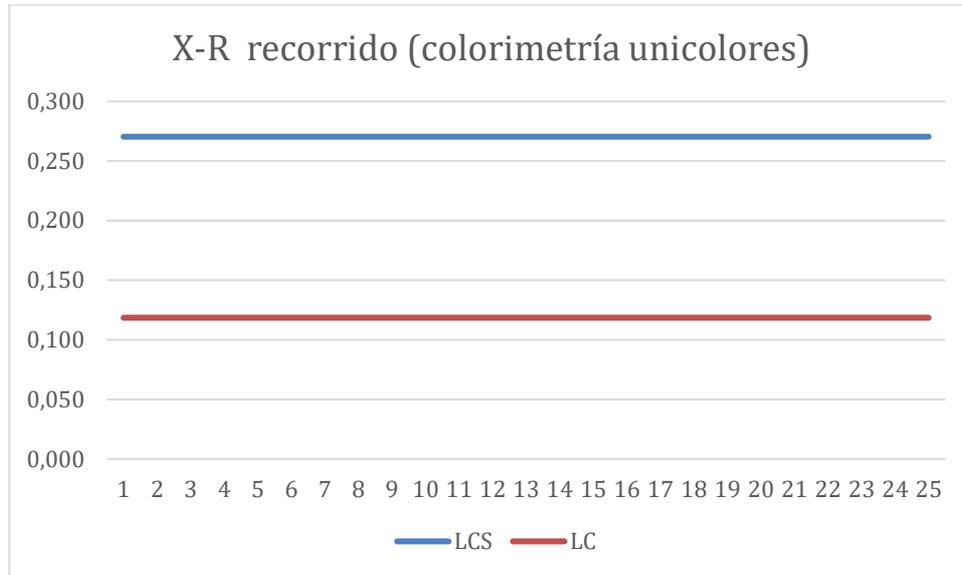


Ilustración 5: Gráfico de recorridos “ \bar{x} -R” para el defecto de “colorimetría de canto unicolor”

Fuente: Elaboración propia.

Canto Decorado

En este caso, no se deben emplear los mismos límites que en el canto unicolor ya que para la elaboración de estos cantos se emplea granza, por lo que son considerados de menor calidad. Al mismo tiempo que como se decora el producto se puede permitir mayores defectos de colorimetría.

Al igual que en los gráficos de unicolores, este tipo de gráfico tendrá utilidad para el control de calidad de la variable de colorimetría del canto empleados tanto en todas las etapas de inspección. Siendo empleados únicamente los valores obtenidos en la etapa #3 de inspección.

Para el establecimiento de los límites de control se debe tener en cuenta el tamaño de la muestra, ya que de éste depende el valor de A_2 (Gráfico de medias) y de D_3 (Gráfico de desviaciones). Los cuales se establecen con ayuda de la tabla del **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** En este caso se generaron 4 (cuatro) muestras por número de toma, por lo cual, el valor de A_2 es 0,729 y de D_3 es 2,282.

De esta manera, aplicando las ecuaciones 1 a 5, se obtienen los siguientes límites de control:

Tabla 8: Límites de control para el gráfico “ \bar{x} -R” del defecto “desviación de color decorados”

Medias	LCS	1,481
	LC	1,345
Recorridos	LCS	0,34
	LC	0,153

Fuente: Elaboración propia.

Así como se mencionó en el apartado anterior, para la determinación de los límites para el canto decorado no se aplica ningún tipo de límite inferior en ambos, ya que este se considera 0 debido a

que como se trabaja con valores absolutos, lo ideal es que no se presente desviación de color y no se debe proteger contra valores bajos.

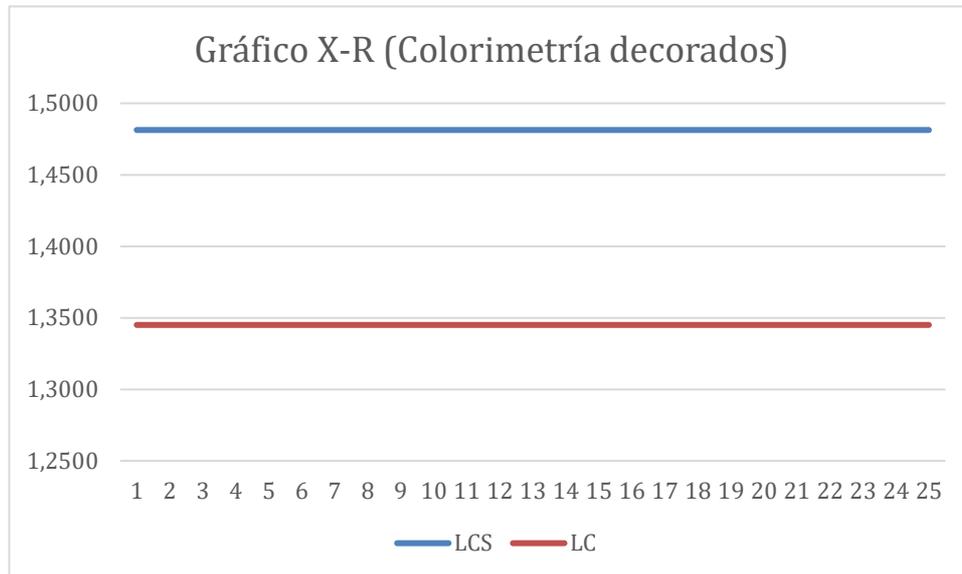


Ilustración 6: Gráfico de medias “X-R” para el defecto de “colorimetría de canto decorado”

Fuente: Elaboración propia.

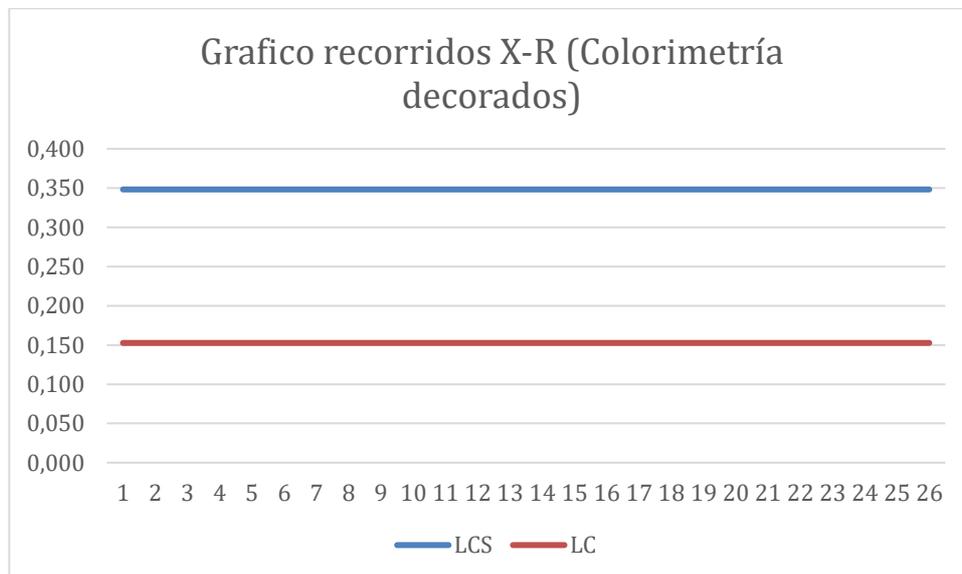


Ilustración 7: Gráfico de recorridos “X-R” para el defecto de “colorimetría de canto decorado”

Fuente: Elaboración propia.

7.3.1.5 Coeficiente de correlación entre extrusoras

Para determinar la correlación se van a emplear dos extrusoras. La extrusora de producción y la extrusora de prueba con condiciones de temperatura, velocidad de rodillos y presión controladas y en valores iguales para amortiguar las posibles variaciones que se produzcan por las diferentes

características entre ellas, tomando como datos para analizar la comparativa de los obtenidos en la etapa #1 con respecto a los obtenidos en la etapa #3.

La extrusora de producción se caracteriza por ser una extrusora con una longitud de más de 3 metros, poseer doble usillo y tener control de temperaturas en 7 puntos dentro de la cámara de extrusión. A mayores, posee tras la zona de extrusión una bañera de agua de refrigeración. La zona de plastificación de esta extrusora posee una apertura de 1mm.

En el caso de la extrusora de prueba, esta es mono usillo, y posee una longitud de tan solo 1m. Posee una zona de refrigeración con agua de forma manual. La apertura de la zona de plastificación al igual que en la extrusora de producción es de 1mm.

Para la realización de las pruebas en ambas máquinas se requirió la mano de obra de los operarios expertos en cada una y con mayor destreza y experiencia, previamente habiendo estandarizado el proceso de extrusión por completo y habiendo verificado que los sistemas de extrusión en ambos casos son repetibles.

Para asegurar la correcta manipulación de las mezclas y comprobar que las mezclas están bien realizadas se realizaron ambas mezclas de manera simultánea y fue revisado in-situ la correcta manipulación de los materiales y la comprobación de las proporciones empleadas para las mismas.

7.3.2 Uso de herramientas de calidad

7.3.2.1 Inspección por muestreo

Para realizar la inspección por muestreo, se toma como ejemplo los valores de control de colorimetría de los insumos, ya que no se puede controlar todo el material. Para ello tomamos como ejemplo un lote de 100 unidades (sacos de 20kg) y un nivel de inspección II, por lo tanto, la letra que se debe usar es la F, indicando que para realizar el control de manera correcta se deben tomar un total de 20 muestras en el plan de muestreo especificado. Adicionalmente, considerando que la empresa tiene un NCA de 2,5 %, los valores de aceptación y rechazo son 1 y 2 respectivamente (extraídos de la tabla del **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**). Además, se debe seguir las reglas de paso entre un nivel de inspección a otro (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**), obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 9: Inspección por muestreo para el defecto “colorimetría granza”

Plantilla de recolección de datos												
Características a medir												
Nombre y código del defecto	Colorimetría (CO)											
Descripción del defecto	La granza presenta una desviación de color superior a 1											
Instrumento de medición	Espectrofotómetro											
Medición	Desviación de color											
Toma de muestras												
N	Tipo muestreo	Tipo inspección	Tamaño lote	Letra	NCA	Muestras	A	R	Resultados	Decisión para el lote		
										Conforme	No Conforme	2ª Calidad
1	Simple	Normal	100	F	2,50%	20	1	2	0	X		
2	Simple	Normal	40	D	2,50%	8	0	1	0	X		
3	Simple	Normal	80	E	2,50%	13	1	2	1			X
4	Simple	Normal	40	D	2,50%	8	0	1	0	X		
5	Simple	Normal	50	D	2,50%	85	0	2	0	X		
6	Simple	Normal	20	C	2,50%	5	0	1	0	X		
7	Simple	Normal	40	D	2,50%	8	0	1	0	X		
8	Simple	Normal	30	D	2,50%	8	0	1	0	X		
9	Simple	Normal	40	D	2,50%	8	0	1	0	X		
10	Simple	Normal	100	F	2,50%	20	1	2	1			X
11	Simple	Reducida	50	D	2,50%	3	0	1	0	X		
12	Simple	Reducida	60	E	2,50%	5	1	2	2		X	
13	Simple	Normal	20	C	2,50%	5	0	1	0	X		
14	Simple	Normal	20	C	2,50%	5	0	1	0	X		
15	Simple	Normal	40	D	2,50%	8	0	1	0	X		
16	Simple	Normal	50	D	2,50%	8	0	1	1			X
17	Simple	Rigurosa	30	D	2,50%	8	0	1	0	X		
18	Simple	Rigurosa	30	D	2,50%	8	0	1	0	X		
19	Simple	Rigurosa	90	E	2,50%	13	1	2	1			X
20	Simple	Rigurosa	70	E	2,50%	13	1	2	2	X		

Fuente: Elaboración propia.

Si se quisiera conocer el riesgo del proveedor y del consumidor obtenidos en el primer muestreo realizado (muestreo simple, inspección normal), basados en una distribución binomial, se debe proceder a buscar en la tabla correspondiente a este parámetro en los **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** a **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, empleando para ello la letra F y el nivel de calidad aceptable 2,5 %:

- **Riesgo del proveedor:** el porcentaje de lotes no aceptados cuando realmente están correctos en el plan de muestreo simple y un nivel de inspección normal, sería del 8,82 %.
- **Riesgo del consumidor:** el porcentaje de elementos no conformes aceptados por el consumidor mediante el plan de muestreo simple y un nivel de inspección normal, sería de 18,1 %.

Por lo tanto, la probabilidad de rechazar un lote bueno con el NCA especificado es de 8,82 % y la probabilidad de aceptar un lote malo es de 18,1 %.

7.3.2.2 Análisis de capacidad

Para analizar la capacidad del canto unicolor se toman 25 muestras con una las muestras de producción unicolor con una distribución normal de media 0,46 y desviación estándar de 0,14.

Tabla 10: Análisis de capacidad canto unicolor

Nº muestra	1	2	3	4	Media	Desviación
1	0,23	0,57	0,28	0,23	0,33	0,027
2	0,27	0,11	0,29	0,23	0,225	0,007
3	0,56	0,49	0,58	0,55	0,54	0,003
4	0,54	0,35	0,42	0,42	0,43	0,006
5	0,59	0,63	0,58	0,61	0,60	0,000
6	0,32	0,33	0,17	0,43	0,31	0,011
7	0,19	0,18	0,33	0,34	0,26	0,008
8	0,49	0,33	0,53	0,79	0,53	0,036
9	0,71	0,55	0,49	0,58	0,58	0,009
10	0,31	0,39	0,4	0,4	0,37	0,002
11	0,6	0,55	0,59	0,63	0,59	0,001
12	0,49	0,48	0,49	0,52	0,49	0,000
13	0,5	0,51	0,48	0,56	0,51	0,001
14	0,59	0,73	0,69	0,76	0,69	0,005
15	0,4	0,48	0,49	0,45	0,45	0,002
16	0,55	0,59	0,58	0,52	0,56	0,001
17	0,4	0,48	0,49	0,45	0,45	0,002
18	0,28	0,43	0,31	0,69	0,43	0,035
19	0,56	0,37	0,34	0,81	0,52	0,047
20	0,6	0,54	0,44	0,53	0,53	0,005
21	0,46	0,56	0,47	0,49	0,49	0,002
22	0,36	0,38	0,36	0,38	0,37	0,000
23	0,36	0,32	0,33	0,39	0,35	0,001
24	0,59	0,55	0,43	0,47	0,51	0,005
25	0,14	0,27	0,39	0,08	0,22	0,019
					0,46	0,009

Fuente: Elaboración propia.

Con los datos mostrados en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, se procede a aplicar la fórmula correspondiente al análisis de capacidad por la derecha, para verificar si el proceso es capaz y por tanto, si cumpliría con las tolerancias máximas estipuladas por el p-cliente y con las que se tienen dentro de la empresa con respecto a las especificaciones internas.

Los resultados son:

$$\mu = 0,46$$

$$Ts = 1$$

$$\sigma = 0,009$$

$$3\sigma = 0,0279$$

Aplicando la Ecuación 25:

$$Cps = \frac{Ts - \mu}{3\sigma}$$

$$Cps = \frac{1 - 0,46}{0,0279}$$

$$Cps = 19,45$$

Debido a que el resultado es mayor que 1, se dice que el proceso es capaz por la derecha y por lo tanto se pueden cumplir con las especificaciones de los clientes con respecto a los cantos unicolores.

Tabla 11: Análisis de capacidad canto decorado

Nº muestra	1	2	3	4	Media	Desviación
1	1,26	1,28	1,77	1,52	1,458	0,057
2	1,13	1,33	1,19	1,66	1,328	0,056
3	1,25	1,35	1,25	1,11	1,240	0,010
5	1,07	1,08	1,27	1,23	1,163	0,010
5	1,37	1,39	1,31	1,35	1,355	0,001
7	1,41	1,32	1,4	1,37	1,375	0,002
8	1,2	1,19	1,2	1	1,148	0,010
9	1,26	1,3	1,49	1,31	1,340	0,010
11	1,26	1,36	1,35	1,29	1,315	0,002
12	1,35	1,36	1,35	1,37	1,358	0,000
14	1,51	1,35	1,49	1,36	1,428	0,007
15	1,46	1,4	1,16	1,2	1,305	0,022
19	1,37	1,44	1,34	1,38	1,383	0,002
20	1,22	1,14	1,29	1,16	1,203	0,005
21	1,46	1,42	1,45	1,51	1,460	0,001
22	1,6	1,51	1,5	1,48	1,523	0,003
24	1,5	1,53	1,54	1,51	1,52	0,000
25	1,45	1,33	1,43	1,36	1,3925	0,003
26	1,65	1,62	1,51	1,39	1,5425	0,014
27	1,55	1,56	1,8	1,66	1,6425	0,013
28	1,58	1,56	1,7	1,7	1,635	0,006
29	1,44	1,52	1,41	1,5	1,4675	0,003
30	1,38	1,41	1,66	1,39	1,46	0,018
32	1,39	1,29	1,35	1,31	1,335	0,002
31	1,46	1,36	1,33	1,41	1,390	0,003
					1,391	0,010

Fuente: Elaboración propia.

Con los datos mostrados en la 9, se procede a aplicar la fórmula correspondiente al análisis de capacidad por la derecha al igual que en el caso del canto unicolor, para verificar si el proceso es

capaz y, por tanto, si cumpliría con las tolerancias máximas que se han determinado que el proceso de decoración puede cubrir y disimular al emplear las bases con desviación de color.

$$\mu = 1,39$$

$$Ts = 2$$

$$\sigma = 0,010$$

$$3\sigma = 0,030$$

Aplicando la Ecuación 25:

$$Cps = \frac{Ts - \mu}{3\sigma}$$

$$Cps = \frac{2 - 1,39}{0,03}$$

$$Cps = 88,82$$

Debido a que el resultado es mayor que 1, se dice que el proceso es capaz por la derecha y por lo tanto se pueden cumplir con las especificaciones del proceso para las bases de canto decorado.

Por lo tanto, la empresa es capaz de producir de manera correcta con respecto a los límites que le han impuesto los clientes. Destacando que posee unos valores muy elevados de capacidad, lo que indica que incluso podría aumentar sus exigencias y asegurar una mayor similitud de colorimetría de la que actualmente asegura a sus clientes.

7.3.2.3 Análisis índice de correlación

Tabla 12: Análisis de correlación lineal

Producción			Prueba		
dL*	da*	db*	dL*	da*	d*2
0,43	0,02	-0,37	-0,96	0,09	1,01
1,04	-0,32	-1,55	-0,54	-0,2	-0,94
0,58	0,22	-0,6	-0,16	0,52	-0,69
-1,81	0,08	-2,5	-1,02	0,27	-2,74
-1,1	-0,45	-0,31	-0,86	-0,34	0,44
-1,04	-0,14	-2,75	-1,62	0,8	-1,53
1,07	-0,09	-2,29	0,58	0,25	-1,7
-0,46	0,4	1,11	-0,38	0,53	2,11
-0,14	0,39	-1,22	0,86	0,41	1,64
0,1	1	0,57	0,27	0,17	1,83
-0,88	-0,19	0,09	-0,71	0,05	0,69
-0,18	0,56	-1,3	-0,49	0,44	-0,81
-0,22	0,38	-0,19	0,03	0,05	-0,4
0,95	-0,41	0,14	-0,42	-0,19	0,67
-0,42	-0,74	-0,94	-1,04	-0,31	0,66
-0,89	0,14	-0,07	-1,23	0,04	1,14
-0,94	-0,61	1,36	0,22	-0,34	1,51

1,02	-0,32	0,91	0,92	-0,24	1,83
1,62	-0,25	0,71	0,53	-0,47	1,22
2,24	0,2	-0,27	0,47	0,66	1,77
-0,62	0,14	0,23	-0,28	-0,33	-0,28
-0,63	0,08	0,1	-0,28	-0,33	-0,28
-0,79	0,09	0,16	-0,28	-0,33	-0,28
-2,96	0,45	-0,44	-2,68	0,48	0,48
-2,31	0,19	-0,47	-2,68	0,48	0,48
-1,11	-0,55	0,11	0,61	0,03	0
1,67	0,16	0,2	0,1	0,19	0,34
1,07	0,01	0,86	0,23	-0,35	2,07
1,4	0,19	-0,69	0,02	0,57	-0,09
-0,99	0,04	1,15	-0,26	0,07	2,19
0,45	0,01	-0,24	0,85	-0,03	1
2,03	0,71	-6,24	0,42	0,74	-3,56
2,62	1,02	-4,55	0,59	1,22	-2,85
-2,7	0,24	1,21	-3,32	0,19	3
-0,2	0,22	1,23	-0,87	0,24	1,62
1,56	0,71	-0,11	-0,71	0,65	0,3
0,97	-0,26	-1,59	-0,32	0,05	-0,24
0,22	1,36	-2,64	-1	1,23	-1,9
0,95	-0,22	-2,69	-0,36	0,09	-0,79
0,47	-0,7	-1,93	-1,03	-0,52	-0,66
-0,71	-0,17	-0,05	-1,84	-0,08	0,77
1,45	0,66	-1,86	0,5	0,9	-1,32

Fuente: Elaboración propia.

A partir de los datos mostrados tanto de L^* , como de a^* y b^* se ha realizado la correlación de ambas extrusoras, obteniendo una correlación de 0,705. Esto quiere decir que existe una relación directa entre ambas extrusoras y que se puede asegurar la colorimetría de la producción en un 70,5% mediante la realización de pruebas previamente a ser extrusionada la mezcla. Permitiendo de este modo prever posibles fallos de reformulados.

Sin embargo, pese a ser un algo nivel de correlación se debe seguir trabajando en este proceso de prueba, ya que se debería buscar al menos un coeficiente de correlación entre el 0,8 o 0,85 para que realmente sea útil y de este modo asegurar casi por completo las producciones.

7.3.2.4 Gráficos " \bar{x} -R"

Debido a que tanto los gráficos de unicolor, como los de decorados son muy similares, únicamente se va a realizar el análisis de los gráficos " \bar{x} -R" de la colorimetría de los cantos decorados, ya que en estos se pueden observar algunas variables más como la mezcla de tintes que en los cantos unicolores no se pueden observar o a penas poseen influencia. Debemos tener en cuenta que los valores siguen una distribución normal de medias de 1,34 (target) y con una desviación estándar de 0,13, obteniendo los siguientes gráficos.

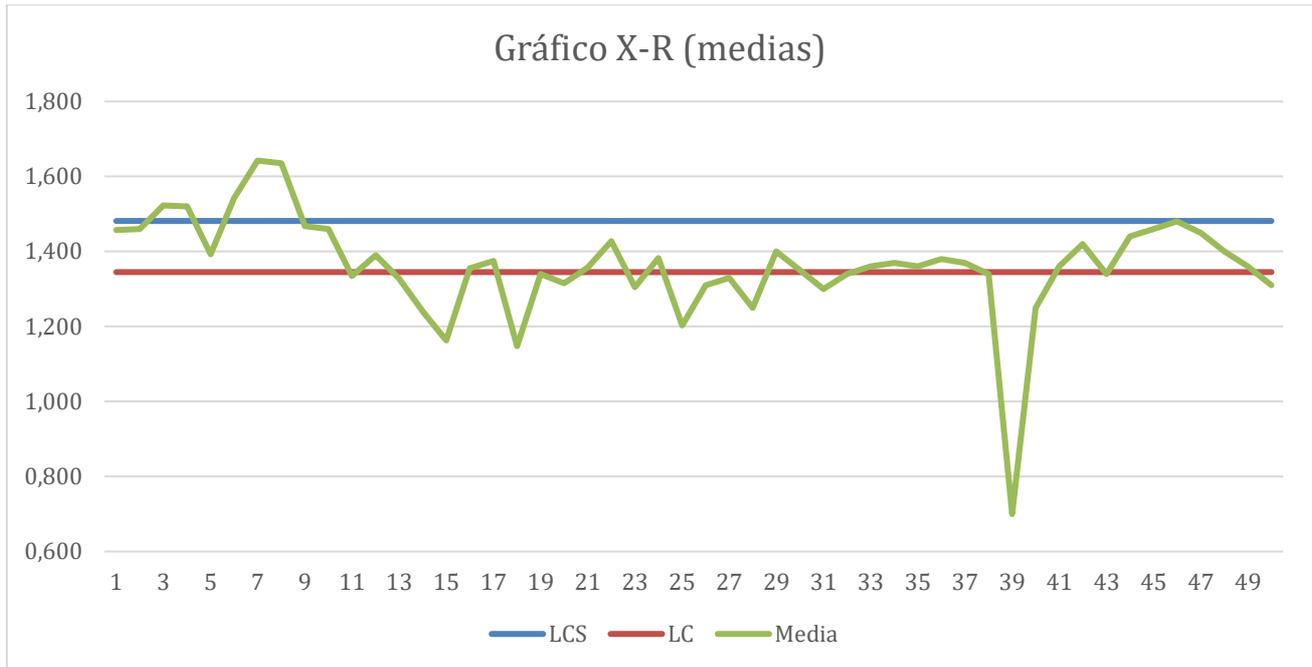


Ilustración 8: Gráfico de medias “ \bar{x} -R” para el defecto “colorimetría de canto decorado

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en el **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, se presenta ningún punto por fuera del límite de control superior destacando que estos puntos se encuentran al inicio de los muestreos. Esto es debido a que al comienzo del estudio pese a las recomendaciones del Responsable de Calidad, la dirección no veía la necesidad de realizar controles de la materia prima, achacando las desviaciones de color a fallos de los operarios. Sin embargo, tras verificar que en estos primeros puntos no se produjo ningún problema aparente por parte de producción se comenzó a analizar y comprobar la calidad de la materia prima.

Otro valor a tener en cuenta es el recolectado en la muestra 39 ya que el valor es anómalamente bajo. Pese a que no se han establecido límites de control inferiores, cabe destacar que este valor tan bajo coincide con una formulación de reciente creación ya que el cliente había aprobado el patrón con poca antigüedad, por lo que esta mezcla se encontraba actualizada y realizada con las nuevas fórmulas del proveedor de la materia prima, ya que se ha cambiado el sistema de producción de los proveedores, pero las fórmulas de la empresa no se han comprobado con los nuevos parámetros.

Por último, habría que destacar el ascenso de los valores de manera más o menos progresiva entre la muestra 43 y 46 pudiendo achacarse esto al empleo de materia prima que pese a estar dentro de los límites de aceptación se encontraba muy próximo a este.

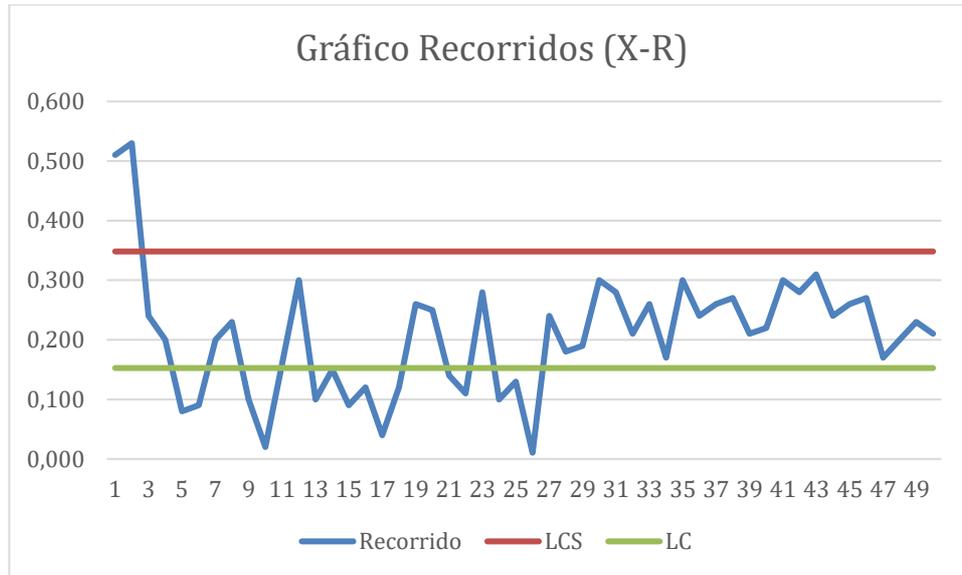


Ilustración 9: Gráfico de recorridos “ \bar{x} -R” para el defecto de “colorimetría de canto decorado”

Fuente: Elaboración propia.

Como se muestra en el gráfico de recorridos del canto decorado (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**), podemos observar que los primeros 3 puntos del gráfico están muy por encima del límite superior establecido. Esto se debe a una mala calibración del instrumental, la cual se corrigió tras detectarse el problema al ver que existía gran variación entre las distintas mediciones de la misma muestra. Con respecto del resto de muestras, a pesar de haber variación entre los puntos, no es motivo preocupante, ya que no es una variación muy alta y al mismo tiempo no existen más puntos que se salgan de los límites de control indicando que el problema de calibración ha sido solventado de manera correcta.

7.3.3 Diseño de planes de acción

Paso 1: Revisión de los sistemas de calidad que se tenían con anterioridad.

En el momento de inicio del control, la empresa no poseía ningún sistema de control de calidad. Sin embargo, como había solicitado la certificación de la ISO 9001 algunos años atrás, pese a que en el inicio del proyecto no se poseía la certificación sí que existían algunos registros de utilidad que se pudieron tomar como base para comenzar a trabajar. Es por ello que el primer paso que se dio fue el de repasar toda la información que se poseía sobre calidad y ver que se puede incluir para establecer el sistema de calidad nuevamente y que tuviera un seguimiento e implantación duradera en el tiempo.

De este modo se obtuvo el estudio previo que se había realizada sobre la “Definición de Defectos” y las especificaciones que se habían concretado con los clientes que debían cumplir los productos. Sirviendo por tanto estos datos como guía de inicio para

Paso2: Formación y capacitación de los distintos eslabones en la cadena productiva sobre el nuevo sistema de control de calidad y del uso de las distintas herramientas empleadas para ello.

Llevar a cabo sesiones de trabajo con las personas que vayan a colaborar en el proceso de control de calidad mediante reuniones tanto dentro de su turno como en horas extra remuneradas como forma

de demostrar la importancia que va a tener el sistema de calidad y que la dirección está completamente dispuesta a colaborar. Estas sesiones se emplearon para y tratar temas como:

- La importancia que posee el control de calidad en la empresa y sobre todo el roll que posee cada uno de los operarios de planta en este proceso.
- Revisión con los operarios de máquina el estudio de la “Definición Operativa de Defecto” específica de e identificación de posibles nuevos defectos que se hayan podido suceder y que no están registrados.
- Introducción a las bases de la inspección por muestreo y explicación del nuevo sistema de muestreo y como se debe interpretar.
- Explicación de gráficos y plantillas de recolección de datos puesta en marcha.
- Identificación de señales fuera de control en cada uno de los gráficos elaborados para el control de calidad y forma de actuación en estos casos durante el propio proceso productivo.
- Conceptos de análisis de capacidad de proceso.

Paso 2: Empleo de las herramientas de control de calidad para comprobar los defectos en las distintas etapas productivas.

Una vez se haya capacitado a todos los involucrados mediante sesiones teóricas y prácticas sobre el sistema de control de calidad, se procederá a la implantación y puesta en funcionamiento del sistema de control de calidad en los tres turnos de producción y en todas las etapas del proceso productivas, teniendo en cuenta los tipos de defecto que se pueden producir y las herramientas de control requeridas para cada defecto.

Paso 3: Tomar acciones.

Una vez implementadas las plantillas y tras un periodo substancial para poder recolectar datos representativos, se procede al análisis de las mismas. Conjuntamente con el análisis se deben ir realizando acciones en correlación con los hallazgos observados en los datos recolectados durante el proceso productivo controlado.

Respecto a los gráficos “ \bar{x} -R”, se observarán las fluctuaciones que se producen entre los puntos, permitiendo a los propios operarios obtener posibles causas del problema, que serán revisadas y en las revisiones diarias junto con los responsables de calidad y producción para la búsqueda de soluciones de manera rápida y realizar un seguimiento si es posible o establecer un grupo de resolución de problemas específico para ese problema si se ve que supone un riesgo para futuras producciones o que es muy repetitivo. Es decir, cuando se encuentran tendencias, esto quiere decir que algunas de las variables se están alterando lentamente y puede requerir el reemplazo de alguna herramienta; si hubiese un punto por fuera de control, se debe suspender la producción y pasar a la siguiente indicando la causa para poder atacarla causa con la mayor brevedad posible. Y así se continuaría analizando los ciclos, dientes de sierra, rachas de puntos a un mismo lado de la línea central, y demás comportamientos mostrados en los gráficos.

Dentro de las acciones requeridas para atacar los problemas y obtener soluciones reales se emplearán las siguientes:

- **Diagrama de Pareto:** es una representación gráfica de los datos obtenidos de un problema. Se emplea para identificar los aspectos prioritarios a enfrentar. La Regla de Pareto, indica que, aproximadamente el 80 % de los problemas son causados por aproximadamente el 20 % de

las causas. Por lo que, si atajamos estas causas, nuestros problemas se verán reducidos significativamente. Por lo que para ello primero se deben definir muy bien las causas iniciales de todos los problemas.

- **5W2H:** recibe este nombre por las 7 preguntas que se realizan coincidiendo con los pronombres interrogativos en inglés. De este modo se pasa de un problema global a un problema enfocado en las posibles causas del mismo para que con ayuda de otras herramientas de calidad poder obtener soluciones definitivas y verdaderas sobre estas causas aisladas.
- **Diagrama causa – efecto:** También denominado como diagrama de espina de pescado, es una herramienta visual de gran importancia, ya que nos permite crear una relación entre los problemas y las causas que los generan, muchas veces son multifactoriales.

Las herramientas mencionadas anteriormente sirven para abordar las causas reales del problema para poder abordarlas y evitar que estas se produzcan en el futuro. Cabe destacar que están en orden de uso en la detección de un problema, y no siempre es necesario el empleo de todas ellas ya que muchas veces la causa raíz es tan obvia que no se requiere emplear más tiempo del necesario si a la solución del mismo.

Paso 4: Mantenimiento del software y calibración de herramientas y equipos.

El mantenimiento del software de colorimetría mencionado en el apartado 7.1.2 empleado por la empresa para el análisis y registro de las muestras deberá mantenerse y pagarse de manera anual, instalando las actualizaciones anuales que el proveedor lanza en los distintos ordenadores donde se disponga de sistemas de colorimetría ya que si los ordenadores no emplean la misma versión se pueden producir problemas en los archivos registrados con anterioridad. También se deben realizar calibraciones de todas las herramientas empleadas en el sistema de control de la calidad en el punto 7.1.2. Estas calibraciones al igual que las del software se deben realizar de manera anual por parte del proveedor siempre y cuando este tenga este servicio. En el caso del pie de rey, cuyo proveedor no dispone de servicio de calibración, se deberá realizar la calibración por parte del servicio de mantenimiento interno de la planta con el material certificado para su correcta calibración.

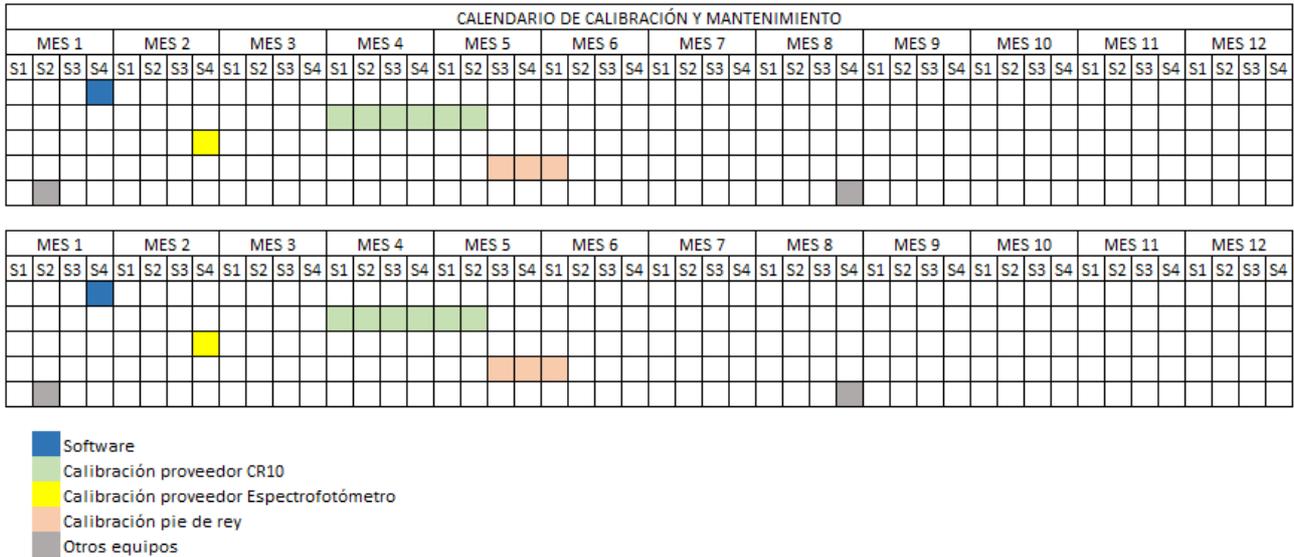
Para no quedarse la planta sin material de medición de colorimetría en línea se realiza la calibración de los colorímetros CR10 de manera escalonada y para sustituir el que está en fase de calibración, la empresa dispone de un dispositivo de backup por si se produce algún incidente.

De manera extraordinaria, además de la calibración anual, el espectrofotómetro debe calibrarse de manera diaria la medición de blanco con ayuda del patrón que envía el proveedor para realizar esta medición.

A modo de mantenimiento, se realizará una parada de manera semanal todos los viernes para realizar mantenimiento y limpieza de los sistemas de extrusión y control del material empleado para la producción, incluyendo en este una revisión general de las carretillas.

En la tabla siguiente se presenta el calendario de calibración y mantenimiento propuesto para las herramientas y el software para control de las herramientas de control.

Tabla 13: Calendario de calibraciones y mantenimiento de equipos



Fuente: Elaboración propia.

Cada instrumento calibrado constará de una etiqueta en la que se indique el mes de calibración y el año para que quede constancia de ello. Además, se llevará a cabo un registro informático de los mismos donde se incluya la información aportada por el proveedor sobre el estado en el que se entregó el material o alguna feedback recibido sobre el mismo

Paso 5: Control de la relación con los proveedores.

Previo a la implantación del sistema de control de la calidad, como este tiene consecuencias con respecto a los proveedores, se procedió a ponerse en contacto con ellos para exponerles la situación en la que la empresa se encontraba en el momento y cuáles eran los cambios que se iban a producir y los riesgos que estos suponían para ambas partes tras el cálculo de los riesgos tanto del consumidor como del proveedor. Con esto se buscaba establecer unas nuevas condiciones de trabajo para ambas partes, al mismo tiempo que se comunica que a partir de ese momento se iba a proceder a solicitar informes sobre las acciones correctivas que se fueran a implementando cuando se produjeran condiciones desfavorables para la empresa debido a problemas con su material.

Otra acción realizada con los proveedores fue la de comunicarles el sistema de puntuación establecido y el nuevo sistema de devolución de material, ya que hasta el momento todo el material recibido o se consumía o la empresa se hacía cargo de él, sin llevar a cabo devoluciones al proveedor pese a ser este el que tuviera la culpa del mal estado del material.

Como sistema de aseguramiento de la calidad, previo a la recepción y transporte del material se les solicita el envío vía correo electrónico de las pruebas realizadas al material para comprobar que las especificaciones acordadas con el proveedor a priori se cumplen. Así mismo, también se exige que las empresas que se encuentren fuera de la comunidad europea posean algún tipo de certificación de calidad, siendo como mínimo exigida la ISO 9001.

Paso 6: Revisión del plan de calidad.

Para asegurar la viabilidad del proceso de mejora continua con respecto a la calidad del producto, hay que asegurar la continuidad del sistema. Para ello se debe evaluar no solo los esfuerzos realizados y la repercusión económica que ha supuesto el sistema de calidad, sino también el grado de

satisfacción tanto de los clientes como de los proveedores. Par ello se realizarán cuestionarios cada cuatro meses durante el primer año para ir recibiendo opiniones y ver poco como admiten el cambio, y pasado el año, ampliar el periodo de estos a uno cada año.

Los cuestionarios anteriormente mencionados deberán ser de fácil comprensión y de rápida contestación, para facilitar de este modo que se realicen y recibir un feedback del cambio. Como muchos de los proveedores son extranjeros el cuestionario se realizará en inglés como idioma internacional. Dentro de estas preguntas se deben incluir cuestiones relacionadas con el grado de satisfacción con el servicio prestado o recibido y posibles puntos de mejora.

Como sistema de control y guía del beneficio económico que se ha obtenido mediante este sistema, se ha procedido al diseño de un Power BI en el cual se plasman los defectos encontrados en los productos, el consumo de los distintos materiales y el número de reclamaciones recibidas durante el año anterior con respecto de los futuros años. Para ello se generó un registro en una hoja de Excel con todos estos valores. Para que el sistema tenga sentido mantenerlo en el tiempo deberá reportar beneficios, es decir, que se observe un mayor control sobre los problemas y que inicialmente se reduzcan de manera significativa las reclamaciones, por lo que eso significaría que el material que llega al proveedor es de mejor calidad y por lo tanto que se ha aumentado el número de rechazos de manera interna, que quedarán registrados y se procederán a analizar para solucionar los problemas y que no se repitan con el tiempo.

8 Discusión de resultados

A continuación, se muestran los resultados de las fases de trabajo, junto con los objetivos alcanzados del mismo.

8.1 Resultados Fase 1

Una de las cosas más importantes obtenidas en esta fase del proceso fue el mapa por niveles y obtener todo el conocimiento tanto teórico, como práctico del funcionamiento del proceso productivo. Esto permitió no sólo ver como se produce, sino también poder observar tanto los puntos fuertes del proceso, como las deficiencias. Siendo una de las deficiencias más significativas la sobrecarga de trabajo de los operarios. Por lo que, tras tener constancia y pruebas de esto, antes de proceder a la puesta en marcha del sistema de control de calidad se solicitó a la dirección más mano de obra alegando la sobrecarga a la que se iba a someter a los operarios a mayores de a la que ya estaban sometidos y el beneficio que esto iba a suponer para la empresa.

Conjuntamente con los sistemas de producción, también se determinó el instrumental con el cual se contaba y cuáles eran los equipos y tecnologías disponibles para poder realizar el seguimiento del proceso productivo. Detectando que los instrumentos no se encontraban correctamente calibrados y que no se seguía ningún control sobre la calibración de instrumentación.

Por lo tanto, esta primera fase sirvió como método de creación de una base de conocimientos a partir de la cual se comienza a trabajar, realizando revisiones periódicas de los elementos necesarios de tal manera que se eviten errores y posibles fallos en el desempeño de los mismos.

8.2 Resultados Fase 2

Se toma como uno de los elementos más considerables a la hora de la realización de esta fase es la identificación de los defectos y su categorización. Siendo la definición operativa de defectos un punto clave de esta fase.

Cabe destacar que debido a las certificaciones que se habían retirado a la empresa y al amplio conocimiento de los operarios esta fase no fue tan complicada, ya que se poseía un amplio conocimiento de los defectos y en muchos de los casos no solo se conocía el defecto, sino también la causa del mismo, pero al no haberlos expuesto y determinado como causa raíz del problema, no se habían analizado hasta el momento y no se había procedido a la búsqueda de una solución verdadera.

Con la creación de la definición de defectos, se consiguió que se dejara de producir de una forma subjetiva y dependiendo de la valoración propia de los operarios, y se procediera a emplear un criterio objetivo y común, unificando criterios y haciendo que los criterios tomen contundencia.

Otro de los elementos más importantes observados en esta fase es con relación a la etapa de inspección, indicándose no sólo en qué momentos se debe tomar la muestra de análisis, sino también el tamaño de la muestra y como se debe gestionar para no estropearla y estandarizar también el sistema de medición en línea. Haciéndoles muy partícipes a los operarios de la gran importancia que tiene su trabajo no solo por ser los que producen, sino también por ser los mayores expertos en el producto. Demostrando que poseen un alto nivel de detalle y su alta capacidad de análisis.

8.3 Resultados Fase 3

Durante el análisis de los resultados, se pudo observar que para un mismo defecto podrían resultar útiles varias herramientas de control de la calidad, por lo que, se han presentado las herramientas consideradas como más idóneas para su empleo en un primer momento. Sin embargo, durante el proceso de análisis y gestión del mismo pueden irse modificando las herramientas según las necesidades o el grado de importancia que posea el defecto a analizar haciendo que el proceso esté abierto a cambios y revisiones de manera continua.

Finalmente, tras el análisis de los resultados y obtención de la capacidad de realizar las producciones, tanto de canto unicolor, como decorado, se ha determinado que ambos procesos se consideran capaces con los límites actuales. Sin embargo, se debe realizar una nueva revisión de estos límites de cara a un futuro ya que al implementar los controles sobre las mezclas y ajuste de las desviaciones se esperan valores mejores que harían que los límites se tuvieran que recalcular. Así mismo si se cambia de proveedor y no se ajustan las mezclas, es posible que los valores obtenidos se vean modificados haciendo que aumenten las desviaciones y por tanto los límites internos establecidos se queden obsoletos y el proceso no sea capaz.

Se considera que el plan de acción planteado supone un buen punto de partida para iniciar la implementación nuevamente en la empresa los procesos de control de calidad, puesto que de este modo se contemplan tanto medidas de implementación como las estrategias a seguir específicas en el control de la calidad a nivel productivo.

9 Conclusiones y recomendaciones

Se puede concluir que el Control Estadístico de la Calidad no solo es una herramienta para mejorar la calidad del producto final, sino que también es un sistema que puede emplearse para reducir los desperdicios producidos por la empresa, eliminar en la medida de lo posible los reprocesos y la pérdida de material por producciones no conformes y tener un control casi por completo del proceso productivo, pudiendo atacar los problemas desde la raíz para evitar que se sucedan y por lo tanto mejorar el rendimiento y la productividad de la propia empresa.

Como se ha plasmado en los apartados anteriores, con este trabajo se alcanzan de manera satisfactoria todos los objetivos plasmados al inicio del mismo del mismo, tanto a nivel general como específicos, alcanzado un grado de satisfacción alto por parte de la empresa que se espera tenga consecuencias beneficiosas en un corto periodo de tiempo. A título personal ha sido una forma útil y muy enriquecedora de aprender a poner en práctica todas las herramientas de control de calidad aprendidas durante el máster y aunque mi paso por la empresa finalizó antes de obtener todos los resultados deseados, estoy seguro de que el personal de producción ha aprendido y es capaz de continuar con las labores de calidad y han adquirido una cultura de control de la calidad que en un futuro les va a permitir no solo asegurar la calidad del producto, sino también producirla. Porque la calidad hay que hacerla, no revisarla.

La metodología empleada para el desarrollo del proyecto ha resultado ser exitosa, permitiendo alcanzar un aprendizaje detallado del proceso productivo del canto y las características del mismo. Se puede concluir que tanto el sistema, como la tecnología empleada durante la extrusión es el adecuado, aunque hay factores del proceso que se pueden depurar y mejorar de cara al futuro, facilitando de este modo el trabajo de los operarios. Uno de estos factores es el uso de las herramientas, que en la actualidad poseen una única caja de herramientas para todas las líneas productivas y aunque se ha planteado la creación de un carro de herramientas, sería de mayor utilidad que cada maquinista posea un cinturón con las herramientas de uso cotidiano y que cada línea posea una zona propia de herramientas con las herramientas de mayor tamaño o que no sean de uso continuo.

El éxito del sistema de calidad plasmado con este trabajo depende en gran medida de la capacidad de sacar a la luz y reconocer las carencias del sistema para poder analizarlos y llevar a cabo las acciones correctivas del mismo, por lo que realizar una fase de concienciación y reconocimiento del trabajo a los operarios de planta ha sido un punto clave con gran relevancia a la hora del correcto desarrollo del proyecto y de los buenos resultados que se han obtenido de este modo.

Debemos ser conscientes por tanto de que las variaciones en los procesos pueden ser multifactoriales y pueden provenir de multitud de causas como por ejemplo los materiales, la maquinaria, el entorno, la mano de obra, el diseño, el método, etc. Por ello es recomendable emplear el diagrama de causa-efecto cuando se produzcan dichas variaciones para poder determinar cuál es el factor que aplica en cada uno de ellos e intentar poner soluciones, implantando en un futuro un registro de estos para poder anticipar los posibles fallos.

Como punto importante en este proceso, se considera que al implementar el control estadístico y en general poseer un sistema de control de calidad, no solo se espera que en las próximas auditorías la empresa recupere la certificación de calidad que poseía en el pasado, mejorando su imagen con respecto a los clientes gracias a las certificaciones, sino también que se puedan llegar a disminuir los riesgos que asume con respecto a la calidad del producto en el momento y pudiendo ser el proveedor de confianza de muchos nuevos clientes tanto a nivel nacional como a nivel internacional. Así mismo,

se esperan reducciones substanciales en las devoluciones de los proveedores, las cuales ya se han visto mejoradas tras 3 meses desde la implantación del sistema de calidad.

De cara al futuro se plantea la realización de una segunda fase en el control de calidad en la cual también se realicen parámetros medidos por atributos y poder tener de este modo un mayor control sobre las características no deseadas del producto. Esta decisión de esperar a una segunda fase para controlar los atributos se llevó a cabo por la gran subjetividad que poseen estas características y por ello requieren de un adiestramiento del personal mucho más exhaustivo y que requiere más medios que la empresa no está dispuesta a asumir su coste si no se demuestra el correcto funcionamiento de la primera fase.

Bibliografía

- AENOR: Asociación Española de Normalización y Certificación. (Junio de 2001). Procedimientos de muestreo para la inspección por atributos. *Parte 1: Planes de muestreo para las inspecciones lote por lote, tabulados según el nivel de calidad aceptable (NCA)*, 90. Madrid, España.
- C. Salazar, S. d. (2018). *Fundamentos Básicos de Estadística*. Obtenido de up-rid2.up.ac.pa: <http://up-rid2.up.ac.pa:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/1570/Fundamentos%20B%3%A1sicos%20de%20Estad%3ADstica-Libro.pdf>
- Excelencia en PVC. (15 de 04 de 2023). *Excelencia en PVC*. Obtenido de <https://www.mueblesdepvc.com/nosotros.html>
- Gisbert Soler, V. (2022). Contenidos de la asignatura "Control estadístico de Calidad". *Temas 1 a 8*. Alcoy, Alicante, España.
- Harvey, D. (05 de 06 de 2023). *Análisis Instrumental*. Obtenido de LibreTexts: [https://espanol.libretexts.org/Quimica/Qu%3ADmica_Anal%3ADtica/An%3A1lisis_Instrumental_\(LibreTextos\)/01%3A_Introducci%3AB3n/1.04%3A_Selecci%3AB3n_de_un_M%3A9todo_Anal%3ADtico](https://espanol.libretexts.org/Quimica/Qu%3ADmica_Anal%3ADtica/An%3A1lisis_Instrumental_(LibreTextos)/01%3A_Introducci%3AB3n/1.04%3A_Selecci%3AB3n_de_un_M%3A9todo_Anal%3ADtico)
- Interiores y cocinas. (1 de mayo de 2023). *Interiores y cocinas*. Obtenido de <https://interioresycocinas.com.ar/blog/tendencias-en-muebles-de-melamina-para-2023-elegancia-y-funcionalidad>
- Ishikawa, K. (1994). *Introducción al control de calidad*. (J. Nicolau Medina, Trad.) Madrid: Díaz de Santos.
- Juran, J. M., & Gryna, F. M. (1993). *Manual de control de calidad* (4a ed., Vol. II). (A. García Brage, Ed., & J. M. Vallhonrat Bou, Trad.) Madrid: McGraw-Hill.
- Konica Minolta. (17 de 03 de 2023). *ITA Aquateknica S.A.* Obtenido de ITA Aquateknica S.A.: <https://www.aquateknica.com/conoce-el-espacio-de-color-cie-lab/>
- konicaminolta. (2023). *konicaminolta*. Obtenido de <https://www.konicaminolta.es/es-es/>
- Maderame. (23 de marzo de 2023). *Maderame*. Obtenido de <https://maderame.com/muebles-melamina/>
- Miró Albero, J., & Gisbert Soler, V. (22 de 02 de 2007). Extracto de la publicación. *"Metodología de inspección en la producción: Definición operativa de defectos"*. Alcoy, Alicante, España.
- Montgomery, D. C. (2013). *Control estadístico de la calidad* (3a ed.). México: Limusa Wiley.
- Palacios López, D. (11 de Febrero de 2018). Freeda en la emisora Cámara FM. (C. F. 95.9, Entrevistador) Youtube.
- RAE. (2023). *Diccionario de la Lengua Española*. Madrid: Real Academia Española.
- Ramírez Prado, J. (2018). *Más de 10.000 bicicletas eléctricas han entrado al mercado local*. Recuperado el 7 de Marzo de 2018, de La República: <https://www.larepublica.co/archivo/mas-de-10000-bicicletas-electricas-han-entrado-al-mercado-local-2175071>
- Real Academia Española. (2017). *RAE*. Recuperado el 2 de Marzo de 2018, de Diccionario de la Lengua Española: <http://dle.rae.es/>

Soluvent. (15 de 04 de 2023). *Soluvent windows solution*. Obtenido de <https://soluvent.com/breve-historia-del-pvc/>

Universidad de Salamanca. (2010-11). *Open Course Ware*. Recuperado el 4 de Julio de 2017, de Control Estadístico de la Calidad: http://ocw.usal.es/ciencias-sociales-1/control-estadistico-de-la-calidad/contenido/ocw_cabero/01_asignaturaCC/Temario/Tema1.pdf

Vírveda, P. A. (julio de 2011). EVALUACIÓN DE UN ARCHIVO DE HISTORIAS CLÍNICAS MEDIANTE LA. *Rev Esp Salud Pública*, 85(4), págs. 391-404.

