UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERIA INDUSTRIAL

PROPUESTA DE UN SISTEMA DE CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS PARA LA CARACTERÍSTICA CRÍTICA DE LOS PERFILES ESTRUCTURALES ELABORADOS POR PETROCASA PERFILES, S.A.

Tutor: **Autores**:

Prof. Agustín Mejías Acosta
C.I. 9.645.014

Pacheco, Mariacecilia
C.I. 18.763.579

Pérez, Eduardo
C.I. 18.551.405

Valencia, Noviembre 2012

UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERIA INDUSTRIAL

PROPUESTA DE UN SISTEMA DE CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS PARA LA CARACTERÍSTICA CRÍTICA DE LOS PERFILES ESTRUCTURALES ELABORADOS POR PETROCASA PERFILES, S.A.

Trabajo Especial de Grado, presentado ante la Ilustre Universidad de Carabobo para optar al Título de Ingeniero Industrial

Tutor:

Prof. Agustín Mejías Acosta

C.I. 9.645.014

Autores:

Pacheco, Mariacecilia

C.I. 18.763.579

Pérez, Eduardo

C.I. 18.551.405

Valencia, Noviembre 2012

UNIVERSIDAD DE CARABOBO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

CERTIFICADO DE APROBACIÓN

Quienes suscriben, Miembros del Jurado designado por el Consejo de Escuela de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Carabobo, para examinar el Trabajo Especial de Grado titulado "PROPUESTA DE UN SISTEMA DE CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS PARA LA CARACTERÍSTICA CRÍTICA DE CALIDAD DE LOS PERFILES ESTRUCTURALES ELABORADOS POR PETROCASA PERFILES S.A", el cual está adscrito a la Línea de Investigación "INVESTIGACIÓN DE OPERACIONES" del Departamento de OPERATIVA, presentado por el Bachiller MARIACECILIA PACHECO**,** C.I. 18763579 y el Bachiller EDUARDO PÉREZ**,** C.I. 18551405, a los fines de cumplir con el requisito académico exigido para optar al Título de Ingeniero Industrial, dejan constancia de lo siguiente:

1.Leído como fue dicho Trabajo Especial de Grado, por cada uno de los Miembros del Jurado, éste fijó el día lunes 26 de Noviembre de 2012, a las 10:30 am, para que los autores lo defendieran en forma pública, lo que éste hizo, en el Salón de Defensa, mediante un resumen oral de su contenido, luego de lo cual respondió satisfactoriamente a las preguntas que le fueron formuladas por el Jurado, todo ello conforme a lo dispuesto en el Reglamento del Trabajo Especial de Grado de la Universidad de Carabobo y a las Normas de elaboración de Trabajo Especial de Grado de la Facultad de Ingeniería de la misma Universidad.

2. Finalizada la defensa pública del Trabajo Especial de Grado, el Jurado decidió aprobarlo por considerar que se ajusta a lo dispuesto y exigido por el Reglamento de Estudios de Pregrado.

En fe de lo cual se levanta la presente acta, a día, mes y año, dejándose también constancia de que actuó como Coordinador del Jurado el Tutor, Prof. Agustín Mejías Acosta

Firma del Jurado Examinador

Prof. Agustín Mejías Acosta

Presidente del Jurado

Prof. Ilse Pérez

Miembro del Jurado

Prof. Manuel Jiménez

Miembro del Jurado

AGRADECIMIENTOS

A Dios Todo Poderoso; por darme vida, salud y perseverancia para alcanzar mis metas.

A timamá, te doy las gracias por tu apoyo incondicional, por nunca dudar de mí y confiar en que lograría cumplir esta meta sin importar cuán difícil fuese. Todo lo que soy te lo debo a ti y siempre estaré agradecida.

A mi hermana Mariana, por estar siempre a mi lado y ayudarme en lo que necesitara.

A mis familiares por estar atentos y brindarme apoyo en los momentos más difíciles.

A Eduardo, mi compañero en este Trabajo Especial de Grado, porque juntos logramos esta meta en común y seguiremos trabajando por mucho más.

A todos los que de alguna forma u otra hicieron posible el alcance de esta meta, muchas gracias.

Mariacecilia Pacheco

AGRADECIMIENTOS

A Dios Todopoderoso, por permitirme llegar hasta donde he llegado y darme vida, salud para lograr mis objetivos.

A mi madre Ingrid González, por su apoyo incondicional. Todo lo que soy se los debo a ella y siempre estaré agradecido, espero retribuirle todo lo que ha hecho por mí.

A mi hermano Leonardo, por estar siempre dispuesto a ayudarme en lo que fuera necesario.

A Agustín Mejías, por ser nuestro tutor y guiarnos a lo largo de todo el proyecto.

A Miguel Tovar, por permitirnos realizar este proyecto y demostrar nuestro profesionalismo.

A Mariacecilia Pacheco, mi amiga y compañera por aceptar realizar este proyecto conmigo y demostrar que juntos hacemos un excelente equipo.

A todas las personas que nos apoyaron para que lográramos el cumplimiento de esta meta, muchas gracias.

Eduardo Pérez

DEDICATORIA

Este logro se lo dedico a mi mamá y a mi hermana por ser los pilares que hicieron posible todo lo que soy, por eso les dedico este y todas las cosas hermosas que alcance en mi vida.

Mariacecilia Pacheco

DEDICATORIA

Este logro se los dedico a mi madre Ingrid González, quien me enseño que con esfuerzo y dedicación se pueden alcanzar todas las metas que me preponga en la vida.

Eduardo Pérez

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE TABLAS……X
ÍNDICE DE GRÁFICOS……XI
ÍNDICE DE FIGURAS……XII
RESUMEN……XIV
INTRODUCCIÓN……XV
CAPÍTULO I. EL PROBLEMA……17
I.1 Planteamiento del problema……17
I.2 Objetivo General ……19
I.3 Objetivos específicos……20
I.4 Justificación……20
I.5 Alcance……21
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO ……22
II.1 Antecedentes ……22
II.2 Bases teóricas……23
II.2.1 Control estadístico de proceso (SPC) ……23
II.2.2 Herramientas para la mejora de procesos……23
II.2.3 Estudio Repetibilidad y Reproducibilidad (R&R) ……36
II.2.4 Análisis de Capacidad del Proceso……40
II.2.5 Metodología ESIDE……41
II.3 Definición de Términos Básicos……42
CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO……44
III.1 Tipo y nivel de la investigación……44
III.2 Unidad de análisis……44
III.3 Técnicas para la Recolección y Análisis de Información……45
III.4 Operacionalización de los Objetivos……45
CAPÍTULO IV. CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS……47
IV.1 Descripción de la situación Actual del proceso de fabricación de los perfiles estructurales……47
IV.2 Selección del área crítica en el proceso de fabricación de los Perfiles Estructurales……51
IV.3 Identificación de la característica crítica de calidad presente en los Perfiles Estructurales en el subproceso de Extrusión. ……53

IV.4 Estudio Repetibilidad y Reproducibilidad (R&R) ……..…57
IV.4.1 Estudio R&R para el Vernier N° 11905040……..……58
IV.4.1.1 Estudio R&R del sistema de medición - método ANOVA ….....59
IV.4.2 Estudio R&R para el Vernier N° 10906290……..62
IV.4.2.1 Estudio R&R del sistema de medición - método ANOVA …….63
IV.4.3 Estudio R&R para el Colorímetro ……..66
IV.4.3.1 Estudio R&R del sistema de medición-método ANOVA…….67
IV.5 Estabilidad y Capacidad del Proceso ……69
IV.5.1 Gráficos de Control para la línea 201 característica Ancho de Canal de Acople ……..……..79
IV.5.2 Análisis de capacidad para la línea 201 característica Ancho de Canal de Acople ……...……..81
IV.5.3 Gráficos de Control para la línea 207 característica Ancho de Canal de Acople ……....85
IV.5.4 Análisis de capacidad para la línea 207 característica Ancho de Canal de Acople ……86
IV.5.5 Gráficos de Control para la línea 205 característica Amarillez ……100
IV.5.6 Análisis de capacidad para la línea 205 característica Amarillez ….101
IV.5.7 Gráficos de Control para la línea 209 característica Amarillez …….104
IV.5.8 Análisis de capacidad para la línea 209 característica Amarillez……105
IV.5.9 Gráficos de Control para la línea 205 característica Alto del Macho..113
IV.5.10 Análisis de capacidad para la línea 205 característica Alto del Macho.....115
IV.5.11 Gráficos de Control para la línea 209 característica Alto del Macho……..117
IV.5.12 Análisis de capacidad para la línea 209 característica Alto del Macho……..118
CAPÍTULO V. ANALISIS DE LOS RESULTADOS……121
CAPÍTULO VI. PROPUESTAS DE MEJORA ……..124
CONCLUSIONES……..……..133
RECOMENDACIONES……..134
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS……136
ANEXOS ……138

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla Nº III.1. Operacionalización de los objetivos……..45
Tabla Nº IV.1. Selección de área crítica……..52
Tabla N° IV.2. Datos recolectados para el perfil Bloque I……53
Tabla N° IV.3. Datos recolectados para el perfil Machihembrado…….54
Tabla N° IV.4. Mediciones realizadas con el Vernier N° 11905040……...58
Tabla N° IV.5. Mediciones realizadas con el Vernier N° 10906290……...62
Tabla N° IV.6. Mediciones realizadas con el Colorímetro……..…66
Tabla Nº IV.7. Datos del ancho de canal de acople para las zonas 2 y 4 del perfil Bloque I en la línea 201……70
Tabla Nº IV.8. Datos del ancho de canal de acople para las zonas 2 y 4 del perfil Bloque I en la línea 207……74
Tabla Nº IV.9. Datos de Amarillez para las zonas 1 y 3 del perfil Machihembrado en la línea 205……90
Tabla Nº IV.10. Datos de Amarillez para las zonas 1 y 3 del perfil Machihembrado en la línea 209……94
Tabla Nº IV.11. Datos de Alto de macho del perfil Machihembrado en la línea 205 y 209……109
Tabla VI.1. Causas asignables potenciales y acciones correctivas……...125
Tabla N° VI.2 Plan de capacitación de control estadístico de procesos y las herramientas de calidad……130
Tabla N° VI.3 Contenido por modulo y material de apoyo para el plan de capacitación de control estadístico de procesos y las herramientas de calidad……131
Tabla N° VI.4. Evaluación del plan de capacitación de control estadístico de procesos y las herramientas de calidad……132

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico N° IV.1. Diagrama de Pareto para el perfil Bloque I……..…54
Gráfico N° IV.2. Diagrama de Pareto para el perfil Machihembrado……55
Gráfico Nº IV.3. Reporte gráfico Gauge R&R para el Vernier N° 11905040….61
Gráfico Nº IV.4. Reporte gráfico Gauge R&R para el Vernier N° 10906290….65
Gráfico Nº IV.5. Reporte gráfico Gauge R&R para el Colorímetro……69
Gráfico Nº IV.6. Gráfica S de la característica Ancho de acople. Línea 201…79
Gráfico Nº IV.7. Gráfica $\bar{x}$ de la característica Ancho de acople. Línea 201…80
Gráfico Nº IV.8. Gráfica S de la característica Ancho de acople ajustada. Línea 201……80
Gráfico Nº IV.9. Gráfica $\bar{x}$ de la característica Ancho de acople ajustada. Línea 201……81
Gráfico Nº IV.10. Gráfica S de la característica Ancho de acople. Línea 207..85
Gráfico Nº IV.11. Gráfica S de la característica Ancho de acople ajustada. Línea 207……..85
Gráfico Nº IV.12. Gráfica $\bar{x}$ de la característica Ancho de acople. Línea 207..86
Gráfico Nº IV.13. Gráfica S de la característica Amarillez. Línea 205……100
Gráfico Nº IV.14. Gráfica S de la característica Amarillez ajustada. Línea 205.....100
Gráfico Nº IV.15. Gráfica $\bar{x}$ de la característica Amarillez. Línea 205……101
Gráfico Nº IV.16. Capacidad del proceso para la característica Amarillez, 205…….....103
Gráfico Nº IV.17. Gráfica S de la característica Amarillez. Línea 209……104
Gráfico Nº IV.18. Gráfica $\bar{x}$ de la característica Amarillez. Línea 209……104
Gráfico Nº IV.19. Gráfica S de la característica Alto de macho. Línea 205…113
Gráfico Nº IV.20. Gráfica $\bar{x}$ de la característica Alto de macho. Línea 205…114
Gráfico Nº IV.21. Gráfica S de la característica Alto de macho. Línea 209…117
Gráfico Nº IV.22. Gráfica $\bar{x}$ de la característica Alto de macho. Línea 209…117

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura Nº II.1. Diagrama Causa-Efecto. Fuente: elaboración propia……26
Figura Nº II.2. Diagrama de Pareto. Fuente: Herrera y Fontalvo, 2011……28
Figura Nº II.3. Histograma de frecuencia. Fuente: Herrera y Fontalvo, 2011...29
Figura Nº II.4. Metodología para la eliminación de las causas asignables. ….30
Figura Nº II.5. Deformación de perfil (pandeo)……..42
Figura Nº II.6. Perfil con elevado índice de Amarillez……..42
Figura Nº II.7. Perfil con ondulaciones en las paredes internas……..43
Figura Nº II.8. Perfil fracturado……43
Figura N° IV.1. Representación gráfica del proceso de fabricación de perfiles estructurales. ……..49
Figura N° IV.2. Sección transversal del perfil Bloque I……50
Figura N° IV.3. Sección transversal del perfil Machihembrado. ……50
Figura N° IV.4. Sección transversal del ensamble del perfil Machihembrado..51
Figura N° IV.5. Diagrama Causa – Efecto para las características dimensionales. ……..56
Figura N° IV.6. Diagrama Causa – Efecto para la Amarillez. ……56
Figura Nº IV.7. Diseño factorial de múltiples niveles……59
Figura Nº IV.8. Tabla ANOVA de dos factores con interacción……..…59
Figura Nº IV.9. Tabla ANOVA dos factores sin interacción……..59
Figura Nº IV.10. Reporte de análisis Gauge R&R para el Vernier N° 11905040……..60
Figura Nº IV.11. Diseño factorial de múltiples niveles……..63
Figura Nº IV.12. Tabla ANOVA de dos factores con interacción……63
Figura Nº IV.13. Tabla ANOVA dos factores sin interacción……63
Figura Nº IV.14. Reporte de análisis Gauge R&R para el Vernier N° 10906290……..64
Figura Nº IV.15. Diseño factorial de múltiples niveles……..66
Figura Nº IV.16. Tabla ANOVA de dos factores con interacción……67
Figura Nº IV.17. Reporte de análisis Gauge R&R para el Colorímetro……..68
Figura Nº IV.18. Reporte de la prueba U de Mann Whitney línea 207……..77
Figura Nº IV.19. Reporte de la prueba U de Mann Whitney línea 201 y 207…78
Figura Nº IV.20. Reporte de la prueba U de Mann Whitney línea 205 y 209…99

Figura Nº IV.21. Reporte de la prueba U de Mann Whitney línea 205 y 209 para la característica alto del macho……..113
Figura Nº VI.1. Vistas de la tolva de retención……..……..127
Figura Nº VI.2. Vista de la zona de descarga……..……128

UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

PROPUESTA DE UN SISTEMA DE CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS PARA LA CARACTERÍSTICA CRÍTICA DE CALIDAD DE LOS PERFILES ESTRUCTURALES ELABORADOS POR PETROCASA PERFILES S.A.

Tutor: Autores:
Dr. Mejías, Agustín Pacheco, Mariacecilia
Fecha: Noviembre 2012 Pérez, Eduardo

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tuvo como objetivo principal, proponer un sistema de control estadístico de procesos para la característica crítica de calidad de los perfiles estructurales elaborados por Petrocasa perfiles S.A..- Planta Guacara. Para ello se realizó una investigación de tipo descriptiva, implementando un sistema de control en la salida del sub-proceso de extrusión, que detectó las causas asignables que se presentaron a lo largo de éste, permitiendo identificar el origen del problema, además se analizó el sistema de medición y la capacidad del proceso. Se plantearon propuestas de mejoras que proporcionan beneficios cualitativos y cuantitativos, entre las que destacan, una tolva de retención para el compuesto de PVC la cual reduciría la cantidad de perfiles no conformes que se generan por el material fuera de especificación que oscila alrededor de 860 perfiles estructurales por mes, lo que equivale aproximadamente el 1,5 % de la producción, plan de acción para condiciones fuera de control (PACFC) y plan de capacitación de control estadístico de procesos y las herramientas de calidad al personal que labora en el Departamento de Calidad con una inversión de 9150 Bs.

Palabras claves: Control Estadístico de Procesos, Perfiles de PVC, Causas Asignables.

INTRODUCCIÓN

El control estadístico de procesos es una de las herramientas más poderosas para la mejora continua de los procesos, Petrocasa Perfiles desea alcanzar la satisfacción de sus clientes a través de la implementación del mismo. El presente trabajo especial de grado tiene como finalidad incrementar la producción en cuanto a productos conformes se refiere en el proceso de producción de perfiles de PVC, mediante el establecimiento de un control estadístico de procesos.

A través del análisis del sistema de medición, la estabilidad y la capacidad actual del sub-proceso de extrusión, se proponen alternativas de mejora que buscan reducir los productos defectuosos en el área, los cuales afectan los niveles de producción.

El estudio realizado comprende cinco (5) capítulos, estructurado de la siguiente manera:

El capítulo I establece las condiciones en las cuales se efectúa el trabajo de investigación, señalando los objetivos que determinan el alcance del mismo.

El capítulo II comprende el Marco de Referencia que contienen los antecedentes del estudio, las bases teóricas que sustentan la investigación y finalmente el Marco conceptual.

En el capítulo III se expone el marco metodológico de la investigación, definiendo las herramientas y técnicas empleadas.

El capítulo IV describe la situación actual del sub proceso de extrusión, los resultados del análisis del sistema de medición, estabilidad y capacidad del mismo, identificando las causas raíz de los problemas.

En el capítulo V se realizó un análisis de los resultados obtenidos.

En el capítulo VI se sugieren propuestas de mejora, en función de reducir los productos defectuosos.

Capítulo I
El problema

I.1 Planteamiento del problema

Hoy en día las empresas se encuentran en búsqueda de mejorar la calidad de sus productos al menor costo posible; muchas de ellas han logrado un importante ahorro económico a través de la implementación de un sistema de control estadístico exitoso, que radica en la capacitación de los empleados, la elección del proceso con mayor margen de ventas, la definición adecuada de las variables críticas que afectan al proceso o producto, estudios constantes de estabilidad, análisis de capacidad y la toma decisiones que permitan la mejora continua; permitiendo abaratar los costos como los de inspección, fallas internas, re trabajos, reclamos de clientes, materiales y mano de obra (Laman, 2012).

Según la ISO 9000:2005, para llevar las riendas de una organización en forma exitosa se requiere que ésta se dirija y controle en forma sistemática y transparente. Se puede lograr el éxito implementando un sistema de gestión que tome decisiones basados en hechos, debido a que las decisiones eficaces, se basan en el análisis de datos y de información.

Petrocasa Perfiles S.A. es una empresa encargada de transformar materia prima de Policloruro de Vinilo (PVC), en los perfiles necesarios para la construcción de una vivienda. En la búsqueda de aumentar la satisfacción de sus clientes, la planta desea alcanzar mejoras medibles y continuas en todas sus funciones, para así propiciar altos niveles de calidad en los productos.

A lo largo del proceso de fabricación de perfiles, el Departamento de Calidad realiza inspecciones cada 2 horas, tomando una muestra en las operaciones de extrusión, perforación y corte para examinar si éste cumple o no con las especificaciones requeridas; para efectos de esta investigación se hizo un diagnóstico de la información suministrada por el Departamento de Calidad y éste arrojó que los defectos más importantes son los siguientes:

- Deformaciones de perfiles (pandeo, deformaciones laterales, concavidades, ondulaciones en las paredes internas, rugosidad).
- Dimensiones fuera de especificación (ancho de acople, espesores de machos y hembras, largo del perfil, espesores externos).
- Índices de amarillez elevados.
- Fractura de los perfiles.
- Falta de perforaciones consecutivas.
- Distancia de inicio de la perforación fuera de especificación.

Los defectos antes mencionados son encontrados comúnmente en los perfiles estructurales, como el bloque I y el Machihembrado ocasionándoles una producción defectuosa aproximadamente de 2% para cada tipo de perfil, estos representan aproximadamente el 65% de la producción, razón por lo cual, es importante mencionar a continuación las posibles causas de los mismos:

- Inadecuada ubicación de las piezas al momento de realizar el corte.
- Falta de mantenimiento de las herramientas de corte.
- Inestabilidad de las máquinas de extrusión.
- Compuesto de PVC fuera de especificaciones.
- Inspección poco práctica de los procesos.

Cuando el producto presenta inconformidades, en la mayoría de los casos estos son reprocesados, enviándolos al área de molino donde los perfiles son triturados y almacenados para su posterior uso; de no ser así el material es desechado; todo esto representa aproximadamente el 4% de la producción mensual de perfiles estructurales, lo que equivale a reprocesar 44.115 kg /mes y una perdida aproximada de 20 horas de trabajo para el de machihembrado y 12 horas para el perfil bloque I, trayendo como consecuencia un aumento en los costos operacionales y retraso en la producción.

A efectos de mejorar la calidad del producto, es necesario diseñar un sistema de control estadístico de procesos, implementando un sistema de medición en la salida de los sub-procesos de extrusión, perforación y corte, que detecte las causas asignables que puedan presentarse a lo largo de este, permitiendo identificar la causa origen del problema y así establecer las acciones correctivas correspondientes, para luego verificar y llevar un seguimiento adecuado de las mismas.

Según la norma ISO 10012:2003, el sistema de medición aplicado a los sub-proceso de extrusión, perforación y corte, deben controlarse dentro del sistema de gestión de las mediciones implementado, que estará compuesto por el control de los procesos de medición asignados por la empresa y las operaciones requeridas para asegurar que el equipo de medición es conforme a los requisitos correspondientes al uso previsto, estas operaciones incluyen la calibración y la verificación del mismo.

Con una mejor compresión del proceso a través de una implementación exitosa del sistema de control estadístico del proceso debería conducir a mayores ganancias, una mejor seguridad en el empleo y mayor oportunidad para todos los empleados (Laman, 2012).

I.2 Objetivo General

Establecer un sistema de control estadístico de procesos para la característica crítica de calidad de los perfiles estructurales elaborados por Petrocasa perfiles S.A.

I.3 Objetivos Específicos

- Diagnosticar la situación actual del proceso.
- Identificar el sub-proceso crítico.
- Seleccionar la característica de calidad de los productos que se desean controlar.
- Analizar la variabilidad del sistema de medición empleado actualmente por la empresa.
- Evaluar la estabilidad del sub-proceso seleccionado.
- Verificar la capacidad del sub-proceso seleccionado.
- Elaborar propuestas de mejora.

I.4 Justificación

La empresa en la búsqueda de promover la mejora continua, desea evitar que los perfiles estructurales estén fuera de los parámetros establecidos, aplicando técnicas estadísticas que según la ISO 9000:2005 ayudan a medir, describir, analizar e interpretar la variabilidad con una cantidad limitada de datos, permitiendo resolver e incluso prevenir problemas. Asimismo estas técnicas facilitan una mejor utilización de los datos disponibles para ayudar en la toma de decisiones.

El presente estudio pretende cumplir con las necesidades de la planta, ésta no posee un sistema de control estadístico que permita la mejora de los sub-procesos, no se evidencia que cuente con ningún tipo de herramienta que haga un seguimiento de la característica de calidad que afecta al producto. Por ello se realizó un diagnóstico para obtener la característica de calidad crítica, con base en los resultados se elaboró una propuesta de un sistema de control estadístico que permita mejorar el rendimiento logrando la detección de la fallas a tiempo.

El diseño de este sistema va a servir de antecedente para la realización de futuros estudios en las plantas de Petrocasa S.A., adicionalmente permitirá generar una mayor fuente de conocimiento sobre la utilidad de la aplicación de herramientas estadísticas sobre problemas reales en la industria.

I.5 Alcance

El presente trabajo se realizó en Petrocasa S.A. planta Guacara I y está enfocado en uno de los sub-procesos de fabricación de perfiles estructurales. A través de un análisis univariable se diseñó un sistema de control estadístico de procesos para la característica crítica de calidad, que permitirá que el proceso este controlado estadísticamente y luego pueda cumplir con las especificaciones establecidas, para asegurar que sea de calidad.

Quedará por parte de la empresa implementar el sistema de control basado en el resultado del estudio y su respectivo seguimiento.

Capítulo II
Marco Teórico

II.1 Antecedentes

Tovar (2004). El objetivo principal de esta investigación fue diseñar un sistema de control de operaciones de producción en las líneas de productos viscosos, para adecuarse al requisito 7.5 de la norma ISO 9001:2000. Realizando un diagnóstico de la situación actual para establecer un punto de partida del proceso, para posteriormente aplicar ciertas técnicas pertenecientes al sistema integral de gestión que incrementen el nivel de conformidad y proponer un plan de acción donde se plantearon dos tipos de mejoras documentales y operacionales

Quintero y Terán (2003). Este estudio tuvo como finalidad diseñar un sistema de control estadístico del proceso para mejorar la calidad del producto disminuyendo los defectos en la producción, satisfacer al cliente y disminuir el número de reclamos. A través del uso de herramientas como: las 5m (diagrama de causa efecto), diagramas de Pareto, entre otros; se determinaron las variables criticas que afectan al proceso, los problemas que se presentan y las respectivas causas. Luego se diseñaron y analizaron los gráficos de control para las características críticas anteriormente seleccionas, y en función de los resultados obtenidos ofrecieron recomendaciones a implementar en el proceso de control de calidad.

Lugo (2003). Esta investigación tuvo como objetivo principal desarrollar un modelo de control estadístico de proceso (CEP) en un sistema de dosificación de aditivos para la elaboración de harina de trigo leudante. Por medio del uso de diversas herramientas estadísticas de control, tales como CEP y el diseño de experimentos, con las cuales se llevo un seguimiento de las causas de variación en ciertas características de calidad, reduciendo así la inestabilidad o variabilidad de dichas características.

II.2 Bases Teóricas

Según la ISO 9001:2008 en la sección 8.1, “La organización debe planificar e implementar los procesos de seguimiento, medición, análisis y mejora necesarios para:

- Demostrar la conformidad con los requisitos del producto.
- Asegurarse de la conformidad del sistema de gestión de la calidad.
- Mejorar continuamente la eficacia del sistema de gestión de la calidad.

Esto debe comprender la determinación de los métodos aplicables, incluyendo las técnicas estadísticas, y el alcance de su utilización”.

II.2.1 Control estadístico de proceso (SPC): “es la herramienta básica que nos permite mantener estable el proceso y, por tanto, fabricar el producto dentro de especificaciones desde el principio”. Carot (2001).

II.2.2 Herramientas para la mejora de procesos

Diagrama de Causa-Efecto

Según Gutiérrez y de la Vara (2004), el diagrama causa-efecto es una representación gráfica que relaciona los problemas con los factores o causas que los generan. El objetivo de este es contemplar todas las causas que generan los problemas, evitando el error de buscar soluciones sin indagar a fondo cuales son la verdaderas causas.

El método de las 6 M’s es el más común y consiste en agrupar las causas potenciales en seis ramas potenciales: Maquinaria, Materia prima, Método de trabajo, Mano de obra, Medio ambiente, Medición. La pregunta básica para este tipo de construcción es: ¿qué aspecto de esta M se refleja en el problema bajo análisis?

Gutiérrez y de la Vara (2004) propone una serie de factores a considerar a la hora de realizar el diagrama:

Mano de obra.

- ¿La gente conoce su trabajo?
- ¿Están entrenados los operadores?
- ¿Los operadores han demostrado tener la habilidad para el trabajo que realizan?
- ¿Se espera que cualquier trabajador pueda llevar a cabo de manera eficiente su labor?
- ¿La gente está motivada?, ¿sabe la importancia de su trabajo por la calidad?

Método de trabajo

- ¿Las responsabilidades y los procedimientos de trabajo están definidos clara y adecuadamente o dependen del criterio de otra persona?
- ¿Cuándo el procedimiento estándar no se puede llevar a cabo existe otro procedimiento alternativo?
- ¿Están definidas las operaciones que constituyen los procedimientos?

Máquinas o Equipos

- ¿Las máquinas han demostrado ser capaces de dar la calidad que se les pide?
- ¿Las condiciones de operación en las variables de entrada son las adecuadas?
- ¿Hay diferencias? (hacer comparaciones entre maquinas, líneas, cadenas, estaciones, instalaciones).
- ¿Hay cambio en las herramientas periódicamente?
- ¿Los procedimientos para ajustar las maquinas son claros y han sido determinados de forma adecuada?

Material

- ¿Se conoce como influye la variabilidad de los materiales sobre el problema?
- ¿Ha habido algún cambio reciente en los materiales?
- ¿Cuál es la influencia de múltiples proveedores?
- ¿Se sabe cómo influyen los distintos tipos de materiales?

Mediciones

- ¿Se dispone de las mediciones requeridas para detectar o prevenir el problema?
- ¿Están definidas operacionalmente las características que son medidas?
- ¿Han sido medidas suficientes piezas?
- ¿Se puede repetir con facilidad la medida o tiene la precisión requerida?
- ¿Los métodos y criterios para tomar ediciones son los adecuados?
- ¿Existe algún sesgo en las medidas?

Medio ambiente

- ¿Existen patrones o ciclos en los procesos que dependen de condiciones ambientales?
- ¿La temperatura ambiental influye en las operaciones?

Montgomery (2005), plantea como construir un diagrama Causa-Efecto, a través de una serie de pasos:

1. Definir el problema o efecto que va a analizarse.
2. Formar el equipo para realizar el análisis. Con frecuencia el equipo descubrirá las causas potenciales mediante el procedimiento de lluvia de ideas.
3. Trazar el rectángulo del efecto y la línea central.
4. especificar las categorías principales de las causas potenciales y anexarlas como rectángulos conectados a la línea central.
5. identificar las causas posibles y clasificarlas dentro de las categorías del paso 4. de ser necesario, crear nuevas categorías.

6. Clasificar las causas para identificar las que parezcan tener mayores posibilidades de incidir en el problema.
7. Emprender una acción correctiva.

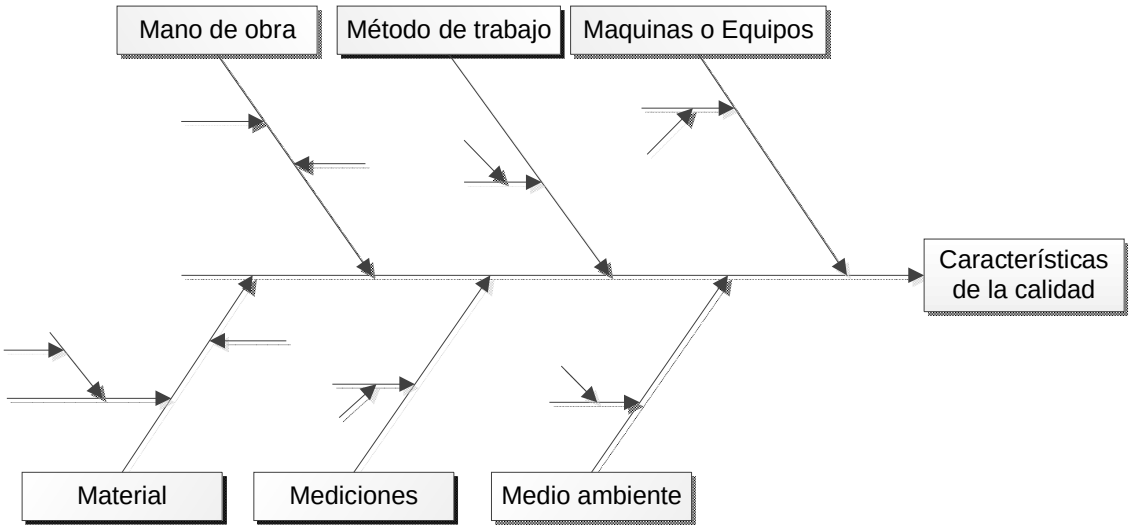


Figura Nº II.1. Diagrama Causa-Efecto. Fuente: elaboración propia.

Mapeo de procesos

Según Gutiérrez y de la Vara (2004), “es una representación gráfica de un proceso en la que se ilustran de forma detallada los pasos del proceso, tanto los que agregan valor como los que no; también se identifican las variables claves del proceso, tanto de entrada como de salida”. Su objetivo principal es identificar los sistemas de medición que necesitan ser analizados, las variables críticas que influyen en el proceso e identificar oportunidades para mejorar el mismo.

Pasos a seguir para realizar un mapeo de procesos según Gutiérrez y de la Vara (2004):

1. Listar los pasos en general y las principales variables de salida que son claves para el cliente.
2. Identificar los pasos que agregan valor y los que no agregan valor en el proceso.

3. Mostrar las características críticas de calidad de cada paso del proceso y producto.
4. Listar y clasificar las entradas claves en cada paso del proceso. La clasificación se puede hacer con los siguientes criterios: crítico, controlable y de ruido.
5. Añadir las especificaciones de operaciones actuales y los objetivos del proceso para las entradas controlables y críticas.

Diagrama de Pareto

Según Gutiérrez y de la Vara (2004)," es un gráfico especial de barras cuyo campo de análisis son los datos categórico, y tiene como objetivo ayudar a localizar los problemas vitales, así como sus causas más importantes".

El diagrama manifiesta gráficamente la importancia real de cada causa que genera el problema respaldada por el Principio de Pareto, conocido como "ley 80-20", el cual indica que el 80% de los problemas viene generado por el 20% de las causas. De esta forma, centrando esfuerzos en unas pocas causas resolveremos la mayor parte del problema.

Carot (2001), sugiere los siguientes pasos para la elaboración del diagrama de Pareto:

1. Definir el tipo de problema que se va a investigar.
2. Definir el método y el periodo de la recolección de los datos.
3. Construir una tabla para el conteo de los datos.
4. Elaborar una tabla para el diagrama de Pareto: Calculando las frecuencias, las frecuencias acumuladas, los porcentajes y los porcentajes acumulados a partir de la tabla de conteo. Ordenando las clases de mayor a menor frecuencia.
5. Construir el diagrama de Pareto.

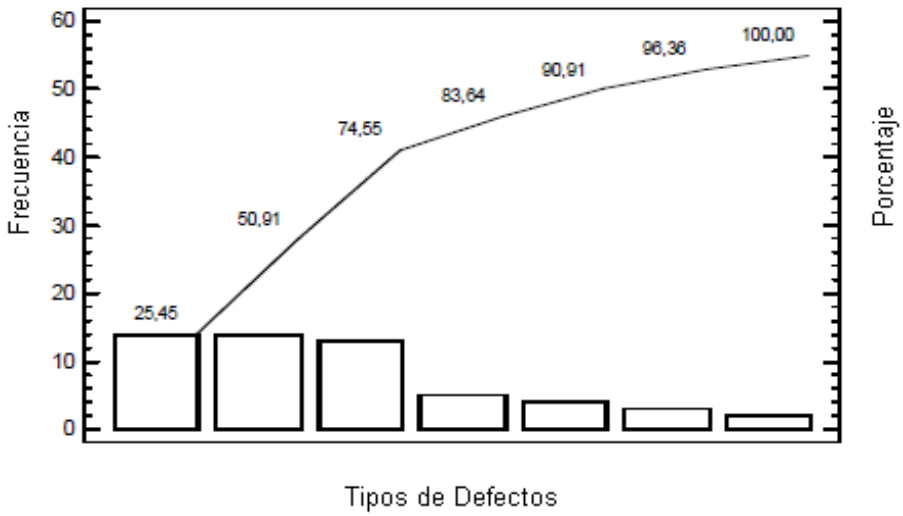


Figura Nº II.2. Diagrama de Pareto. Fuente: Herrera y Fontalvo, 2011.

Uso del diagrama de Pareto según Carot (2001):

1. Como técnica de análisis de problemas de calidad pero también de diversa naturaleza.
2. Para marcar objetivos completos teniendo en cuenta que disponemos de recursos materiales y humanos limitados.
3. Para evaluar los efectos de las mejoras, ya que las medidas han resultado eficaces las barras de la izquierda deben disminuir y cambiar de orden.
4. Como herramienta de comunicación, por ser una representación sencilla de entender, evitando errores de subjetividad.

Histograma

Según Gutiérrez y de la Vara (2004), el histograma es un tipo especial de gráfico de barras que se puede utilizar para comunicar información sobre las variaciones de un proceso, visualizar la tendencia central y la dispersión de los datos, además de la forma de su distribución a lo largo de su rango, evita tomar decisiones enfocándose de la media y permite tener idea sobre la capacidad del proceso.

Limitaciones del histograma:

1. No considera el tiempo, por lo que con el histograma es difícil identificar tendencias que ocurran a través del tiempo.
2. No es la técnica más apropiada para comparar de manera práctica varios procesos o grupos de datos.
3. La cantidad de clases o barras influye en la forma del histograma.

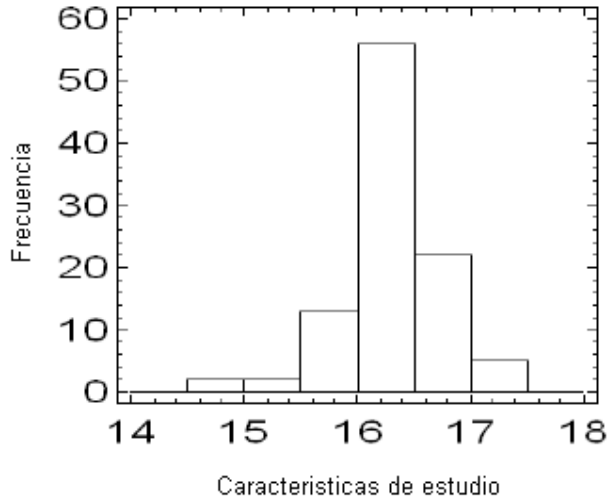


Figura Nº II.3. Histograma de frecuencia. Fuente: Herrera y Fontalvo, 2011.

Gráficos de control

Según la ISO 10017:2003, "gráfico de control es un gráfico de datos derivados de muestras que se extraen periódicamente de un proceso y se grafican en la secuencia. La función de un gráfico de control es ayudar a evaluar la estabilidad del proceso".

Según Sherman (2012), los gráficos de control fueron inventados por Walter A. Shewhart, durante su trabajo en los laboratorios Bell en la década de los 1920, su función principal es filtrar el ruido (variación aleatoria) de la variación asignable o no aleatoria, pudiendo identificar cuando actuar en el proceso.

Variaciones asignables: son aquellas que son causadas por situaciones especiales que no son permanentes en el proceso; su naturaleza relativamente discreta, permite identificarlas y eliminarlas.

Variaciones aleatorias: son aquellas que permanecen día a día en el producto, la aportan de forma natural las condiciones del proceso. Estas variaciones son difíciles de identificar y eliminar.

Un gráfico de control es un dibujo para determinar si el modelo de probabilidad (variabilidad) es estable o cambia a lo largo del tiempo.

Montgomery (2005), propone una metodología a seguir para la eliminación de las causas asignables que se presentan en el proceso.

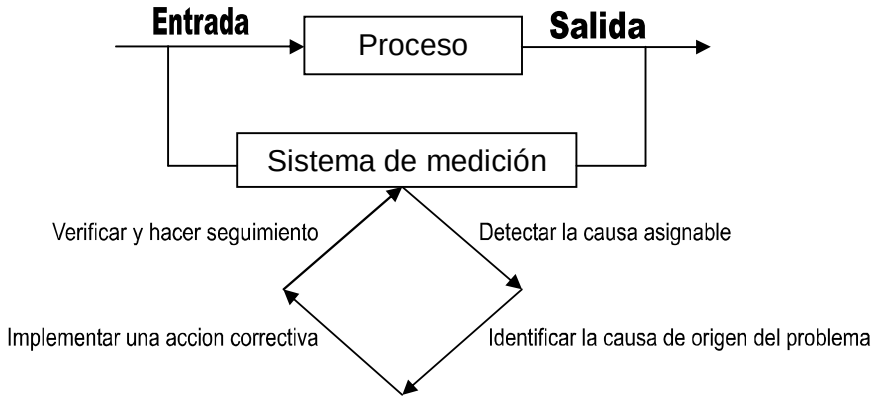


Figura Nº II.4. Metodología para la eliminación de las causas asignables.
Fuente: Montgomery (2005). Elaboración propia.

Objetivos fundamentales de los gráficos de control según Carot (2001):

1. Vigilancia y control del proceso con el fin de conseguir que este sea estable, evitando la producción de defectos.
2. Aumento de la homogeneidad del producto mediante la variabilidad del proceso y conseguir así la mejora continua de la calidad
3. Evitan que se hagan ajustes innecesarios en el proceso.

4. Suministra la información necesaria para la determinación de los parámetros del producto y del proceso mediante la correspondiente estimación estadística permitiendo conocer mejor nuestra actividad productiva.

El objetivo principal de un grafico de control es observar y analizar con datos estadísticos la variabilidad y comportamiento de un proceso a lo largo del tiempo. Permitiendo distinguir entre variaciones asignables y aleatorias, para decidir cuáles son las mejores acciones de control y mejora.

Existen dos tipos de gráficos de control: para variables aplicadas a características de calidad del tipo continuo y para atributos se aplican a características que no pueden ser medidas con un instrumento donde se cuenta el numero de no conformidades que tiene el producto.

Gráficos de control $\bar{X} - S$

Según Gutiérrez y de la Vara (2004), a lo largo de un proceso cada determinado tiempo o cantidad de piezas se toma un grupo pequeño de piezas (subgrupo), a las que se le medirá una o más características de calidad. Con las mediciones de cada subgrupo se calculara la media y la desviación, que aportaran información sobre la tendencia central y la variabilidad del proceso.

El gráfico $\bar{X}$ analiza la variación entre las medias de los subgrupos, para así detectar cambios en la media del proceso. Mientras que con el grafico S se analiza la variación entre las desviaciones estándar de los subgrupos, lo que permite detectar cambios pequeños en la amplitud o magnitud de la dispersión del proceso.

Para realizar un estudio inicial de desempeño del proceso sobre el tiempo y determinar los límites de control, es usual obtener por lo menos de 20 a 25 subgrupos de tamaño pequeño (entre 5 y 10). Además los subgrupos deben estar espaciados de tal manera que puedan captar el funcionamiento del

proceso a lo largo de por lo menos dos días.

Límites de control gráfico $\bar{X}$

Los límites están determinados por:

$$LCS = \mu_{\bar{X}} + 3\sigma_{\bar{X}} \quad (1)$$

$$LCI = \mu_{\bar{X}} - 3\sigma_{\bar{X}} \quad (2)$$

$$LC = \mu_{\bar{X}} \quad (3)$$

Donde:

$$\mu_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} \text{ Y } \sigma_{\bar{X}} = \frac{\hat{\sigma}}{\sqrt{n}}$$

$\mu_{\bar{X}}$: Media de las medias

$\sigma_{\bar{X}}$: Desviación estándar de las medias.

σ: representa la desviación estándar del proceso y es la que indica que tan variables son las mediciones individuales

n: indica el tamaño del subgrupo.

Al inicio del estudio no se conoce la deviación del proceso; sin embargo puede estimarse de la siguiente manera:

$$\hat{\sigma} \approx \frac{\bar{S}}{C_4} \quad (4)$$

Donde:

C_4: Es una constante que depende del tamaño del subgrupo y esta tabulada.

El cálculo de los límites de control queda de la siguiente manera:

$$LCS = \bar{X} + 3\frac{\bar{S}}{C_4\sqrt{n}} \quad (5)$$

$$LCI = \bar{X} - 3\frac{\bar{S}}{C_4\sqrt{n}} \quad (6)$$

$$LC = \bar{X} \quad (7)$$

Límites de control gráfico S

Los límites están determinados por:

$$LCS = \mu_S + 3\sigma_S \quad (8)$$

$$LCI = \mu_S - 3\sigma_S \quad (9)$$

$$LC = \mu_S \quad (10)$$

Donde:

$$\mu_S = \bar{S} \text{Y } \hat{\sigma}_S \approx \frac{\bar{S}}{C_4}$$

μ_S: Media de las desviaciones estándar.

$\hat{\sigma}_S$: Desviación estándar estimada.

C_4: Es una constante que depende del tamaño del subgrupo y esta tabulada.

De forma explícita los límites se calculan con:

$$LCS = \bar{S} + 3\frac{\bar{S}}{C_4}\sqrt{1 - C_4} \quad (11)$$

$$LCI = \bar{S} - 3\frac{\bar{S}}{C_4}\sqrt{1 - C_4} \quad (12)$$

$$LC = \bar{S} \quad (13)$$

Donde se introducen la constante C_4 para simplificar los cálculos, las cuales es tan tabuladas y dependen del tamaño de subgrupo.

Interpretación de los gráficos de control

Una gráfico de control indicará una condición fuera de control cuando uno o más puntos caigan más allá de los límites de control o cuando los puntos graficados formen un patrón no aleatorio de comportamiento.

A continuación se presentan una serie de patrones que hacen que un proceso opere con causas asignables de variación, según Gutiérrez y de la Vara (2004):

- Desplazamientos o cambios en el nivel del proceso. Ocurre cuando uno o más puntos se salen de los limites de control o cuando hay una tendencia a que lo puntos consecutivos caigan a un solo lado de la línea central. Algunas pruebas que se pueden utilizar para identificar este patrón son:
  - Nueve o más puntos consecutivos de un solo lado de la línea central.
  - Al menos 10 de 11 puntos consecutivos caen de un mismo lado de la línea central.
  - Por lo menos 12 de 14 puntos consecutivos ocurren por un mismo lado de la línea central.
- Tendencias en el nivel del proceso. Consiste en una tendencia a incrementarse o disminuirse en los valores de los puntos de la carta. Para determinar si hay una tendencia en el proceso se tienen las siguientes pruebas:
  - Seis o más puntos consecutivos ascendentes o descendentes.
  - Un movimiento de puntos demasiado largo de puntos hacia arriba o en descenso.
- Ciclos recurrentes. Los puntos se presentan con un comportamiento cíclico.
- Mucha variabilidad. Se manifiesta mediante la alta producción de puntos cerca de los límites de control, a ambos lados de la línea central y pocos o

ningún punto en la parte central del grafico. Los criterios para detectar mucha variabilidad son los siguientes:

- Ocho untos consecutivos a ambos lados de la línea central con ninguno en la zona C

❖ Falta de variabilidad. Se manifiesta cuando todos los puntos se encuentren en la parte central del grafico, es decir que reflejen poca variabilidad. Para detectar la falta de variabilidad se tienen los siguientes criterios:

- Quince puntos consecutivos en la zona C, arriba o abajo de la línea central.

Según Gutiérrez y de la Vara (2004), que el proceso sea inestable es señal de que un factor específico de variación está presente y se debe investigar cual es y medir su ocurrencia, para identificar si el proceso es inestable se define un índice llamado S_t definido como:

$$S_t = \frac{número\ de\ puntos\ \ especiales}{número\ total\ de\ puntos} * 100 \qquad (14)$$

Donde:

$0 < S_t < 2\%$ Buena estabilidad

$2\% < S_t < 5\%$ Regular

$S_t > 5\%$ Inestable

Donde por el número total de puntos se entiende la cantidad de puntos que han sido graficados en un grafico de control en cierto periodo de tiempo, y por un número de puntos especiales, se designara la cantidad de puntos que indicaron, en ese mismo periodo una señal de causa especial de variación que haya ocurrido en el proceso.

Debe tenerse cuidado de no exagerar en la aplicación de las reglas ya que se pueden tener muchas falsas alarmas quitándole efectividad al programa del control estadístico de proceso.

II.2.3 Estudio Repetibilidad y Reproducibilidad (R&R)

Según Gutiérrez y de la Vara (2004):

> En los estudios R&R se trata de evaluar en forma experimental que parte de la variabilidad total observada en los datos es atribuible al error de medición y cuantificar si este error es mucho o poco, comparado con la variabilidad del producto y con las tolerancias de las características de calidad que se mide. Las fuentes de variabilidad que se pueden evaluar en un estudio de repetibilidad y reproducibilidad son: variabilidad del producto, del instrumento y de los operadores. (p.336)

Existen dos métodos para realizar el estudio R&R, el corto y el largo, siendo este último el más recomendable, porque permite obtener una evaluación para cada una de las fuentes de variabilidad, mientras que el corto logra evaluar la variabilidad atribuible al proceso de medición.

Pasos para realizar un estudio largo con análisis de Medias y Rangos:

1. Seleccionar dos o más operadores para conducir el estudio
2. Seleccionar al azar de la producción un conjunto de diez o más piezas que serán medidas varias veces por cada operador.
3. Decidir el número de ensayos o veces que cada operador medirá la misma pieza, debe hacerse por lo menos dos veces.
4. Etiquetar cada parte y aleatorizar el orden en el cual las partes se dan a los operarios. Identificar la zona o puntos en la parte donde la medición será tomada y el método o técnica que deberá aplicarse.
5. Obtener en orden aleatorio la primera medición del operador A para todas las piezas seleccionadas.
6. Volver aleatorizar las piezas y obtener la primera medición del operador B.
7. Continuar hasta que todos los operadores hayan realizado la primera medición de todas las piezas.

8. Repetir los tres pasos anteriores hasta completar el número de ensayos elegidos. Asegurarse que los resultados previos de los otros ensayos no son conocidos por los operadores.
9. Hacer el análisis estadístico de los datos.

La estimación de la repetibilidad del instrumento viene dada por la variabilidad de las mediciones cuando se obtienen en condiciones similares y se obtiene a partir del promedio de los rangos promedios de cada operador.

$$\bar{\bar{R}} = \frac{1}{n} * \sum_{i=1}^{n} \bar{R}_n \tag{15}$$

$$\hat{\sigma}_{repetibilidad} = \frac{\bar{\bar{R}}}{d_2} \tag{16}$$

Donde:

$\boldsymbol{d_2}$: Constante de los gráficos de control, que representa la media del rango relativo.

La reproducibilidad del instrumento viene dada por la variabilidad que surge debido a la diferencias entre los operadores. Por lo tanto, la estimación de la reproducibilidad del instrumento se obtiene de la siguiente manera:

$$\bar{\bar{X}}_{max} = max\left(\bar{\bar{X}}_1, \bar{\bar{X}}_2, \dots, \bar{\bar{X}}_n\right) \tag{17}$$

$$\bar{\bar{X}}_{min} = min\left(\bar{\bar{X}}_1, \bar{\bar{X}}_2, \dots, \bar{\bar{X}}_n\right) \tag{18}$$

Donde:

$$R_{\bar{\bar{X}}} = \bar{\bar{X}}_{max} - \bar{\bar{X}}_{min} \tag{19}$$

Por lo tanto;

$$\hat{\sigma}_{reproducibilidad} = \frac{R_{\bar{\bar{X}}}}{d_2} \quad (20)$$

Una vez estimados ambos componentes la desviación estándar del error de medición viene dada por:

$$\hat{\sigma}^2{}_{instrumento} = \hat{\sigma}^2{}_{repetibiliodad} + \hat{\sigma}^2{}_{reproducibilidad} \quad (21)$$

El índice que expresa en porcentaje la comparación de la expansión del error de medición con la variabilidad tolerada según Gutiérrez y de la Vara (2004):

$$\frac{P}{T} = \frac{6\hat{\sigma}_{instrumento}}{e_{sup} - e_{inf}} \quad (22)$$

Donde:

$\frac{P}{T} \leq 10\%$Excelente proceso de medición

$10\% \leq \frac{P}{T} \leq 20\%$ Bueno

$20\% \leq \frac{\mathrm{P}}{\mathrm{T}} \leq 30\%$ Marginal (casi inaceptable)

$\frac{\mathrm{P}}{\mathrm{T}} \geq 30\%$Inaceptable y debe corregirse

Método ANOVA para analizar el estudio largo

Según Gutiérrez y de la Vara (2004), el método de análisis de varianza (ANOVA) es más completo en los estudios R&R, ya que no supone la inexistencia de la interacción parte x operador (producto x operador)[3], que viene dada cuando el desempeño de los operadores es diferente según el tipo de piezas; este estudio indica que parte de la variación total de los datos viene dada de la siguiente forma:

$$\sigma^2{}_{total} = \sigma^2{}_{parte} + \sigma^2{}_{oper} + \sigma^2{}_{oper*parte} + \sigma^2{}_{instr} \quad (23)$$

Donde:

$$\boldsymbol{\sigma^2}_{\boldsymbol{repeti}} = \boldsymbol{\sigma^2}_{\boldsymbol{instr}} \quad \text{y} \quad \boldsymbol{\sigma^2}_{\boldsymbol{repeti}} = \boldsymbol{\sigma^2}_{\boldsymbol{oper}} + \boldsymbol{\sigma^2}_{\boldsymbol{oper*parte}}$$

De los datos del estudio largo se calculan la suma de cuadrados correspondientes a cada componente de variación, y estas cumplen la siguiente relación:

$$SC_{total} = SC_{parte} + SC_{oper} + SC_{oper*parte} + SC_{error} \tag{24}$$

Donde la suma cuadrado del error corresponde a la repetibilidad y los grados de libertad correspondientes a cada suma cuadrado son, respectivamente:

$$pot - 1 = (p - 1) + (o - 1) + (p - 1) * (o - 1) + po(t - 1) \tag{25}$$

Donde:

p : Partes

t : Ensayos

o : Operadores

Al dividir la suma de cuadrados por sus grados de libertad se obtienen los cuadrados medios y con estos se pueden construir pruebas estadísticas para verificar las diferencias entre las partes, los operadores y la presencia entre el efecto de interacción parte x operador, a partir de esto se concluye que los componentes de varianza de cada caso están dados por:

$$\sigma^2_{instr} = CM_{error} \tag{26}$$

$$\sigma^2_{parte} = \frac{CM_{parte} - CM_{oper*parte}}{to} \tag{27}$$

$$\sigma^2_{oper} = \frac{CM_{oper} - CM_{oper*parte}}{tp} \tag{28}$$

$$\sigma^2_{oper*parte} = \frac{CM_{oper*parte} - CM_{error}}{tp} \tag{29}$$

II.2.4 Análisis de Capacidad del Proceso

Montgomery (2005), “define el análisis de capacidad del proceso como el estudio de ingeniería para estimar la capacidad del proceso”.

Según Carot (2001), la capacidad del proceso “es la aptitud del proceso para producir productos dentro de los límites en las especificaciones de la calidad”.

Si la variable de la calidad se distribuye normalmente, el intervalo definido por μ ± 3σ (99.73%) contiene prácticamente la totalidad de las unidades fabricadas. La amplitud de este intervalo es precisamente lo que se conoce como la variabilidad natural del proceso.

Capacidad potencial del proceso

Según Carot (2001), “La capacidad potencial del proceso es el índice que mide la capacidad del proceso relacionando la amplitud de las tolerancias con la variabilidad natural del proceso” y se calcula de la siguiente manera:

$$C_P = \frac{T_2 - T_1}{6\sigma} \tag{30}$$

Criterios para determinar la capacidad potencial del proceso:

Si C_p < 1 se dice que el proceso no es capaz.
Si C_p = 1 se dice que el proceso es potencialmente justamente capaz.
Si C_p > 1 se dice que el proceso es potencialmente capaz.

Este índice no toma en cuenta la localización relativa de la media del proceso respecto a los límites de especificaciones, por lo tanto un proceso puede ser potencialmente capaz y generar piezas defectuosas. Por lo que es necesario otro índice adicional.

Capacidad real del proceso

Según Carot (2001), “Capacidad Real del proceso es el índice que contempla además de la variabilidad natural y la amplitud de tolerancias el centrado del proceso” y se calcula a través de los índices inferior y superior de capacidad donde:

Índice inferior:

$$C_{pi} = \frac{\mu - T_1}{3\sigma} \tag{31}$$

Índice superior:

$$C_{ps} = \frac{T_2 - \mu}{3\sigma} \tag{32}$$

Por lo tanto:

$$C_{pk} = \min (C_{pi}, C_{ps}) \tag{33}$$

Note que el C_{pk} a considerar corresponde al límite de especificación más cercano a la media del proceso. Siempre se cumple que,

$$C_{pk} \leq C_p$$

Siendo el C_{pk} menor cuando el proceso no está centrado. Es importante destacar que los estudios de capacidad deben realizarse solamente cuando el proceso está bajo control estadístico.

II.2.5 Metodología ESIDE

Ortiz e Illada (2007) señalan que ESIDE es una metodología sistémica que busca la identificación y eliminación de toda forma de desperdicio. Consiste en aplicar diez pasos de manera secuencial, haciendo énfasis en

identificar y reducir las causas de los desperdicios, para así eliminar su impacto.

II.3 Definición de Términos Básicos

Pandeo: arqueo del perfil, puede presentarse longitudinalmente o de forma transversal como se observa en la figura N° 1.

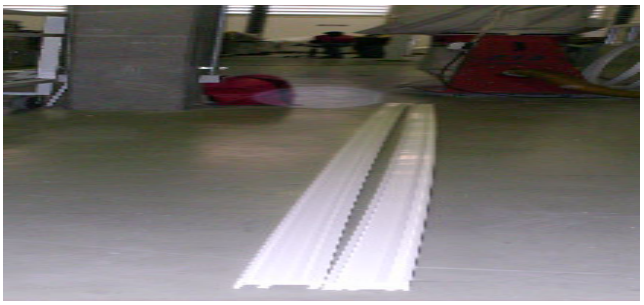


Figura Nº II.5. Deformación de perfil (pandeo).

Amarillez: defecto que presenta el perfil cuando es expuesto a elevadas temperaturas ocasionando un color amarillo en el mismo; en la figura Nº 6 se observa la comparación de un perfil blanco con un perfil con elevado índice de amarillez.

Figura Nº II.6. Perfil con elevado índice de Amarillez.

Ondulaciones en las paredes internas: se presenta cuando hay una disminución de la presión de vacío en las bañeras del equipo post- extrusión, el cual permite que el perfil tenga la dureza y la forma deseada después de ser extruido, en la figura Nº7 se observa un perfil con ondulaciones en las paredes internas.

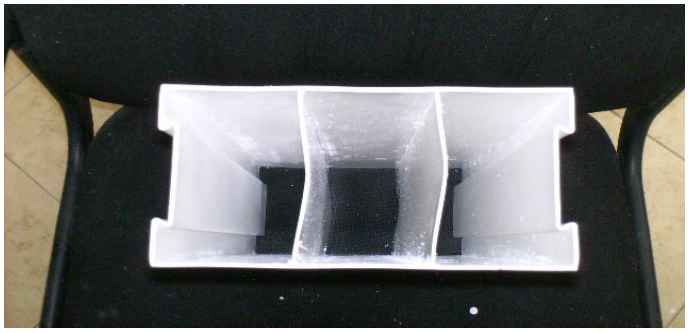


Figura Nº II.7. Perfil con ondulaciones en las paredes internas.

Fractura o astillamiento: se presenta cuando hay una mala homogenización de la mezcla o las temperaturas de fusión no son las adecuadas.

Figura Nº II.8. Perfil fracturado.

Capítulo III
Marco Metodológico

III.1 Tipo y nivel de la investigación

El estudio permitió evaluar la situación actual en la que se encuentra el proceso de fabricación de los perfiles estructurales, a través de la aplicación de diversas técnicas o herramientas estadísticas que permitieron la recolección de información necesaria, la cual fue sometida a un proceso de análisis cuyos resultados ayudaron a generar una serie de alternativas para la mejora del proceso.

La elaboración de este trabajo está enmarcada en una investigación del tipo descriptiva, ya que esta es del tipo concluyente que tiene como objetivo principal “la descripción de las características que identifican los diferentes elementos y componentes, y su interrelación” (Méndez, 2009)

Por medio de esta investigación se tomaron datos que permitieron analizar la situación existente y proponer mejoras.

III.2 Unidad de análisis

El objeto a estudiar fue el proceso de producción de perfiles estructurales en la planta Petrocasa Perfiles S.A. Guacara I; el cual representa el caso de estudio, destacando que es del tipo instrumental según Stake (2007) “el interés está centrado en las implicaciones de los resultados de la investigación en otros ámbitos más allá del propio caso. El caso tiene un interés secundario, desempeña un papel de apoyo, facilitando el entendimiento de algún problema.” (p.17).

A medida que se evaluó el proceso se estuvo dotando de conocimientos al personal que labora en el departamento de calidad, con los cuales podrán seguir el control adecuado y así aumentar la calidad del producto, logrando una mayor satisfacción del cliente.

III.3 Técnicas para la Recolección y Análisis de Información

Para la recolección de la información se utilizó la técnica de la observación directa, a través de Formatos de recolección de datos, Herramientas de Calidad y entrevistas, de las cuales se contactaron a las personas involucradas en el proceso productivo directa o indirectamente, como personal de producción, de mantenimiento, ingeniería y de Calidad. Es importante resaltar, que este medio permitió recolectar información de interés para el cumplimiento de cada uno de los objetivos de la investigación.

III.4 Operacionalización de los Objetivos

Tabla Nº III.1. Operacionalización de los objetivos

Objetivos	Solución	Resultado
Diagnosticar la situación actual del proceso.	Observar las condiciones en las cuales se encuentra la planta	Descripción detallada del proceso.
Identificar el sub-procesos crítico.	Aplicar el paso 1.1 (Selección del área crítica) de la metodología ESIDE.	Sub-proceso crítico.

Seleccionarla variable de calidad de los productos que se desean controlar.	Determinar el nivel de importancia de cada una de las características que afectan la calidad del producto y las posibles causas que generan las inconformidades.	Diagramas de Pareto y Diagramas Causa-Efecto.
Determinar la variabilidad del sistema de medición empleado actualmente por la empresa.	Estudio de Repetibilidad y Reproducibilidad por el Método ANOVA.	Obtener la variabilidad total existente que es atribuible al error de medición.
Evaluar la estabilidad del proceso.	Distinguir entre variaciones asignables y aleatorias, para saber cuando y donde actuar en el proceso.	Gráfico de control $\bar{X} - S$.
Verificar la capacidad del proceso.	Comprobar si el proceso es capaz de producir dentro de especificaciones.	Índices de Capacidad y Desempeño.
Elaborar propuestas de mejora.	Con base en los resultados obtenidos de los objetivos anteriores se plantean soluciones a los diferentes problemas existentes	Mejora del Sub-proceso seleccionado.

Capítulo IV
Control Estadístico de Procesos

IV.1 Descripción de la situación Actual del proceso de fabricación de los perfiles estructurales

La materia prima utilizada en la fabricación de perfiles, está constituida principalmente por resina de PVC suministrada por la empresa Pequiven, además de una serie de aditivos como: los modificadores de impacto, estabilizantes térmicos, pigmentación, entre otros; proporcionados por una empresa extranjera. El proceso de fabricación inicia con la llegada de la materia prima al almacén central, el Departamento de Calidad realiza una serie de pruebas como volatilidad y densidad a cada componente y con base en los resultados obtenidos se origina una devolución al proveedor o son vaciados en Big-Bag con capacidad de 500 kg para los aditivos y 1.500 kg para la resina de PVC, para ser trasladados a un almacén intermedio ubicado en el área de mezcla.

Para la obtención del compuesto de PVC, la materia prima es dosificada y mezclada por las tolvas balanzas, obteniendo un batch de 450 kg de compuesto homogéneo de PVC. Cada 15 batch el Departamento de Calidad realiza pruebas de humedad y densidad e independientemente del resultado el compuesto es trasladado a través de un sistema neumático a los silos de maduración.

Después de tener un tiempo de reposo aproximado de 8 horas, se distribuye por un tornillo dosificador a las líneas de extrusión, que dan forma a los perfiles bajo una serie de parámetros como temperaturas, velocidad y presión, de acuerdo con las especificaciones del producto a obtener, pero normalmente se hace a la consideración del operador, originando en ocasiones problemas en la estabilidad de la línea, trayendo como consecuencia paradas no planificadas, estas últimas también son producidas por falta de mantenimiento.

A medida que son extruidos los perfiles, se efectúa una inspección tomando una muestra de 40 cm en cada una de las líneas, para verificar las características relevantes como el color, longitudes, funcionabilidad, entre otros, utilizando equipos de medición como el Vernier Digital y el Colorímetro; con un intervalo de 2 horas, de no cumplir con los estándares establecidos se trasladan al área de molino, donde los trituran y almacenan para reprocesarlos, en caso contrario el perfil machihembrado es transportado al almacén de producto terminado, mientras que el perfil bloque I pasa al área de perforación y corte donde le realizan una serie de agujeros, que permiten el flujo de concreto y se le da el tamaño requerido para su determinado uso, durante este proceso se verifica que los perfiles estén dentro de especificaciones, de no ser así se envían al área de molino para ser reprocesados.

Después de ser cortados y perforados los perfiles, se transportan al área de embalaje ubicada dentro del almacén de producto terminado, donde se realiza el armado de cubos por tipo de perfil; entendiéndose por cubo todos los perfiles que se requieren para armar una vivienda; por último, se verifica la cantidad de perfiles y la colocación de los mismos en las paletas, para emitir un certificado de calidad y puedan ser despachados.

A continuación se muestra una representación gráfica del proceso de fabricación de los perfiles estructurales:

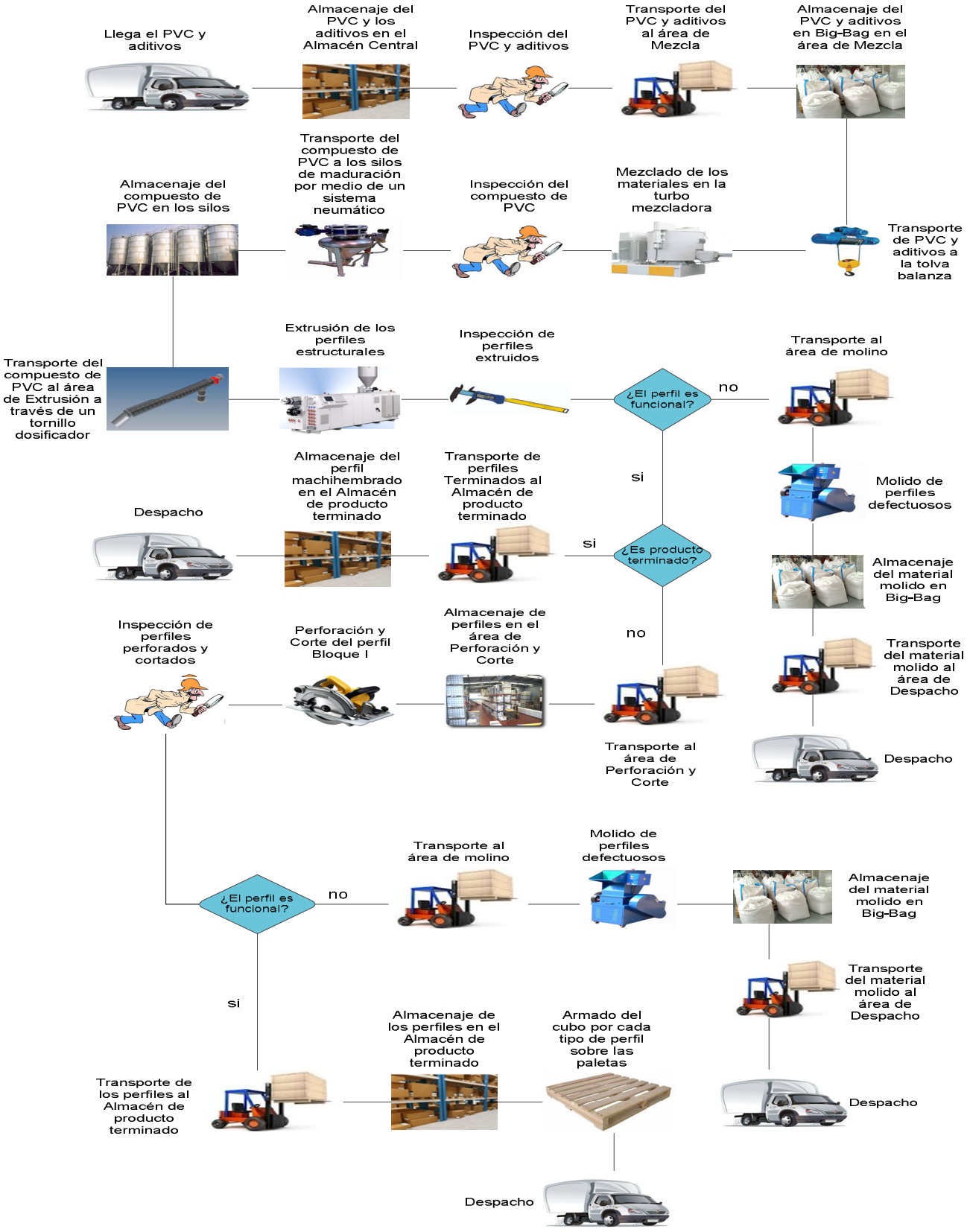


Figura N° IV.1. Representación gráfica del proceso de fabricación de perfiles estructurales. Fuente: Elaboración Propia.

Para una mejor comprensión de los Perfiles y sus características, a continuación se muestra la sección transversal de los mismos y las zonas que representan las caras del perfil en el momento que van saliendo de la extrusora:

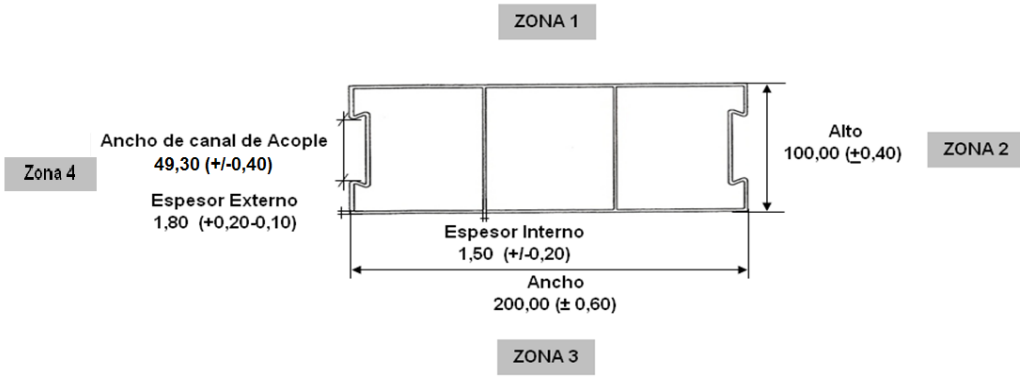


Figura N° IV.2. Sección transversal del perfil Bloque I. Fuente: Petrocasa, S.A.

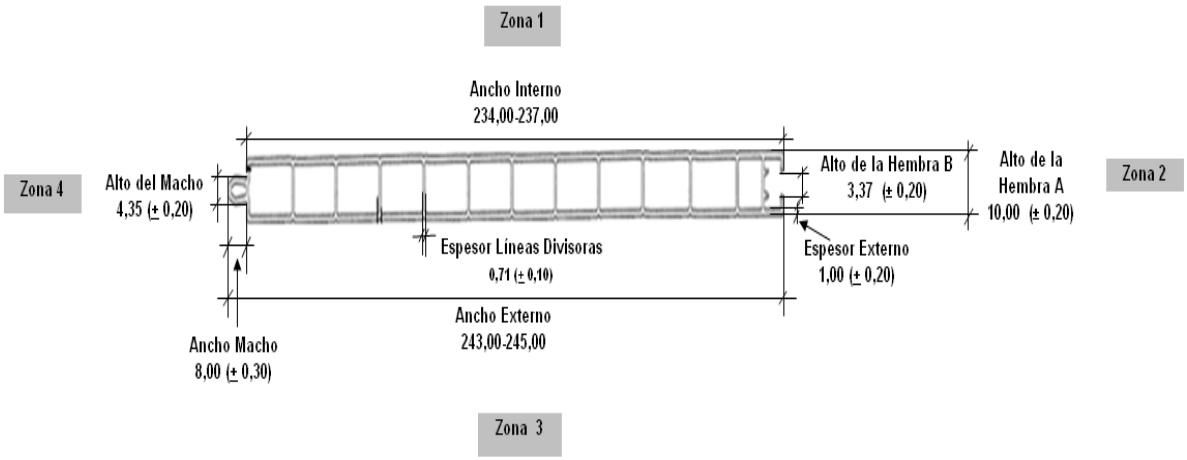


Figura N° IV.3. Sección transversal del perfil Machihembrado. Fuente: Petrocasa, S.A.

Cabe destacar que las variables que controlan el proceso son independientes para cada una de las zonas del perfil.

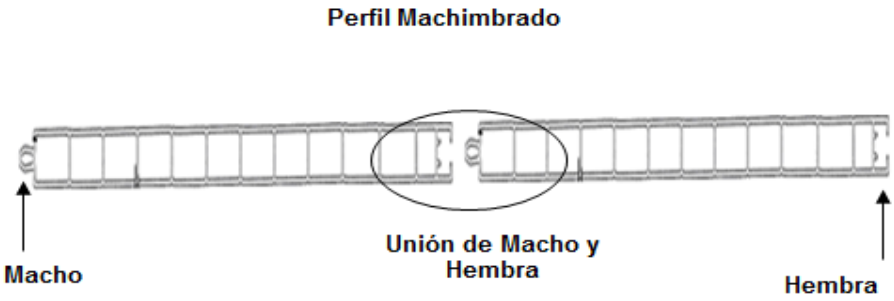


Figura N° IV.4. Sección transversal del ensamble del perfil Machihembrado.
Fuente: Petrocasa, S.A.

IV.2 Selección del área crítica en el proceso de fabricación de los Perfiles Estructurales

Para identificar el área que se desea estudiar en cuanto al grado de criticidad se aplicó el formato 1 de la metodología ESIDE denominado "Selección de área crítica".

Durante el desarrollo de la fase de descripción de la situación actual se encontró que los indicadores de desempeño que reflejan mayor impacto en el problema son: la cantidad de paradas de plantas no planificadas y los desperdicios, por lo que se consideraron para la selección del área de estudio.

Los valores actuales que presentan los indicadores seleccionados para la identificación del área de estudio en la Tabla N° 2, fueron determinados mediante observación directa por parte de los investigadores y apoyados en información suministrada por la empresa.

Los pesos relativos, fueron analizados y establecidos en conjunto con la gerencia de la empresa. El comportamiento de los indicadores en la Tabla N° IV.1 de la metodología ESIDE muestra una prioridad de estudio para el subsistema de Extrusión, ya que resultó con el puntaje más alto.

Tabla Nº IV.1. Selección de área crítica

Organización: Petrocasa, S.A.
Sistema en estudio: Fabricación de Perfiles rígidos de PVC
Realizado por: Pacheco/Pérez
Fecha: Septiembre 2012
Página: 1/1

INDICADORES DE GESTIÓN DEL SISTEMA				SUBSISTEMA: 1 Extrusión			SUBSISTEMA: 2 Perforación			SUBSISTEMA:3 Corte		
NOMBRE	**UM**	**VA**	**PR**	**VA**	**ST**	**PTOS**	**VA**	**ST**	**PTOS**	**VA**	**ST**	**PTOS**
Paradas no Planificadas	Nº de paradas/mes	55	8	30	3	24	15	2	16	10	1	8
Desperdicios	U/mes	2830	9	2700	3	27	90	2	18	40	1	9
						51			34			17

Peso relativo: escala asignada del 1 al 10, siendo 10 el más importante y descendiendo hasta 1 el menos importante.

Status: prioridad de atención con respecto al resto de los subsistemas. La escala asignada es 1, 2 y 3, siendo 3 el sistema de mayor status.

IV.3 Identificación de la característica crítica de calidad presente en los Perfiles Estructurales en el subproceso de Extrusión.

Para la obtención de los defectos más relevantes de cada perfil, se recogieron los datos de los últimos tres meses de inspecciones realizadas por los analistas del Departamento de Calidad, en función de estos se realizaron los diagramas de Pareto correspondientes a cada perfil.

Mediante un análisis de los defectos por los que los perfiles se rechazan se obtienen los siguientes datos:

Tabla N° IV.2. Datos recolectados para el perfil Bloque I.

Características	N° de defectos	%	%Acumulado
Ancho de canal de acople	1070	41,26	41,26
Líneas visibles y palpables	380	14,65	55,92
Pandeo	363	14,00	69,92
Amarillez	356	13,73	83,65
Deformación lateral	150	5,78	89,43
Espesor Externo	100	3,86	93,29
Angulo	74	2,85	96,14
Ondulaciones	50	1,93	98,07
Fracturas	50	1,93	100
total	2593	100	

Como se puede apreciar en el gráfico N° IV.1. Los defectos predominantes en el perfil Bloque I son: ancho de canal de acople fuera de especificación, porque representa el 41.26% del total de los defectos; y es de gran importancia, ya que determina la funcionabilidad del perfil.

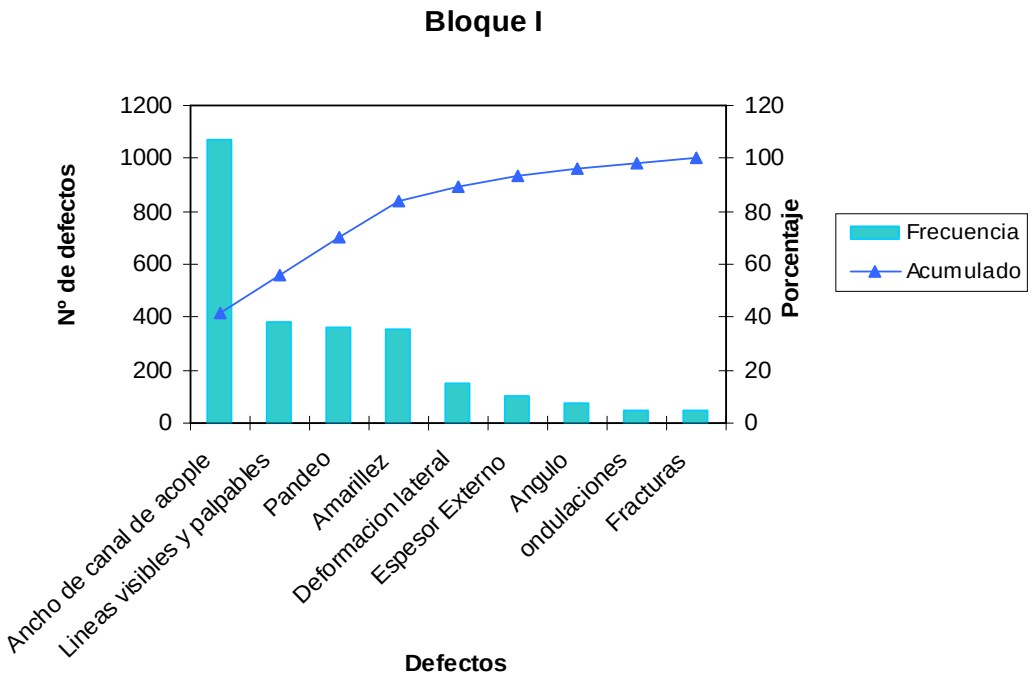


Gráfico N° IV.1. Diagrama de Pareto para el perfil Bloque I.

Tabla N° IV.3. Datos recolectados para el perfil Machihembrado

Características	N° de defectos	%	% Acumulado
Amarillez	613	53,44	53,44
Alto del macho	264	23,02	76,46
fractura	131	11,42	87,88
Alto de la hembra	70	6,10	93,98
Ancho interno hembra	25	2,18	96,16
fractura de líneas divisoras	24	2,09	98,26
Deformación	20	1,74	100
Total	1147	100	

Como se puede apreciar en el gráfico N° IV.2 los defectos sobresalientes en el perfil Machihembrado son: índice de amarillez elevado y el alto del macho fuera de especificación, debido a que estos representan el 76.46% del total de los defectos; y son de gran importancia, ya que uno

permite el ensamble entre los perfiles y el otro, tanto la estética como las propiedades físicas del perfil.

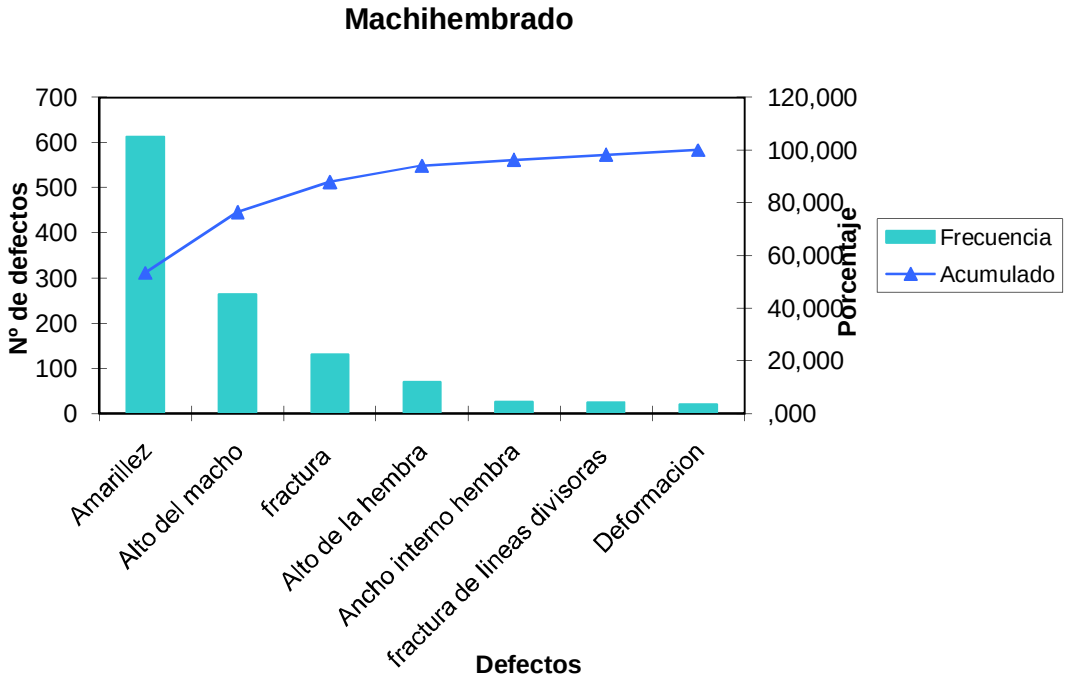


Gráfico N° IV.2. Diagrama de Pareto para el perfil Machihembrado.

A través de lluvia de ideas con los Analistas del Departamento de Calidad y los operadores de las máquinas, se realizaron los siguientes Diagramas de Causa – Efecto para los defectos críticos más sobresalientes por cada perfil:

Los defectos longitud de ancho del canal de acople, Alto del macho, se agruparon en características dimensionales, debido a que las causas que los generan son semejantes.

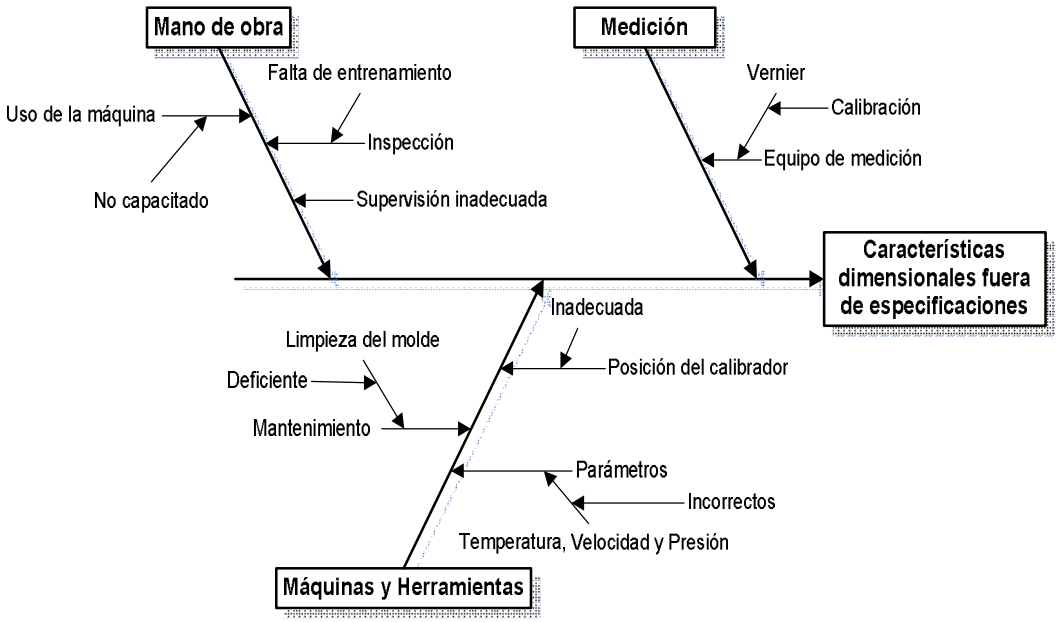


Figura N° IV.5. Diagrama Causa – Efecto para las características dimensionales. Fuente: Elaboración Propia.

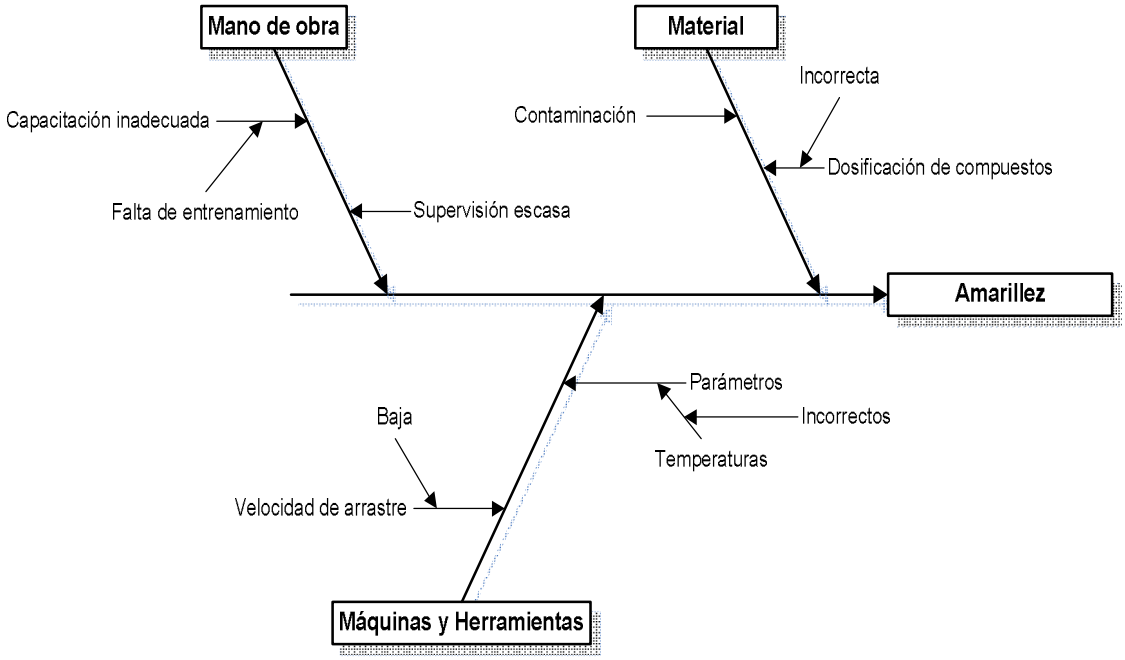


Figura N° IV.6. Diagrama Causa – Efecto para la Amarillez. Fuente: Elaboración Propia.

IV.4 Estudio Repetibilidad y Reproducibilidad (R&R)

El siguiente estudio se realizó con la ayuda del software Minitab 15, donde se seleccionaron 3 analistas para que ejecutaran las mediciones y 15 muestras del perfil Bloque I a los cuales se les midieron las características ancho de canal de acople y amarillez, efectuando 2 mediciones por analista. El interés de este tipo de experimento es saber cuánta varianza aporta cada uno de los componentes. Las hipótesis en cuestión se describen a continuación:

$H_0 : \sigma^2_{parte} = 0$ $\quad$ $H_1 : \sigma^2_{parte} \neq 0$

$H_0 : \sigma^2_{parte*oper} = 0$ $\quad$ $H_1 : \sigma^2_{parte*oper} \neq 0$

$H_0 : \sigma^2_{oper} = 0$ $\quad$ $H_1 : \sigma^2_{oper} \neq 0$

La aspiración máxima del experimento es que toda la variabilidad se deba a las piezas de manera que se pueda concluir que el instrumento es capaz de distinguir entre diferentes niveles de productos. (Herrera y Fontalvo, 2011).

A pesar que se conoce que los instrumentos no reciben la calibración en el tiempo correspondiente se realizó el siguiente estudio para demostrar que para demostrar que estos no son tan confiables en las condiciones actuales de operación.

IV.4.1 Estudio R&R para el Vernier N° 11905040

Tabla N° IV.4. Mediciones realizadas con el Vernier N° 11905040

OrdenCorrida	Operador	Muestras	Mediciones
1	2	13	49,11
2	2	9	48,92
3	3	11	49,02
4	3	3	49,53
5	2	7	48,78
6	1	7	48,76
7	1	1	49,38
8	3	8	49,18
9	2	2	50,16
10	2	10	49,13
11	3	14	48,68
12	3	7	48,78
13	1	7	48,84
14	1	10	49,1
15	3	10	49,12
16	1	5	48,53
17	2	3	49,5
18	1	9	48,86
19	3	6	48,8
20	2	1	49,3
21	2	12	49,14
22	2	3	49,55
23	2	6	49
24	2	15	49,15
25	3	9	48,96
26	3	5	48,55
27	1	8	49,16
28	3	10	48,96
29	1	2	50,08
30	1	11	49,03
31	3	3	49,37
32	3	15	49,14
33	1	15	49,12
34	3	4	49,18
35	1	6	48,88
36	2	8	49,15
37	2	11	48,84
38	1	11	49,04
39	1	13	49,12
40	1	12	49,16
41	1	4	49,2
42	2	8	49,16
43	2	10	49,13
44	1	3	49,48
45	3	4	49,1

OrdenCorrida	Operador	Muestras	Mediciones
46	2	6	48,9
47	2	14	48,66
48	2	11	48,92
49	1	4	49,19
50	3	12	48,98
51	3	1	49,4
52	3	6	49,01
53	1	12	49,19
54	2	1	49,35
55	3	15	49,11
56	2	14	48,74
57	1	14	48,73
58	3	2	50,12
59	1	10	49,09
60	3	5	48,54
61	3	13	49,06
62	1	13	49,16
63	1	8	49,21
64	1	1	49,39
65	3	2	49,99
66	2	5	48,54
67	3	1	49,28
68	3	8	49,18
69	2	15	49,11
70	3	12	49,02
71	3	11	48,87
72	3	14	48,65
73	2	13	49,13
74	2	9	48,95
75	2	2	50,13
76	1	2	50,15
77	1	5	48,53
78	2	7	48,8
79	2	12	49,19
80	2	4	49,25
81	2	5	48,55
82	1	14	48,63
83	2	4	49,22
84	1	3	49,5
85	1	9	48,84
86	1	15	49,12
87	1	6	48,96
88	3	7	48,89
89	3	9	48,85
90	3	13	49,08

Para el desarrollo del experimento se creo en el software Minitab 15 un diseño factorial de múltiples niveles reflejado en la figura Nº IV.7.

Factores:	2	Réplicas:	2
Corridas base:	45	Total de corridas:	90
Bloques base:	1	Total de bloques:	1

Número de niveles: 3. 15

Figura Nº IV.7. Diseño factorial de múltiples niveles.

IV.4.1.1Estudio R&R del sistema de medición - método ANOVA

La figura N° IV.8 muestra que existe variabilidad en los perfiles y las mediciones tomadas por los operadores, debido a que el valor P es menor al nivel de significancia de 5% ; además de no haber interacción entre muestra – operario por ser el valor P mayor al alfa de 0.25 establecido para eliminar la interacción.

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Muestras	14	11,4290	0,816361	244,512	0,000
Operador	2	0,0243	0,012141	3,636	0,039
Muestras * Operador	28	0,0935	0,003339	1,187	0,298
Repetibilidad	45	0,1266	0,002812		
Total	89	11,6734			

Alfa para eliminar el término de interacción = 0,25

Figura Nº IV.8. Tabla ANOVA de dos factores con interacción.

Al no haber una interacción, se recalculan los valores de los factores muestra y operario, dando como resultado un valor P para las muestras y para los operadores menor que el nivel de significancia 5% observados en la figura Nº IV.9; esto quiere decir que existe variabilidad en los perfiles y los operadores no utilizan el instrumento de la misma manera, esta última se debe a falta de experiencia de los mismos.

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Muestras	14	11,4290	0,816361	270,841	0,000
Operador	2	0,0243	0,012141	4,028	0,022
Repetibilidad	73	0,2200	0,003014		
Total	89	11,6734			

Figura Nº IV.9. Tabla ANOVA dos factores sin interacción.

En la figura N° IV.10 se observa la contribución de variación de cada uno de los componentes y se verifica que la variación total se debe principalmente a las diferencias entre las piezas, debido a que representa 97.61% de contribución; el sistema de medición tiene un aporte de 15.46%, considerándose aceptable según el criterio de Gutiérrez y de la Vara (2004) y tiene la capacidad de diferenciar entre varios tipos de piezas, pero no es lo mas recomendable para controlar el proceso, esto se debe a que las mediciones se realizan de forma manual y no existe un método definido para el uso del instrumento.

Fuente	VarComp	%Contribución (de VarComp)
R&R del sistema de medición total	0,003318	2,39
Repetibilidad	0,003014	2,17
Reproducibilidad	0,000304	0,22
Operador	0,000304	0,22
Parte a parte	0,135558	97,61
Variación total	0,138876	100,00

Fuente	Desv.Est. (DE)	Var. de estudio (6 * SD)
R&R del sistema de medición total	0,057606	0,34563
Repetibilidad	0,054901	0,32941
Reproducibilidad	0,017442	0,10465
Operador	0,017442	0,10465
Parte a parte	0,368182	2,20909
Variación total	0,372661	2,23597

Fuente	%Var. de estudio (%SV)
R&R del sistema de medición total	15,46
Repetibilidad	14,73
Reproducibilidad	4,68
Operador	4,68
Parte a parte	98,80
Variación total	100,00

Número de categorías distintas = 9

Figura Nº IV.10. Reporte de análisis Gauge R&R para el Vernier N° 11905040

Al examinar la grafica Nº IV.3 en la gráfica “R” se observa que la mayoría de los puntos se encuentran dentro de los límites de control, pero el operario 3 presenta mayor variabilidad en sus mediciones. En la gráfica de las medias se observa que la mayoría de los puntos están fuera de los límites de control, lo cual refuerza la idea que la variación se debe prioritariamente a

diferencias entre muestras, además se puede interpretar como que el sistema de medición es capaz de identificar las diferencias entre perfiles.

Este mismo análisis se puede obtener a partir del diagrama de barras (componentes de variación) donde la mayor parte del porcentaje de contribución se debe a las diferencias entre las muestras. En la gráfica por muestra se observa que los puntos siguen un mismo patrón y que hay pequeñas diferencias entre las muestras. En la gráfica de Mediciones por operador, hay mínimas diferencias entre los operarios, donde el operario 3 tiene una media más baja en comparación a los operadores 1 y 2. En la gráfica de interacción de operador - muestra se aprecia una leve divergencia de los puntos, además se visualiza la diferencia entre perfiles.

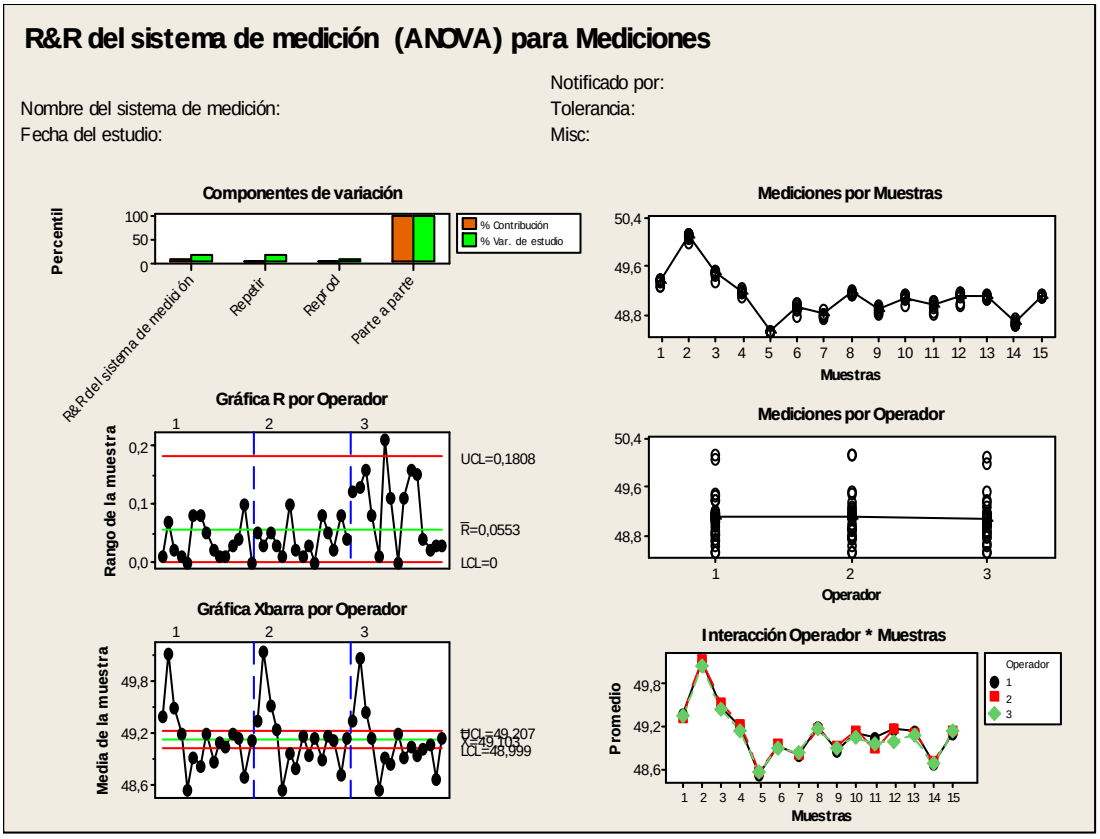


Gráfico Nº IV.3. Reporte gráfico Gauge R&R para el Vernier N° 11905040.

IV.4.2 Estudio R&R para el Vernier N° 10906290

Tabla N° IV.5. Mediciones realizadas con el Vernier N° 10906290

OrdenCorrida	Operador	Muestras	Mediciones
1	3	8	49,15
2	2	12	49,13
3	1	10	49,03
4	3	10	49,1
5	3	9	48,82
6	1	6	48,69
7	2	3	49,44
8	2	10	49,02
9	1	1	49,39
10	3	1	49,38
11	2	7	48,73
12	1	12	49,1
13	3	12	49,1
14	2	14	48,59
15	1	8	49,05
16	2	1	49,3
17	3	11	48,82
18	1	10	49,02
19	1	7	48,72
20	2	11	48,96
21	1	7	48,67
22	2	11	48,78
23	1	4	49,43
24	2	2	49,99
25	1	14	48,59
26	2	12	49,04
27	1	5	48,46
28	2	2	50,01
29	3	12	49,13
30	3	3	49,45
31	1	12	49,05
32	2	8	49,13
33	3	9	48,84
34	1	15	49,03
35	2	4	49,15
36	1	13	48,98
37	2	13	49,04
38	2	8	49,1
39	1	3	49,58
40	1	5	48,45
41	1	13	49,05
42	1	6	48,72
43	1	9	48,85
44	2	9	48,83
45	2	5	48,47

OrdenCorrida	Operador	Muestras	Mediciones
46	3	7	48,69
47	3	15	49,08
48	3	13	49,04
49	3	13	48,95
50	1	9	48,79
51	3	6	48,58
52	2	15	49,11
53	1	4	49,1
54	2	6	48,99
55	1	8	49,1
56	3	14	48,58
57	3	1	49,41
58	2	3	49,43
59	2	15	49,11
60	2	6	48,63
61	1	15	49,1
62	2	13	49,06
63	3	2	50,15
64	3	14	48,62
65	3	4	49,15
66	1	1	49,3
67	3	5	48,49
68	3	5	48,49
69	2	4	49,14
70	3	7	48,74
71	1	11	48,96
72	1	2	50,1
73	2	5	48,48
74	1	11	48,75
75	3	8	49,13
76	1	14	48,56
77	3	4	49,16
78	3	2	50,1
79	3	3	49,46
80	1	2	50,1
81	1	3	49,45
82	2	1	49,26
83	2	10	49,03
84	3	10	49,1
85	3	15	49,1
86	3	11	48,93
87	3	6	48,62
88	2	7	48,72
89	2	14	48,6
90	2	9	48,87

Para el desarrollo del experimento se creó en el software Minitab 15 un diseño factorial de múltiples niveles reflejado en la figura Nº IV.11.

Factores:	2	Réplicas:	2
Corridas base:	45	Total de corridas:	90
Bloques base:	1	Total de bloques:	1

Número de niveles: 15. 3

Figura Nº IV.11. Diseño factorial de múltiples niveles.

IV.4.2.1 Estudio R&R del sistema de medición - método ANOVA

Se puede observar en la figura Nº IV.12 que hay diferencia entre los perfiles, debido a que el valor P es menor que el nivel de significancia establecido 5%, además no existe interacción entre muestra – operario, ya que el valor P supera el alfa para eliminar la interacción 0.25.

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Muestras	14	13,1609	0,940066	216,609	0,000
Operadores	2	0,0009	0,000474	0,109	0,897
Muestras * Operadores	28	0,1215	0,004340	0,957	0,540
Repetibilidad	45	0,2041	0,004534		
Total	89	13,4874			

Alfa para eliminar el término de interacción = 0,25

Figura Nº IV.12. Tabla ANOVA de dos factores con interacción.

Al eliminar el término interacción, se recalculan los valores de los factores muestra y operario, observándose en la figura N° IV.13 que el valor P para las muestras es menor que el nivel de significancia de 5%, es decir que existe variabilidad en las muestras; para los operadores el valor P es mayor al nivel de significancia establecido, por lo tanto no existen diferencias significativas entre las mediciones, esta última se debe a que estos poseen experiencia en el manejo del instrumento, por su largo tiempo en el departamento.

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Muestras	14	13,1609	0,940066	210,785	0,000
Operadores	2	0,0009	0,000474	0,106	0,899
Repetibilidad	73	0,3256	0,004460		
Total	89	13,4874			

Figura Nº IV.13. Tabla ANOVA dos factores sin interacción.

En la figura N° IV.14 se observa la contribución de variación de cada uno de los componentes y se ratifica que la variación total se debe principalmente a las diferencias entre las piezas, debido a que representa 97.22% de contribución; el sistema de medición tiene un aporte de 16.67%, considerándose aceptable según el criterio de Gutiérrez y de la Vara (2004), permitiendo distinguir entre varios tipos de piezas, a pesar de que no se considera lo mejor para fines de controlar el proceso, esto ocurre debido a que los instrumentos no se calibran periódicamente.

Fuente	VarComp	%Contribución (de VarComp)
R&R del sistema de medición total	0,004460	2,78
Repetibilidad	0,004460	2,78
Reproducibilidad	0,000000	0,00
Operadores	0,000000	0,00
Parte a parte	0,155934	97,22
Variación total	0,160394	100,00

Fuente	(DE)	Var. de estudio (6 * SD)
R&R del sistema de medición total	0,066782	0,40069
Repetibilidad	0,066782	0,40069
Reproducibilidad	0,000000	0,00000
Operadores	0,000000	0,00000
Parte a parte	0,394885	2,36931
Variación total	0,400493	2,40296

Fuente	%Var. de estudio (%SV)
R&R del sistema de medición total	16,67
Repetibilidad	16,67
Reproducibilidad	0,00
Operadores	0,00
Parte a parte	98,60
Variación total	100,00

Número de categorías distintas = 8

Figura Nº IV.14. Reporte de análisis Gauge R&R para el Vernier N° 10906290

La grafica Nº IV.4 permite visualizar la gráfica “R” que indica que la mayoría de los puntos se encuentran dentro de los límites de control, pero el operario 1 y 2 presentan mayor variabilidad en sus mediciones. En la gráfica de las medias se observa que la mayoría de los puntos están fuera de los límites de control, lo cual refuerza la idea que la variación se debe prioritariamente a diferencias entre muestras, además se puede interpretar

como que el sistema de medición es capaz de identificar las diferencias entre perfiles.

En el diagrama de barras (componentes de variación) se verifica que la variabilidad del sistema se debe principalmente a las diferencias entre piezas. En la gráfica Mediciones por Muestra se observa que los puntos siguen un mismo patrón y que hay pequeñas diferencias entre las muestras como en la muestras 4 y 6. La gráfica de Mediciones por Operadores muestra que hay mínimas diferencias entre los operarios. En la gráfica de interacción de Operario - Muestra se aprecia una leve divergencia de los puntos, además se visualiza la diferencia entre perfiles.

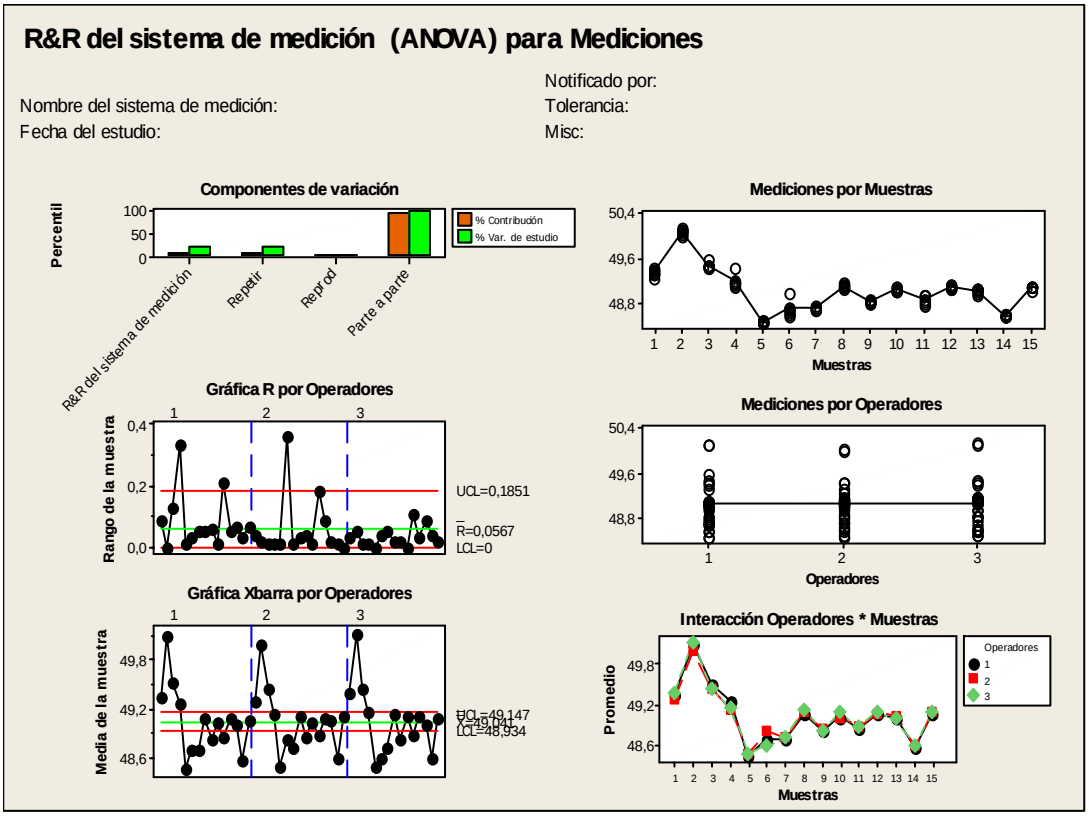


Gráfico Nº IV.4. Reporte gráfico Gauge R&R para el Vernier N° 10906290.

IV.4.3 Estudio R&R para el Colorímetro

Tabla N° IV.6. Mediciones realizadas con el Colorímetro

OrdenCorrida	Operador	Muestras	Mediciones
1	2	4	1,04
2	2	4	1,01
3	2	15	1,31
4	1	15	1,26
5	1	10	0,84
6	2	9	1,17
7	1	14	0,85
8	1	1	0,27
9	2	14	0,9
10	1	9	0,91
11	2	11	1,27
12	2	1	0,54
13	1	12	1,39
14	2	15	1,3
15	2	6	1,65
16	2	12	1,25
17	2	9	1,26
18	2	6	1,53
19	2	8	0,77
20	1	5	2,86
21	1	7	0,95
22	2	7	1,05
23	1	12	1,43
24	2	3	2,03
25	2	7	1,1
26	1	10	0,85
27	2	14	0,79
28	2	10	1,06
29	1	4	0,79
30	1	5	2,97

OrdenCorrida	Operador	Muestras	Mediciones
31	1	2	0,9
32	2	3	2,1
33	1	2	0,73
34	1	9	1,08
35	2	11	1,3
36	1	3	1,79
37	1	4	0,93
38	2	5	3,4
39	1	13	1,33
40	1	15	1,09
41	2	13	1,53
42	1	8	0,84
43	2	2	0,9
44	1	7	0,97
45	2	13	1,5
46	2	1	0,52
47	2	8	0,76
48	1	14	0,79
49	2	12	1,36
50	1	3	2,06
51	2	10	1,04
52	1	13	1,3
53	2	5	3,19
54	1	11	1,2
55	2	2	0,95
56	1	1	0,31
57	1	8	0,72
58	1	6	1,46
59	1	11	0,96
60	1	6	1,41

Para el desarrollo del experimento se creo en el software Minitab 15 un diseño factorial de múltiples niveles reflejado en la figura Nº IV.15.

```
Factores:        2     Réplicas:            2
Corridas base:  30     Total de corridas:  60
Bloques base:    1     Total de bloques:    1

Número de niveles: 2. 15
```

Figura Nº IV.15. Diseño factorial de múltiples niveles.

IV.4.3.1 Estudio R&R del sistema de medición - método ANOVA

La figura Nº IV.16 indica que hay diferencias entre los perfiles y entre las mediciones realizadas por los operarios, ya que el valor P es menor al nivel de significancia establecido 5%, además existe una interacción entre muestra – operario, ya que el valor P es inferior al alfa para eliminar la interacción 0.25, es decir la interacción entre ambos contribuye significativamente al error de medición.

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Muestra	14	22,4869	1,60620	121,240	0,000
Operador	1	0,3139	0,31393	23,696	0,000
Muestra * Operador	14	0,1855	0,01325	2,101	0,043
Repetibilidad	30	0,1892	0,00631		
Total	59	23,1755			

Alfa para eliminar el término de interacción = 0,25

Figura Nº IV.16. Tabla ANOVA de dos factores con interacción.

En la figura N° IV.17 muestra la contribución de variación de cada uno de los componentes y se ratifica que la variación total se debe principalmente a las diferencias entre las piezas, debido a que representa 95.26% de contribución, pero también existe un porcentaje de contribución de 3,23% asociado a los operadores y la interacción entre estos y las muestras; el sistema de medición tiene un aporte de 21.76%, considerándose marginalmente aceptable según el criterio de Gutiérrez y de la Vara (2004), es decir el sistema puede diferenciar escasamente entre piezas buenas y malas, esto ocurre debido a que no utilizan el instrumento como lo indica el manual del usuario y no recibe la calibración periódica recomendada.

Fuente		VarComp	%Contribución (de VarComp)
R&R del sistema de medición	total	0,019800	4,74
Repetibilidad		0,006307	1,51
Reproducibilidad		0,013493	3,23
Operador		0,010023	2,40
Operador*Muestra		0,003471	0,83
Parte a parte		0,398239	95,26
Variación total		0,418039	100,00

Fuente		Desv.Est. (DE)	Var. de estudio (6 * SD)
R&R del sistema de medición	total	0,140712	0,84427
Repetibilidad		0,079415	0,47649
Reproducibilidad		0,116161	0,69696
Operador		0,100113	0,60068
Operador*Muestra		0,058913	0,35348
Parte a parte		0,631062	3,78637
Variación total		0,646559	3,87936

Fuente		%Var. de estudio (%SV)
R&R del sistema de medición	total	21,76
Repetibilidad		12,28
Reproducibilidad		17,97
Operador		15,48
Operador*Muestra		9,11
Parte a parte		97,60
Variación total		100,00

Número de categorías distintas = 6

Figura Nº IV.17. Reporte de análisis Gauge R&R para el Colorímetro.

Se observa en la grafica Nº IV.5 que la gráfica “R”, donde la mayoría de los puntos se encuentran dentro de los límites de control, pero el operario 2 presenta menor variabilidad en sus mediciones. En la gráfica de las medias se observa que la mayoría de los puntos están fuera de los límites de control, lo cual refuerza la idea que la variación se debe principalmente a diferencias entre muestras, a pesar de existe una pequeña contribución en la repetibilidad; este análisis se puede obtener a partir del diagrama de barras (componentes de variación).

En la gráfica Mediciones por Muestra se observa que los puntos siguen un mismo patrón y que hay pequeñas diferencias entre las muestras. En la gráfica de Mediciones por Operador, hay mínimas diferencias entre los operarios, donde el operador 2 registra una media más alta que la del operador 1. En la gráfica de interacción de operario - muestra se aprecia una divergencia de los puntos especialmente en la muestra 5, además se visualiza la diferencia entre perfiles.

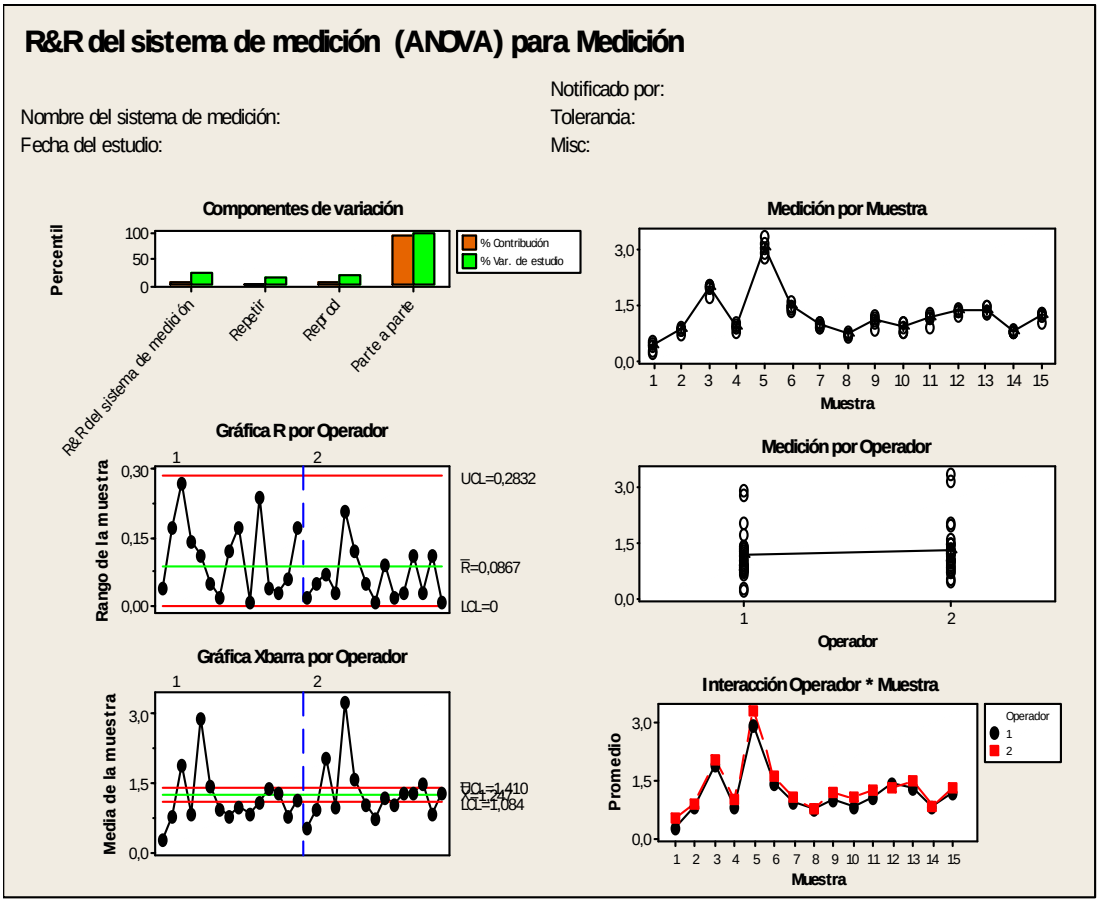


Gráfico Nº IV.5. Reporte gráfico Gauge R&R para el Colorímetro.

IV.5 Estabilidad y Capacidad del Proceso

Para evaluar la estabilidad del proceso se recolectaron veinte subgrupos de tamaño cinco con un intervalo de una hora entre ellos, durante un lapso de 3 días, con la ayudad del software Minitab 15 se construyeron los gráficos de control obteniendo los siguientes resultados:

Perfil Bloque I en la línea de producción 201, para la característica Ancho de Canal de Acople.

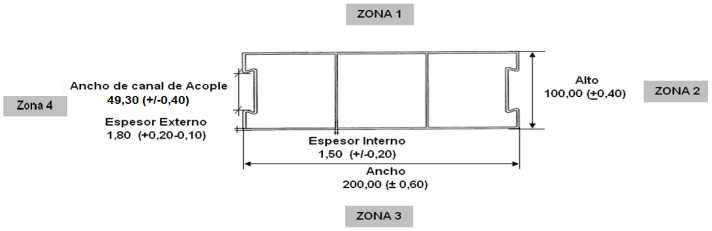
Tabla Nº IV.7. Datos del ancho de canal de acople para las zonas 2 y 4 del perfil Bloque I en la línea 201.

	1	2	3	4	5	$\bar{X}$
1	49,15	49,12	49,19	49,06	49,03	49,11
2	49,19	49,06	48,93	49,07	49,14	49,078
3	49	48,92	48,97	48,9	48,96	48,95
4	49	48,9	48,97	48,95	48,97	48,958
5	48,98	49,06	48,93	48,93	48,97	48,974
6	49,07	49,14	49,11	49,23	49,11	49,132
7	49,15	49,07	49,23	49,26	49,22	49,186
8	49,24	49,21	49,11	49,26	49,23	49,21
9	49,31	49,27	49,26	49,2	49,24	49,256
10	49,06	49,2	49,12	49,22	49,2	49,16
11	49,2	49,3	49,37	49,39	49,38	49,328
12	49,3	49,32	49,27	49,27	49,36	49,304
13	49,17	49,23	49,2	49,19	49,16	49,19
14	49,17	49,3	49,2	49,23	49,22	49,224
15	49,25	49,28	49,17	49,2	49,23	49,226
16	49,2	49,14	49,16	49,1	49,2	49,16
17	49,22	49,25	49,27	49,18	49,21	49,226
18	49,24	49,23	49,3	49,26	49,27	49,26
19	49,53	49,43	49,59	49,57	49,64	49,552
20	49,44	49,37	49,4	49,36	49,36	49,386
$\bar{\bar{X}}$						49,194
Zona 2						

	1	2	3	4	5	$\bar{X}$
1	49,36	49,15	49,35	49,35	49,28	49,298
2	49,15	49,13	49,16	49,06	49,15	49,13
3	49,13	49,1	49,08	49,06	49,07	49,088
4	49,1	48,94	49,03	49,08	49,07	49,044
5	49,13	49,1	49,02	49	49,05	49,06
6	49,15	49,1	49,24	49,27	49,17	49,186
7	48,97	49,09	49,06	49,2	49,25	49,114
8	49,15	49,18	49,19	49,18	49,22	49,184
9	49,24	49,23	49,27	49,3	49,25	49,258
10	49,19	49,17	49,21	49,23	49,24	49,208
11	49,27	49,24	49,33	49,24	49,19	49,254
12	49,55	49,56	49,56	49,6	49,53	49,56
13	49,4	49,47	49,45	49,48	49,48	49,456
14	49,45	49,4	49,32	49,41	49,42	49,4
15	49,44	49,43	49,4	49,43	49,44	49,428
16	49,36	49,38	49,28	49,27	49,39	49,336
17	49,5	49,5	49,56	49,42	49,53	49,502
18	49,32	49,25	49,27	49,29	49,26	49,278
19	49,7	49,67	49,73	49,65	49,67	49,684
20	49,4	49,34	49,43	49,42	49,35	49,388
$\bar{\bar{X}}$						49,293
Zona 4						

Prueba de normalidad

Para la comprobación del supuesto de que los datos siguen una distribución Normal se realizó la Prueba de normalidad usando Asimetría y Curtosis (Prueba de Duncan) con un nivel de significancia del 5% ver tablas en el anexo 1 y 2.



Prueba de normalidad para la zona 2 de la característica ancho de canal de acople en la línea 201

H_0: los datos se ajustan a una Distribución Normal.
H_1: los datos no se ajustan a una Distribución Normal.

Coeficiente de asimetría:

$$a_3 = \frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{\bar{x}})^3}{(n-1)(n-2)s_x^3}$$

$$a_3 = 0{,}2635337$$

Valor crítico con un nivel de significancia del 5% y n = 100, $v.c.$ = 0,389

Regla de decisión

Se rechaza H_0 si $a_3 > v.c.$

Como el valor crítico es mayor que la asimetría no existen evidencias para rechazar la hipótesis nula y se procede a evaluar las hipótesis con la prueba de la curtosis.

Curtosis:

$$a_4 = \frac{n(n+1)\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{\bar{x}})^4}{(n-1)(n-2)(n-3)s_x^4} - \frac{3(n-1)}{(n-2)(n-3)}$$

$$a_4 = 0{,}55987406$$

Valor crítico con un nivel de significancia del 5% y n = 100; $v.c.$ = 0,77

Regla de decisión

Se rechaza H_0 si $a_4 > v.c.$

Como el valor crítico es mayor que la curtosis no existen evidencias para rechazar la hipótesis nula, por lo tanto no hay evidencia que indique los datos no se ajustan a una Distribución Normal.

Prueba de normalidad para la zona 4 de la característica ancho de canal de acople en la línea 201

H_0: los datos se ajustan a una Distribución Normal.
H_1: los datos no se ajustan a una Distribución Normal.
Coeficiente de asimetría:

$$a_3 = \frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{\bar{x}})^3}{(n-1)(n-2)s_x^3}$$

$$a_3 = 0{,}35273791$$

Valor crítico con un nivel de significancia del 5% y n = 100, $v.c. = 0{,}389$

Regla de decisión

Se rechaza H_0 si $a_3 > v.c.$

Como el valor crítico es mayor que la asimetría no existen evidencias para rechazar la hipótesis nula, se procede a evaluar las hipótesis con la prueba de la curtosis.

Curtosis:

$$a_4 = \frac{n(n+1)\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{\bar{x}})^4}{(n-1)(n-2)(n-3)s_x^4} - \frac{3(n-1)}{(n-2)(n-3)}$$

$$a_4 = -0{,}46655543$$

Valor crítico con un nivel de significancia del 5% y n = 100; $v.c. = -0{,}65$

Regla de decisión

Se rechaza H_0 si $a_4 < v.c.$

Como el valor crítico es menor que la curtosis no existen evidencias para rechazar la hipótesis nula, por lo tanto no existe evidencia que indique que los datos no se ajustan a una Distribución Normal.

Prueba de hipótesis de la comparación entre las zonas 2 y 4 en la línea 201

Para determinar si las diferencias entre zonas es significativa se realizó la siguiente prueba de hipótesis, con un nivel de significancia del 5% haciendo uso la distribución t – student ya que se desconoce la desviación de la población y los datos de ambas zonas se ajustan a una distribución normal ver tabla en el anexo 3:

H_0: $\mu_{z2} - \mu_{z4} = 0$

H_1: $\mu_{z2} - \mu_{z4} \neq 0$

Regla de Decisión

Rechazar H_0 si $|t_0| > t_{(1-\alpha/2;\, n-1)}$

Resultados

$$S_p^2 = \frac{(n-1)S_{z2}^2 + (m-1)S_{z4}^2}{n+m-2}$$

$S_p = 0{,}16$

$$t_0 = \frac{\bar{x}_{z2} - \bar{x}_{z4}}{S_p * \sqrt{(\frac{1}{n} + \frac{1}{m})}}$$

$|t_0|$ = 0,0852

$t_{(0.975,198)}$ = 1,972

Como $t_0 < t_{(0.975,198)}$ no existen evidencias para rechazar la hipótesis nula; es decir, las diferencias entre las zonas no es significativa, por tal razón se puede asumir que tienen el mismo comportamiento.

Perfil Bloque I en la línea de producción 207, para la característica Ancho de Canal de Acople.

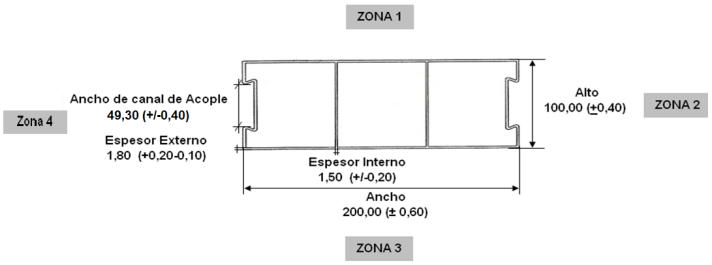
Tabla Nº IV.8. Datos del ancho de canal de acople para las zonas 2 y 4 del perfil Bloque I en la línea 207.

	1	2	3	4	5	$\bar{X}$
1	48,76	49,28	48,9	48,8	48,79	48,906
2	48,9	49,03	48,9	48,96	49,08	48,974
3	49,65	49,7	49,3	49,6	49,53	49,556
4	49,18	49,04	49,15	49,08	49,2	49,13
5	49,2	49,2	49,33	49,19	49,35	49,254
6	49,3	49,35	49,2	49,15	49,51	49,302
7	49,12	49,14	49,15	49,23	49,22	49,172
8	49,14	49,16	49,1	49	49,05	49,09
9	48,9	48,95	48,85	48,9	49,05	48,93
10	49	48,95	48,9	48,75	48,95	48,91
11	49	48,95	49,03	48,96	49	48,988
12	49,2	49,05	49,05	49,1	49	49,08
13	49,17	49,05	49,07	49,1	49,12	49,102
14	49,1	49,15	49	49,08	49,08	49,082
15	49,13	49,08	49,07	49,1	49,07	49,09
16	49,2	49,19	49,1	49,15	49,13	49,154
17	49	49,03	48,95	49	49,03	49,002
18	48,9	48,66	48,83	48,95	48,92	48,852
19	49,27	49,18	49,1	49,02	49	49,114
20	49,07	49,08	49,07	49,09	49,1	49,082
$\bar{\bar{X}}$						49,089
Zona 2						

	1	2	3	4	5	$\bar{X}$
1	49,06	48,9	48,7	48,75	49,1	48,902
2	49,12	49,1	48,7	48,97	49,03	48,984
3	49,05	49,4	49,6	49,3	49,3	49,33
4	49,03	49,08	49,03	49,21	49,18	49,106
5	49,13	49,3	49,15	49,1	49,05	49,146
6	49,07	49,25	48,87	48,95	49,1	49,048
7	49,03	48,9	48,93	49,1	48,92	48,976
8	48,8	48,94	48,85	48,9	48,73	48,844
9	48,8	48,92	48,8	48,83	48,85	48,84
10	48,9	48,86	48,9	48,96	48,97	48,918
11	48,8	48,75	48,7	48,67	48,87	48,758
12	48,73	48,96	48,93	48,95	48,96	48,906
13	49,13	49,13	49,03	49,15	49,1	49,108
14	48,93	49,05	48,98	48,95	48,96	48,974
15	49,1	49,12	49,05	49	49,03	49,06
16	49,05	48,95	49,02	49,03	49,1	49,03
17	49,18	49,05	49,15	49,14	49,17	49,138
18	49,4	49,32	49,32	49,35	49,33	49,344
19	49,4	49,37	49,32	49,28	49,28	49,33
20	49,23	49,23	49,29	49,18	49,26	49,238
$\bar{\bar{X}}$						49,049
Zona 4						

Prueba de normalidad

Para la comprobación del supuesto de que los datos siguen una distribución Normal se realizó la Prueba de normalidad usando Asimetría y Curtosis (Prueba de Duncan) con un nivel de significancia del 5% ver tabla en el anexo 1 y 2.



Prueba de normalidad para la zona 2 de la característica ancho de canal de acople en la línea 207

H_0: los datos se ajustan a una Distribución Normal.

H_1: los datos no se ajustan a una Distribución Normal.

Coeficiente de asimetría:

$$a_3 = \frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{\bar{x}})^3}{(n-1)(n-2)s_x^3}$$

$$a_3 = 0{,}90854514$$

Valor crítico con un nivel de significancia del 5% y n = 100, $v.c.$ = 0,389

Regla de decisión

Se rechaza H_0 si $a_3 > v.c.$

Como el valor crítico es menor que la asimetría se rechaza la hipótesis nula, es decir los datos no se ajustan a una Distribución Normal.

Prueba de normalidad para la zona 4 de la característica ancho de canal de acople en la línea 207

H_0: los datos se ajustan a una Distribución Normal.
H_1: los datos no se ajustan a una Distribución Normal.

Coeficiente de asimetría:

$$a_3 = \frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{\bar{x}})^3}{(n-1)(n-2)s_x^3}$$

$$a_3 = 0{,}20465977$$

Valor crítico con un nivel de significancia del 5% y n = 100, $v.c.$ = 0,389

Regla de decisión

Se rechaza H_0 si $a_3 > v.c.$

Como el valor crítico es mayor que la asimetría no existen evidencias para rechazar la hipótesis nula, por lo tanto se procede a evaluar las hipótesis con la prueba de la curtosis.

Curtosis:

$$a_4 = \frac{n(n+1)\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{\bar{x}})^4}{(n-1)(n-2)(n-3)s_x^4} - \frac{3(n-1)}{(n-2)(n-3)}$$

$$a_4 = -0{,}20638379$$

Valor crítico con un nivel de significancia del 5% y n=100; $v.c.$ = −0,65

Regla de decisión

Se rechaza H_0 si $a_4 < v.c.$

Como el valor crítico es menor que la curtosis no existen evidencias para rechazar la hipótesis nula, por lo tanto los datos se ajustan a una Distribución Normal.

Prueba de hipótesis de la comparación entre las zonas 2 y 4 en la línea 201

Para determinar si las diferencias entre zonas es significativa, se realizó a través del software Minitab 16 la prueba U de Mann Whitney con un nivel de significancia del 5%, debido a que los datos de la zona 2 no se ajustan a una Distribución Normal.

H_0: $\mu_{z2} - \mu_{z4} = 0$

H_1: $\mu_{z2} - \mu_{z4} \neq 0$

Regla de decisión

Se rechaza H_0 si $P\ valor < 0{,}05$

Como el valor P ajustado por empate en los datos es 0,1641 observado en la figura N° IV.18 es mayor al nivel de significancia, por lo tanto no existen evidencias para rechazar la hipótesis nula; es decir, las diferencias entre las zonas no es significativa y se puede asumir que tienen el mismo comportamiento.

Mann-Whitney Test and CI: zona 2. zona 4

```
          N  Median
zona 2  100  49,080
zona 4  100  49,050

Point estimate for ETA1-ETA2 is 0,040
95,0 Percent CI for ETA1-ETA2 is (-0,020.0,080)
W = 10619,5
Test of ETA1 = ETA2 vs ETA1 not = ETA2 is significant at 0,1644
The test is significant at 0,1641 (adjusted for ties)
```

Figura Nº IV.18. Reporte de la prueba U de Mann Whitney línea 207.

Prueba de hipótesis de la comparación entre las máquinas 201 y 207

En vista de que las diferencias entre las zonas del perfil Bloque I en sus respectivas líneas no son significativas, se procedió a evaluar si existen diferencias entre las máquinas 201 y 207 a través de la prueba U de Mann Whitney, haciendo uso del software Minitab 16.

H_0: $\mu_{201} - \mu_{207} = 0$

H_1: $\mu_{201} - \mu_{207} \neq 0$

Regla de Decisión

Rechazar H_0 si $P\ valor < 0{,}05$

En la Figura N° IV.19 se puede apreciar que el valor P ajustado por empates es menor al nivel de significancia establecido, por tal razón existe evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula, es decir, la diferencia entre las líneas es significativa.

Mann-Whitney Test and CI: Línea 207. Línea 201

```
            N  Median
Línea 207  200  49,070
Línea 201  200  49,230

Point estimate for ETA1-ETA2 is -0,170
95,0 Percent CI for ETA1-ETA2 is (-0,200.-0,140)
W = 29356,5
Test of ETA1 = ETA2 vs ETA1 not = ETA2 is significant at 0,0000
The test is significant at 0,0000 (adjusted for ties)
```

Figura Nº IV.19. Reporte de la prueba U de Mann Whitney línea 201 y 207.

Al evidenciar que las diferencias entre las zonas no son significativas y las líneas deben ser controladas de manera independiente; se procede a realizar los gráficos de control para cada línea agrupando los datos de las zonas 2 y 4 en 20 subgrupos de tamaño 10, debido a que estas son tomadas bajo las mismas condiciones, en el mismo instante de tiempo.

IV.5.1 Gráficos de Control para la línea 201 característica Ancho de Canal de Acople

Como se observa en el gráfico S Nº IV.6 todos los puntos se encuentran bajo control en cuanto a la variación de los datos, se procede a construir el gráfico $\bar{x}$.

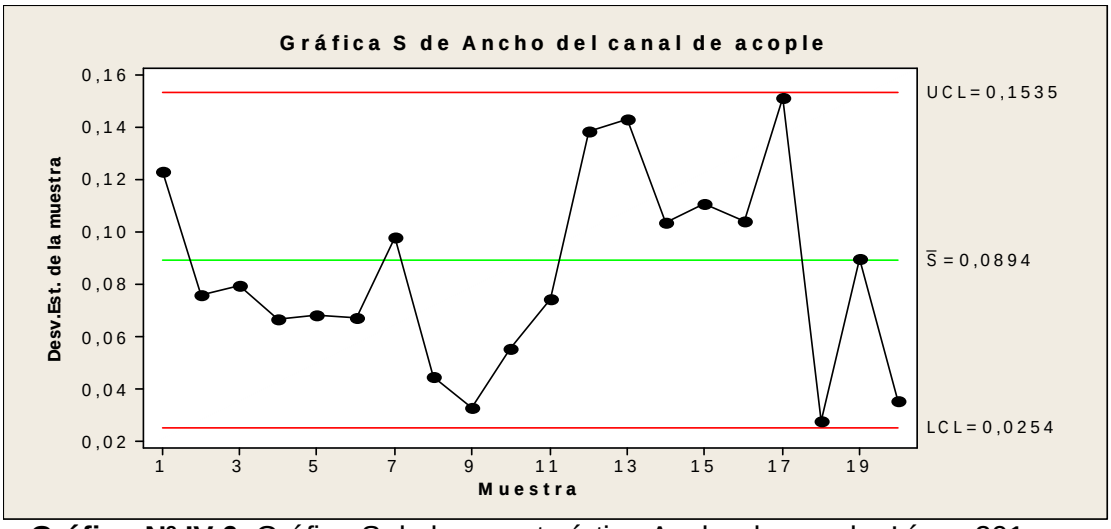


Gráfico Nº IV.6. Gráfica S de la característica Ancho de acople. Línea 201.

El gráfico ☐ Nº IV.7 muestra que los puntos 19 y 20 fallan con respecto a la prueba Nº 2; que corresponde a nueve puntos consecutivos en el mismo lado de la línea central. Esto señala que el proceso no es estable con respecto a la media, se eliminan los puntos debido a un ajuste realizado por el operador en la presión de vacío, debido a una ruptura de una de las mangueras que suministra el agua a las bañeras del sistema de enfriamiento.

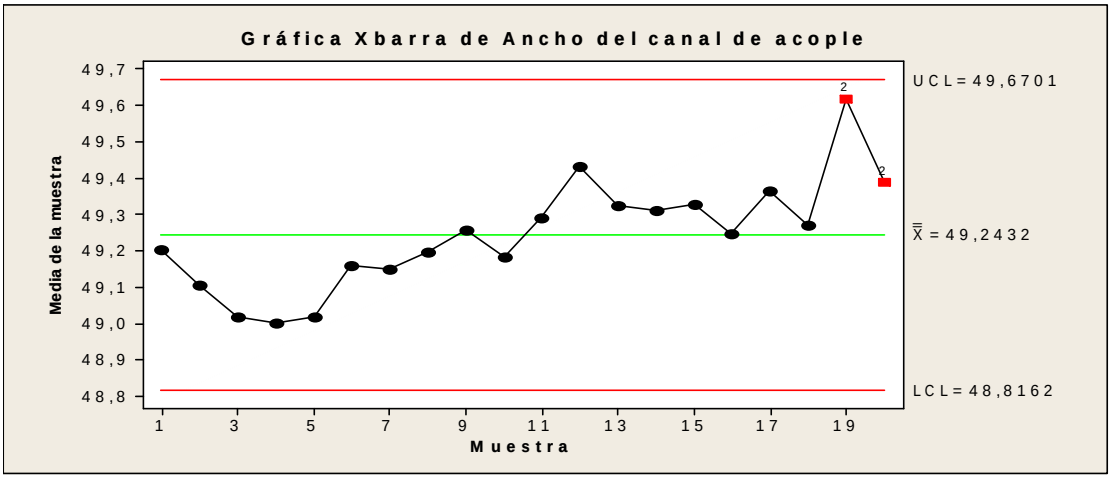


Gráfico Nº IV.7. Gráfica $\bar{x}$ de la característica Ancho de acople. Línea 201.

Al eliminar los puntos, se observa que, tanto el gráfico S Nº IV.8 como el gráfico ☐ Nº IV.9, todos sus puntos se encuentran dentro de los limites de control, indicando que el proceso se encuentra bajo control estadístico, además, no existe evidencia de un comportamiento no aleatorio y los puntos fluctúan de manera regular alrededor de la línea central.

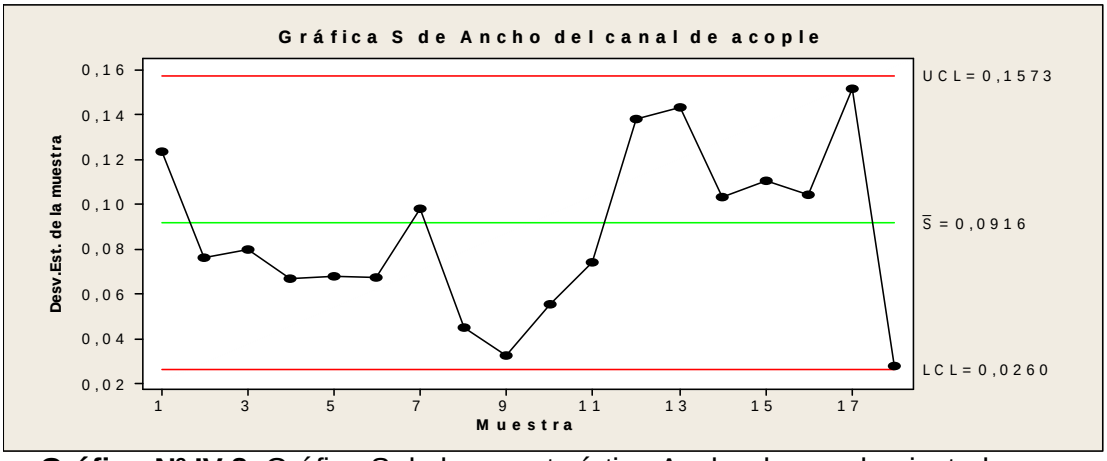


Gráfico Nº IV.8. Gráfica S de la característica Ancho de acople ajustada. Línea 201.

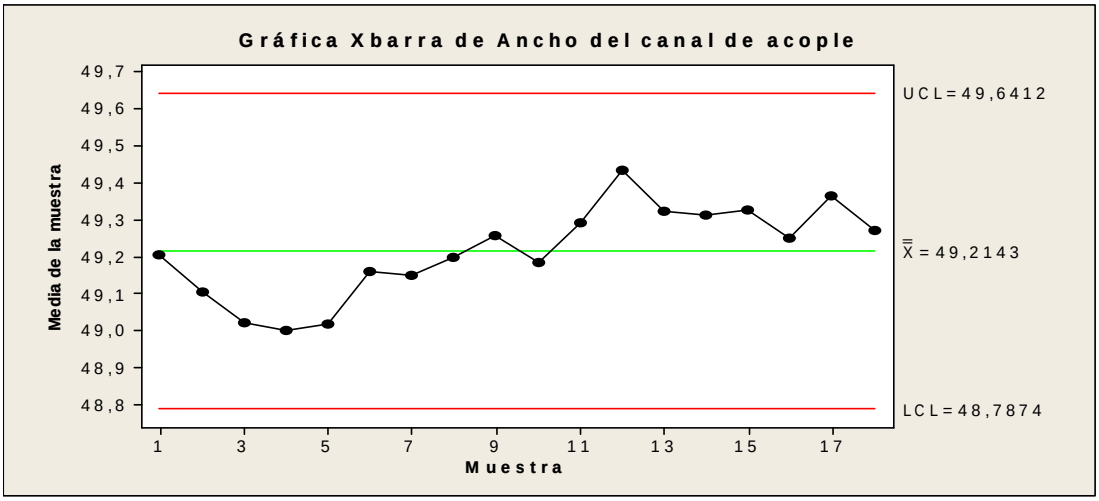


Gráfico Nº IV.9. Gráfica $\bar{x}$ de la característica Ancho de acople ajustada. Línea 201.

Índice de estabilidad

Según Gutiérrez y de la Vara (2004) el índice de inestabilidad se define como:

$$S_t = \frac{\text{número de puntos especiales}}{\text{número total de puntos}} * 100$$

$$S_t = \frac{2}{20} * 100\% = 10\%$$

El valor de S_t para la tendencia central es alto, por lo tanto se considera inestable, al contrario de la dispersión que es estable, según el criterio de Gutiérrez y de la Vara (2004) mencionado en el capítulo II.

IV.5.2 Análisis de capacidad para la línea 201 característica Ancho de Canal de Acople

Para realizar el estudio de capacidad es necesario comprobar la normalidad de los datos sin la clasificación de las zonas, por lo tanto se realizó la Prueba de normalidad usando Asimetría y Curtosis (Prueba de Duncan) con un nivel de significancia del 5% ver tabla en el anexo 1 y 2.

Prueba de normalidad para los datos agrupados en la línea 201

H_0: los datos se ajustan a una Distribución Normal.
H_1: los datos no se ajustan a una Distribución Normal.

Coeficiente de asimetría:

$$a_3 = \frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{\bar{x}})^3}{(n-1)(n-2)s_x^3}$$

$$a_3 = 0{,}41576671$$

Valor crítico con un nivel de significancia del 5% y n = 200, $v.c.$ = 0,280

Regla de decisión

Se rechaza H_0si $a_3 > v.c.$

Como el valor crítico es menor que la asimetría se rechaza la hipótesis nula, por lo tanto los datos no se ajustan a una distribución Normal.

En consecuencia al resultado anterior se procedió a estimar los índices de capacidad a través de las Curvas de Pearson; donde se utilizan la asimetría y curtosis calculadas previamente en la prueba de normalidad.

Coeficiente de asimetría:

$$a_3 = \frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{\bar{x}})^3}{(n-1)(n-2)s_x^3}$$

$$a_3 = 0{,}41576671$$

Curtosis:

$$a_4 = \frac{n(n+1)\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{\bar{x}})^4}{(n-1)(n-2)(n-3)s_x^4} - \frac{3(n-1)}{(n-2)(n-3)}$$

$$a_4 = 0,06066084$$

Media

$$\hat{\mu} = 49,24315$$

Desviación Estándar

$$\hat{\sigma} = 0,16648024$$

Percentil Estandarizado 0,135 P_I'; Interpolando entre los valores ubicados en la tabla 1a. ver anexo 4.

$$P_I' = 2,25736657$$

Percentil Estandarizado 99,865 P_s'; Interpolando entre los valores ubicados en la tabla 1b. ver anexo 5.

$$P_s' = 3,362572346$$

Mediana Estandarizada M' ver anexo 6.

$$M' = -0,0767840104$$

Percentil 0,135 Estimado P_I

$$P_I = \bar{X} - S * P_I'$$

$$P_I = 48,8673431$$

Percentil 99,865 Estimado P_s

$$P_S = \bar{X} + S * P_s'$$

$$P_S = 49,8029519$$

Mediana Estimada M

$$M = \bar{X} + S * M'$$

$$M = 49,230367$$

Estimación de los índices

$$C_P = \frac{ES - EI}{P_S - P_I}$$

$$C_P = 0{,}86$$

$$C_{pI} = \frac{M - EI}{M - P_I}$$

$$C_{pI} = 0{,}91$$

$$C_{pS} = \frac{ES - M}{P_S - M}$$

$$C_{pS} = 0{,}82$$

$$C_{pK} = mínimo(C_{pI}\,; C_{pS})$$

$$C_{pK} = 0{,}82$$

Para la característica de calidad Ancho del canal de Acople el valor de C_p es 0,86; el cual indica que el proceso no es potencialmente. El valor de C_{pk} es de 0,82 señalando que el proceso no es realmente capaz de producir dentro de las especificaciones señaladas.

IV.5.3 Gráficos de Control para la línea 207 característica Ancho de Canal de Acople

El gráfico S Nº IV.10 se observa que el punto 18 falla con respecto a la prueba Nº1; que corresponde a un punto más que las 3,00 desviaciones estándares desde la línea central, indicando que el proceso está fuera de control.

Analizando la causa que pudo ocasionar esta situación, se encontró una obstrucción de material en el calibrador, por lo tanto se elimina ese punto y se elabora un nuevo gráfico de control S.

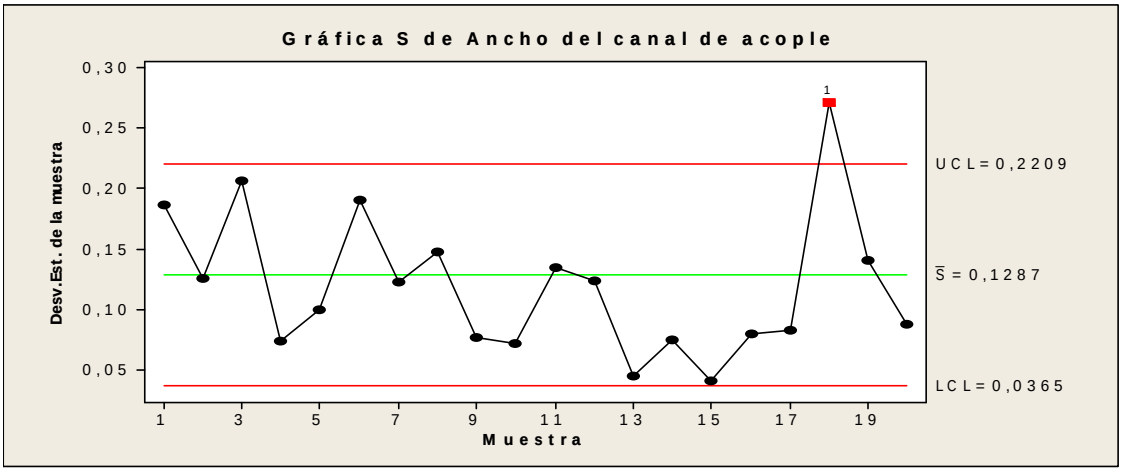


Gráfico Nº IV.10. Gráfica S de la Característica Ancho de Acople. Línea 207.

Una vez eliminado el punto se puede observar en el gráfico S Nº IV.11 que todos los puntos se encuentran bajo control, se procede a construir el grafico $\bar{x}$.

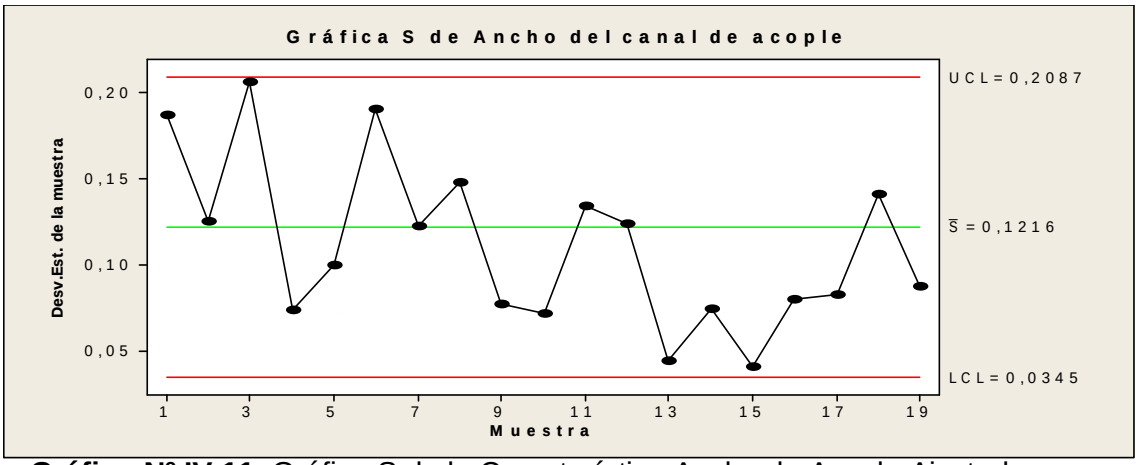


Gráfico Nº IV.11. Gráfica S de la Característica Ancho de Acople Ajustada. Línea 207.

Se puede observar que en el gráfico ☐ Nº IV.12 todos los puntos se encuentran dentro de los límites de control, no existe evidencia de un comportamiento no aleatorio y los puntos fluctúan de manera regular alrededor de la línea central, esto señala que el proceso se encuentra bajo control estadístico.

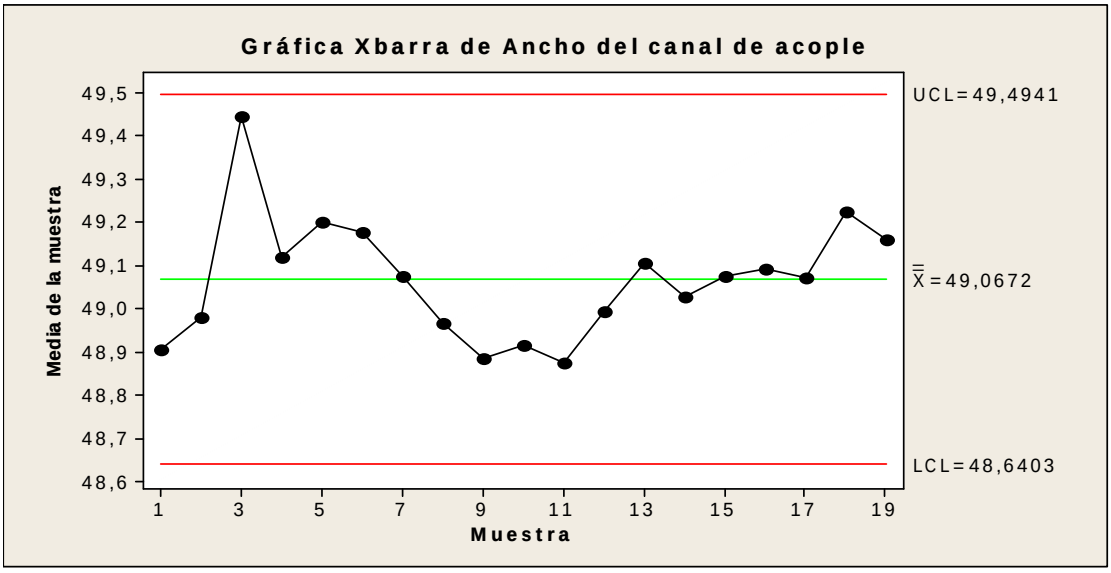


Gráfico Nº IV.12. Gráfica $\bar{x}$ de la Característica Ancho de Acople. Línea 207.

Índice de estabilidad

Según Gutiérrez y de la Vara (2004) el índice de inestabilidad se define como:

$$S_t = \frac{número\ de\ puntos\ \ especiales}{número\ total\ de\ puntos} * 100$$

$$S_t = \frac{1}{20} * 100\% = 5\%$$

El valor de S_t para la dispersión se considera moderadamente inestable, al contrario de la tendencia central que posee una buena estabilidad según el criterio de Gutiérrez y de la Vara (2004) mencionado en capítulo II.

IV.5.4 Análisis de capacidad para la línea 207 característica Ancho de Canal de Acople

Para realizar el estudio de capacidad es necesario comprobar la normalidad de los datos, por tal razón se realizó la Prueba de normalidad

usando Asimetría y Curtosis (Prueba de Duncan) con un nivel de significancia del 5% ver tabla en el anexo 1 y 2.

Prueba de normalidad para los datos agrupados en la línea 207

H_0: los datos se ajustan a una Distribución Normal.
H_1: los datos no se ajustan a una Distribución Normal.

Coeficiente de asimetría:

$$a_3 = \frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{\bar{x}})^3}{(n-1)(n-2)s_x^3}$$

$$a_3 = 0{,}49098441$$

Valor crítico con un nivel de significancia del 5% y n=200, $v.c.$ = 0,280
Regla de decisión

Se rechaza H_0 si $a_3 > v.c.$

Como el valor crítico es menor que la asimetría se rechaza la hipótesis nula, por lo tanto los datos no se ajustan a una Distribución Normal.

Como los datos recolectados no se ajustan a una Distribución Normal se procedió a estimar los índices de capacidad a través de las Curvas de Pearson donde se utilizan la asimetría y curtosis calculadas previamente en la prueba de normalidad.

Coeficiente de asimetría:

$$a_3 = \frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{\bar{x}})^3}{(n-1)(n-2)s_x^3}$$

$$a_3 = 0{,}49098441$$

Curtosis:

$$a_4 = \frac{n(n+1)\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{\bar{x}})^4}{(n-1)(n-2)(n-3)s_x^4} - \frac{3(n-1)}{(n-2)(n-3)}$$

$$a_4 = 0{,}96545102$$

Media

$$\hat{\mu} = 49{,}06875$$

Desviación Estándar

$$\hat{\sigma} = 0{,}16392787$$

Percentil Estandarizado 0,135 P_I' Interpolando entre los valores ubicados en la tabla 1a. ver anexo 4.

$$P_I' = 2{,}708861786$$

Percentil Estandarizado 99,865 P_s' Interpolando entre los valores ubicados en la tabla 1b. ver anexo 5.

$$P_s' = 3{,}976143939$$

Mediana Estandarizada M' ver anexo 6.

$$M' = -0{,}0767840104$$

Percentil 0,135 Estimado P_I

$$P_I = \bar{X} - S * P_I'$$

$$P_I = 48{,}6246921$$

Percentil 99,865 Estimado P_s

$$P_S = \bar{X} + S * P_s'$$

$$P_S = 49{,}7205508$$

Mediana Estimada M

$$M = \bar{X} + S * M'$$

$$M = 49{,}056163$$

Estimación de los índices

$$C_P = \frac{ES - EI}{P_S - P_I}$$

$$C_P = 0{,}73$$

$$C_{pI} = \frac{M - EI}{M - P_I}$$

$$C_{pI} = 0{,}36$$

$$C_{pS} = \frac{ES - M}{P_S - M}$$

$$C_{pS} = 0{,}97$$

$$C_{pK} = mínimo(C_{pI}\,; C_{pS})$$

$$C_{pK} = 0{,}36$$

Para la característica de calidad Ancho del canal de Acople el valor de C_p es de 0,73, el cual señala que el proceso no es potencialmente capaz. El valor de C_{pk} es de 0,36 señalando que el proceso no es realmente capaz de producir dentro las especificaciones señaladas y existe un desplazamiento en el centrado hacia la especificación inferior.

Perfil Machihembrado en la línea de producción 205, para la característica Amarillez.

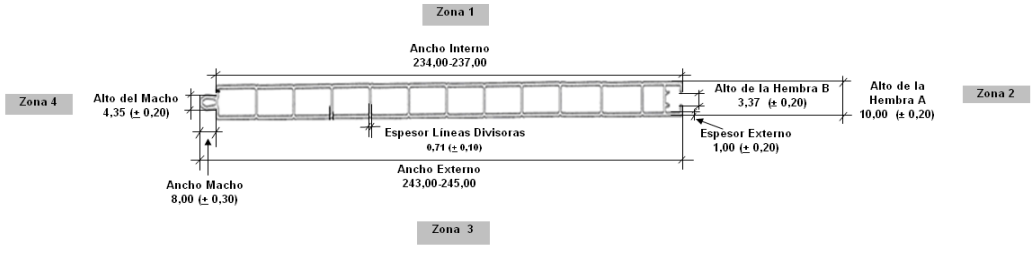
Tabla Nº IV.9. Datos de Amarillez para las zonas 1 y 3 del perfil Machihembrado en la línea 205.

	1	2	3	4	5	$\bar{X}$
1	0,62	0,66	0,59	0,53	0,29	0,538
2	0,32	0,4	0,4	0,42	0,34	0,376
3	0,27	0,25	0,28	0,31	0,27	0,276
4	-0,09	-0,03	-0,07	-0,12	-0,2	-0,102
5	-0,64	-0,63	-0,6	-0,61	-0,6	-0,616
6	-0,63	-0,68	-0,66	-0,71	-0,57	-0,65
7	0,07	0,13	0,05	0,07	0,09	0,082
8	0,05	0,02	-0,03	0,03	-0,05	0,004
9	1,33	1,2	1,2	1,27	1,26	1,252
10	1,22	1,13	1,01	1,21	1,17	1,148
11	-0,46	-0,64	-0,77	-0,66	-0,49	-0,604
12	-0,62	-0,47	-0,57	-0,6	-0,65	-0,582
13	-0,46	-0,44	-0,42	-0,47	-0,31	-0,42
14	-0,27	-0,33	-0,26	-0,28	-0,29	-0,286
15	-0,14	-0,24	-0,12	-0,04	-0,07	-0,122
16	0,27	0,39	0,36	0,33	0,34	0,338
17	0,32	0,29	0,35	0,33	0,31	0,32
18	0,3	0,49	0,48	0,3	0,42	0,398
19	0,65	0,57	0,62	0,58	0,6	0,604
20	0,32	0,27	0,21	0,36	0,51	0,334
$\bar{\bar{X}}$						0,114
Zona 1						

	1	2	3	4	5	$\bar{X}$
1	0,41	0,27	0,4	0,57	0,15	0,36
2	0,4	0,28	0,2	0,07	0,09	0,208
3	0,09	0,04	0,16	0,17	0,13	0,118
4	-0,05	-0,12	-0,03	-0,22	-0,25	-0,134
5	-0,64	-0,68	-0,61	-0,59	-0,72	-0,648
6	-0,86	-0,79	-0,77	-0,83	-0,76	-0,802
7	0,1	0,1	0,03	0,03	0,09	0,07
8	0	0,03	0,06	-0,013	-0,05	0,005
9	0,89	0,95	1,12	0,96	1,18	1,02
10	0,93	0,87	0,85	0,96	0,95	0,912
11	-0,73	-0,72	-0,79	-0,7	-0,55	-0,698
12	-0,93	-0,72	-0,91	-0,85	-0,71	-0,824
13	-0,77	-0,69	-0,6	-0,75	-0,72	-0,706
14	-0,52	-0,47	-0,58	-0,58	-0,51	-0,532
15	-0,12	-0,03	-0,26	-0,26	-0,11	-0,156
16	0,25	0,17	0,23	0,17	0,15	0,194
17	0,15	0,13	0,17	0,19	0,25	0,178
18	0,21	0,25	0,19	0,25	0,27	0,234
19	0,24	0,31	0,36	0,29	0,21	0,282
20	0,27	0,06	0,34	0,33	0,33	0,266
$\bar{\bar{X}}$						-0,032
Zona 3						

Prueba de normalidad

Para la comprobación del supuesto de que los datos siguen una distribución Normal se realizó la Prueba de normalidad usando Asimetría y Curtosis (Prueba de Duncan) con un nivel de significancia del 5% ver tabla en el anexo 1 y 2.



Prueba de normalidad para la zona 1 de la característica Amarillez en la línea 205

H_0: los datos se ajustan a una Distribución Normal.

H_1: los datos no se ajustan a una Distribución Normal.

Coeficiente de asimetría:

$$a_3 = \frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{\bar{x}})^3}{(n-1)(n-2)s_x^3}$$

$$a_3 = 0{,}34159814$$

Valor crítico con un nivel de significancia del 5% y n = 100, $v.c.$ = 0,389

Regla de decisión

Se rechaza H_0 si $a_3 > v.c.$

Como el valor crítico es menor que la asimetría no existen evidencias para rechazar la hipótesis nula, por lo tanto se procede a evaluar las hipótesis con la prueba de la curtosis.

Curtosis:

$$a_4 = \frac{n(n+1)\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{\bar{x}})^4}{(n-1)(n-2)(n-3)s_x^4} - \frac{3(n-1)}{(n-2)(n-3)}$$

$$a_4 = -0{,}45003361$$

Valor crítico con un nivel de significancia del 5% y n = 100; $v.c.$ = −0,65

Regla de decisión

Se rechaza H_0 si $a_4 < v.c.$

Como el valor crítico es menor que la curtosis no existen evidencias para rechazar la hipótesis nula, por lo tanto no existe evidencia que indique que los datos no se ajustan a una Distribución Normal.

Prueba de normalidad para la zona 3 de la característica Amarillez en la línea 205

H_0: los datos se ajustan a una Distribución Normal.
H_1: los datos no se ajustan a una Distribución Normal.

Coeficiente de asimetría:

$$a_3 = \frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{\bar{x}})^3}{(n-1)(n-2)s_x^3}$$

$$a_3 = 0{,}11118782$$

Valor crítico con un nivel de significancia del 5% y n = 100, $v.c.$ = 0,389

Regla de decisión

Se rechaza H_0 si $a_3 > v.c.$

Como el valor crítico es mayor que la asimetría no existen evidencias para rechazar la hipótesis nula, por lo tanto se procede a evaluar las hipótesis con la prueba de la curtosis.

Curtosis:

$$a_4 = \frac{n(n+1)\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{\bar{x}})^4}{(n-1)(n-2)(n-3)s_x^4} - \frac{3(n-1)}{(n-2)(n-3)}$$

$$a_4 = -0{,}55378175$$

Valor crítico con un nivel de significancia del 5% y n = 100; $v.c.$ = −0,65

Regla de decisión

Se rechaza H_0 si $a_4 < v.c.$

Como el valor crítico es menor que la curtosis no existen evidencias para rechazar la hipótesis nula, por lo tanto no existe evidencia de que los datos no se ajustan a una Distribución Normal.

Prueba de hipótesis de la comparación entre las zonas 1 y 3 en la línea 205

Para determinar si las diferencias entre zonas es significativa se realizó la siguiente prueba de hipótesis, con un nivel de significancia del 5% haciendo uso la distribución t – student ya que se desconoce la desviación de la población y los datos se ajustan a una Distribución Normal ver tabla en el anexo 3:

H_0: $\mu_{z1} - \mu_{z3} = 0$

H_1: $\mu_{z1} - \mu_{z3} \neq 0$

Regla de Decisión

Rechazar H_0 si $|t_0| > t_{(1-\alpha/2;\, n-1)}$

Resultados

$$S_p^2 = \frac{(n-1)S_{z1}^2 + (m-1)S_{z3}^2}{n+m-2}$$

S_p = 0,535144

$$t_0 = \frac{\bar{x}_{z1} - \bar{x}_{z3}}{S_p * \sqrt{(\frac{1}{n} + \frac{1}{m})}}$$

$|t_0|$ = 1,94276514

$t_{(0.975,198)}$ = 1,97201743

Como $t_0 < t_{(0.975,198)}$ no existen evidencias para rechazar la hipótesis nula; por lo tanto se puede asumir que tienen el mismo comportamiento, debido a que las diferencias entre las zonas no es significativa.

Perfil Machihembrado en la línea de producción 209, para la característica Amarillez.

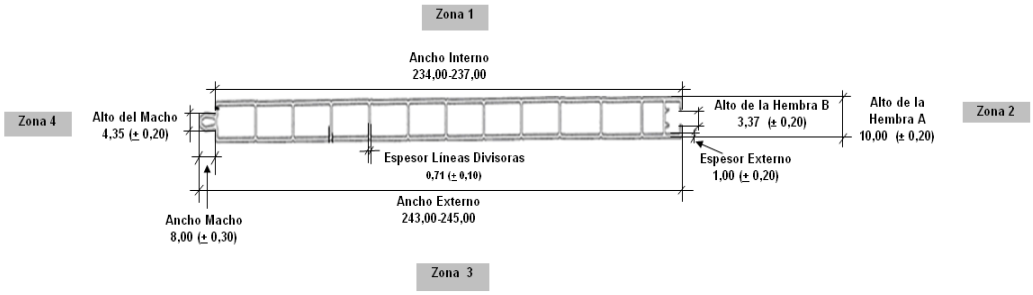
Tabla Nº IV.10. Datos de Amarillez para las zonas 1 y 3 del perfil Machihembrado en la línea 209.

	1	2	3	4	5	$\bar{X}$
1	1	1,09	0,91	1,02	1,05	1,014
2	1,02	0,97	0,9	0,94	0,89	0,944
3	1,07	1	1,07	1,11	0,91	1,032
4	1	0,91	0,86	0,67	0,49	0,786
5	0,43	0,51	0,59	0,58	0,61	0,544
6	0,59	0,74	0,71	0,81	0,65	0,7
7	0,76	0,66	0,69	0,85	0,76	0,744
8	0,25	0,45	0,41	0,39	0,39	0,378
9	0,35	0,06	0,35	0,16	0,28	0,24
10	0,68	0,65	0,67	0,69	0,39	0,616
11	1,19	0,87	0,87	0,8	0,84	0,914
12	0,86	0,37	0,75	1,07	0,73	0,756
13	1,15	1,03	1,22	0,94	1,04	1,076
14	0,36	0,65	0,61	0,67	0,7	0,598
15	0,64	0,69	0,61	0,59	0,62	0,63
16	0,64	0,71	0,56	0,62	0,61	0,628
17	0,72	0,78	0,67	0,65	0,69	0,702
18	0,67	0,51	0,58	0,56	0,62	0,588
19	0,72	0,67	0,63	0,47	0,7	0,638
20	0,75	0,8	0,74	0,81	0,78	0,776
$\bar{\bar{X}}$						0,714
Zona 1						

	1	2	3	4	5	$\bar{X}$
1	0,81	0,93	0,82	0,95	0,93	0,888
2	0,94	1	0,81	0,96	0,96	0,934
3	0,88	0,89	0,85	0,81	0,77	0,84
4	0,81	0,77	0,79	0,75	0,82	0,788
5	0,44	0,39	0,43	0,45	0,41	0,424
6	0,53	0,57	0,6	0,56	0,52	0,556
7	0,65	0,61	0,59	0,63	0,62	0,62
8	0,58	0,61	0,57	0,63	0,62	0,602
9	0,44	0,46	0,41	0,45	0,43	0,438
10	0,46	0,57	0,51	0,49	0,51	0,508
11	0,8	0,64	0,77	0,84	0,75	0,76
12	0,71	0,67	0,69	0,72	0,68	0,694
13	0,97	1,02	1,06	0,78	0,96	0,958
14	0,66	0,68	0,7	0,69	0,71	0,688
15	0,52	0,46	0,55	0,55	0,46	0,508
16	0,55	0,53	0,59	0,61	0,57	0,57
17	0,67	0,72	0,69	0,71	0,67	0,692
18	0,58	0,55	0,5	0,57	0,55	0,55
19	0,6	0,62	0,74	0,72	0,74	0,684
20	0,78	0,76	0,71	0,81	0,82	0,776
$\bar{\bar{X}}$						0,6739
Zona 3						

Prueba de normalidad

Para la comprobación del supuesto de que los datos siguen una distribución Normal se realizó la Prueba de normalidad usando Asimetría y Curtosis (Prueba de Duncan) con un nivel de significancia del 5% ver tabla en el anexo 1 y 2.



Prueba de normalidad para la zona 1 de la característica Amarillez en la línea 209

H_0: los datos se ajustan a una Distribución Normal.

H_1: los datos no se ajustan a una Distribución Normal.

Coeficiente de asimetría:

$$a_3 = \frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{\bar{x}})^3}{(n-1)(n-2)s_x^3}$$

$$a_3 = -0{,}36468488$$

Valor crítico con un nivel de significancia del 5% y n = 100, $v.c. = -0{,}389$

Regla de decisión

Se rechaza H_0 si $a_3 < v.c.$

Como el valor crítico es menor que la asimetría no existen evidencias para rechazar la hipótesis nula y se procede a evaluar las hipótesis con la prueba de la curtosis.

Curtosis:

$$a_4 = \frac{n(n+1)\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{\bar{x}})^4}{(n-1)(n-2)(n-3)s_x^4} - \frac{3(n-1)}{(n-2)(n-3)}$$

$$a_4 = -0{,}24811$$

Valor crítico con un nivel de significancia del 5% y n = 100; $v.c. = -0{,}65$

Regla de decisión

Se rechaza H_0 si $a_4 < v.c.$

Como el valor crítico es mayor que la curtosis no existen evidencias para rechazar la hipótesis nula, por lo tanto no existe evidencia que indique que los datos no se ajustan a una Distribución Normal.

Prueba de normalidad para la zona 3 de la característica Amarillez en la línea 209

H_0: los datos se ajustan a una Distribución Normal.
H_1: los datos no se ajustan a una Distribución Normal.

Coeficiente de asimetría:

$$a_3 = \frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{\bar{x}})^3}{(n-1)(n-2)s_x^3}$$

$$a_3 = 0{,}33254336$$

Valor crítico con un nivel de significancia del 5% y n = 100, $v.c. = 0{,}389$

Regla de decisión

Se rechaza H_0 si $a_3 > v.c.$

Como el valor crítico es mayor que la asimetría no existen evidencias para rechazar la hipótesis nula y se procede a evaluar las hipótesis con la prueba de la curtosis.

Curtosis:

$$a_4 = \frac{n(n+1)\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{\bar{x}})^4}{(n-1)(n-2)(n-3)s_x^4} - \frac{3(n-1)}{(n-2)(n-3)}$$

$$a_4 = -0{,}60303989$$

Valor crítico con un nivel de significancia del 5% y n = 100; $v.c. = -0{,}82$

Regla de decisión

Se rechaza H_0 si $a_4 < v.c.$

Como el valor crítico es menor que la curtosis no existen evidencias para rechazar la hipótesis nula, por lo tanto los datos se ajustan a una Distribución Normal.

Prueba de hipótesis de la comparación entre las zonas 1 y 3 en la línea 209

Para determinar si las diferencias entre zonas es significativa se realizó la siguiente prueba de hipótesis, con un nivel de significancia del 5% haciendo uso la distribución t – student ya que se desconoce la desviación de la población y la distribución de los datos es Normal, ver tablas en el anexo 3:

H_0: $\mu_{z1} - \mu_{z3} = 0$

H_1: $\mu_{z1} - \mu_{z3} \neq 0$

Regla de Decisión

Rechazar H_0 si $|t_0| > t_{(1-\alpha/2;\, n-1)}$

Resultados

$$S_p^2 = \frac{(n-1)S_{z1}^2 + (m-1)S_{z3}^2}{n+m-2}$$

S_p = 0,1726

$$t_0 = \frac{\bar{x}_{z1} - \bar{x}_{z3}}{S_p * \sqrt{(\frac{1}{n} + \frac{1}{m})}}$$

$|t_0|$ = 1,65548971

$t_{(0.975,198)}$ = 1,97201748

Como $t_0 < t_{(0.975,198)}$ no existen evidencias para rechazar la hipótesis nula; es decir, las diferencias entre las zonas no es significativa, por lo tanto se puede asumir que tienen el mismo comportamiento.

Prueba de hipótesis de la comparación entre las máquinas 205 y 209 para la característica Amarillez

En vista de que las diferencias entre las zonas del perfil machihembrado en sus respectivas líneas no son significativas, se procedió a evaluar si existen diferencias entre las máquinas 205 y 209 a través de la prueba U de Mann Whitney, haciendo uso del software Minitab 16.

H_0: $\mu_{209} - \mu_{205} = 0$
H_1: $\mu_{209} - \mu_{205} \neq 0$

Regla de Decisión

Rechazar H_0 si $P\ valor < 0,05$

Se puede apreciar en la figura N° IV.20 que el valor P ajustado por empates es menor al nivel de significancia establecido, por tal razón existe evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula, es decir, la diferencia entre las líneas es significativa.

Mann-Whitney Test and CI: línea 209. línea 205

```
             N  Median
línea 209  200  0,6900
línea 205  200  0,0900

Point estimate for ETA1-ETA2 is 0,6200
95,0 Percent CI for ETA1-ETA2 is (0,5500.0,7000)
W = 55479
Test of ETA1 = ETA2 vs ETA1 not = ETA2 is significant at 0,0000
The test is significant at 0,0000 (adjusted for ties)
```

Figura Nº IV.20. Reporte de la prueba U de Mann Whitney línea 205 y 209.

Al evidenciar que las diferencias entre las zonas no son significativas y las líneas deben ser controladas de manera independiente; se procede a realizar los gráficos de control para cada línea agrupando los datos de las zonas 1 y 3 en 20 subgrupos de tamaño 10, debido a que estas son tomadas bajo las mismas condiciones, en el mismo instante de tiempo.

IV.5.5 Gráficos de Control para la línea 205 característica Amarillez

Se puede apreciar en el gráfico S Nº IV.13 que el punto 7 falla con respecto a la prueba Nº 1; que corresponde a un punto más que las 3,00 desviaciones estándares desde la línea central. Esto muestra que el proceso esta fuera de control.

Un análisis con los operadores del área permitió identificar la causa que ocasionó esta situación fue, una modificación de la variable temperatura por problemas con el compuesto de PVC, por lo tanto se elimina ese punto y se procede a elaborar un nuevo gráfico de control S.

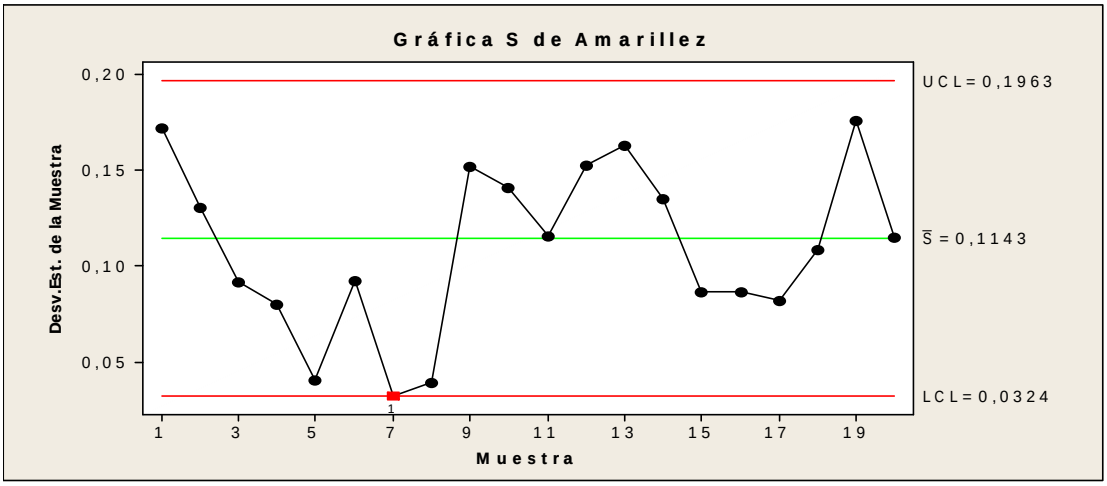


Gráfico Nº IV.13. Gráfica S de la característica Amarillez. Línea 205.

Una vez eliminado el punto en el gráfico S Nº IV.14 muestra que todos los puntos se encuentran bajo control, por ello se procede a construir el grafico $\bar{x}$.

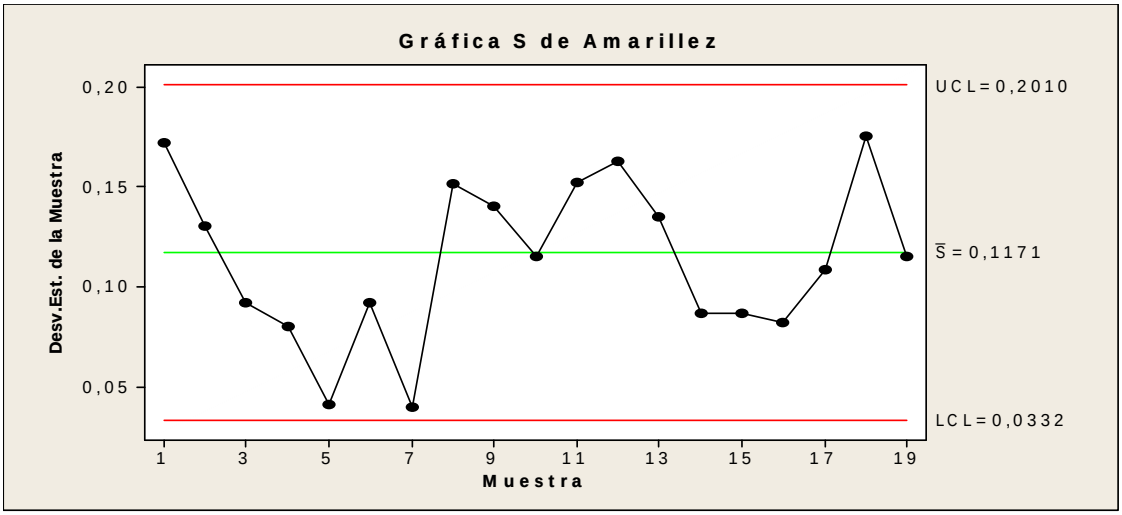


Gráfico Nº IV.14. Gráfica S de la característica Amarillez ajustada. Línea 205.

Los puntos observados en el gráfico ☐ N° IV.15 se encuentran dentro de los límites de control, estos fluctúan de manera irregular alrededor de la línea central, ya que muestra una tendencia a disminuir y aumentar las medias de los subgrupos.

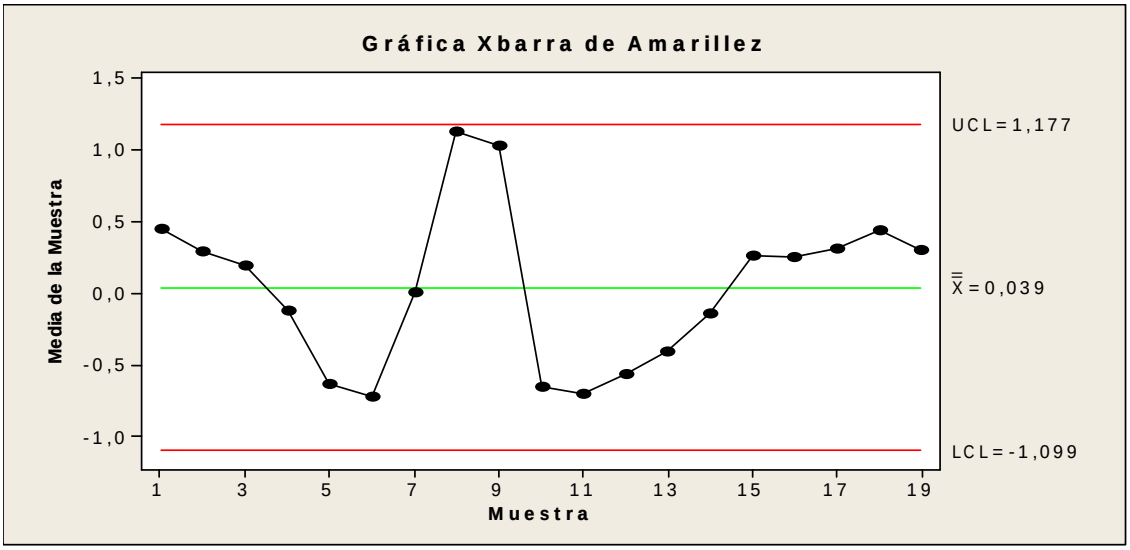


Gráfico Nº IV.15. Gráfica $\bar{x}$ de la característica Amarillez. Línea 205.

Índice de estabilidad

Según Gutiérrez y de la Vara (2004) el índice de inestabilidad se define como:

$$S_t = \frac{\text{número de puntos especiales}}{\text{número total de puntos}} * 100$$

$$S_t = \frac{1}{20} * 100\% = 5\%$$

El valor de S_t para la dispersión se considera moderadamente inestable, al contrario de la tendencia central que posee estabilidad, según el criterio de Gutiérrez y de la Vara (2004).

IV.5.6 Análisis de capacidad para la línea 205 característica Amarillez

Para realizar el estudio de capacidad es necesario comprobar la normalidad de los datos, por tal razón se realizó la Prueba de normalidad

usando Asimetría y Curtosis (Prueba de Duncan) con un nivel de significancia del 5% ver tabla en el anexo 1 y 2.

Prueba de normalidad para los datos agrupados en la línea 205

H_0: los datos se ajustan a una Distribución Normal.
H_1: los datos no se ajustan a una Distribución Normal.

Coeficiente de asimetría:

$$a_3 = \frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{\bar{x}})^3}{(n-1)(n-2)s_x^3}$$

$$a_3 = 0{,}23749556$$

Valor crítico con un nivel de significancia del 5% y n = 200; $v.c.$ = 0,280

Regla de decisión

Se rechaza H_0 si $a_3 > v.c.$

Como el valor crítico es mayor que la asimetría no existen evidencias para rechazar la hipótesis nula y se procede a evaluar las hipótesis con la curtosis.

Curtosis:

$$a_4 = \frac{n(n+1)\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{\bar{x}})^4}{(n-1)(n-2)(n-3)s_x^4} - \frac{3(n-1)}{(n-2)(n-3)}$$

$$a_4 = -0{,}42606251$$

Valor crítico con un nivel de significancia del 5% y n = 200; $v.c.$ = −0,49

Regla de decisión

Se rechaza H_0 si $a_4 < v.c.$

Como el valor crítico es menor que la curtosis no existen evidencias estadísticas para rechazar la hipótesis nula, por lo tanto los datos se ajustan a una Distribución Normal

En función del resultado anterior se procede a calcular los índices de capacidad a través de software Minitab 15.

La capacidad de proceso para Amarillez el valor de C_p de 4,25, el cual indica según el gráfico N° IV.16, que el proceso es potencialmente capaz. El valor de C_{pk} es de 4,14 señala que el proceso es realmente capaz de producir bajo las especificaciones señaladas, estos criterios se basan en Carot (2001).

Los índices de desempeño Pp y Ppk observados en el grafico N° IV.16 , indican que el proceso no es potencialmente hábil y no posee un buen desempeño según Carot (2001).

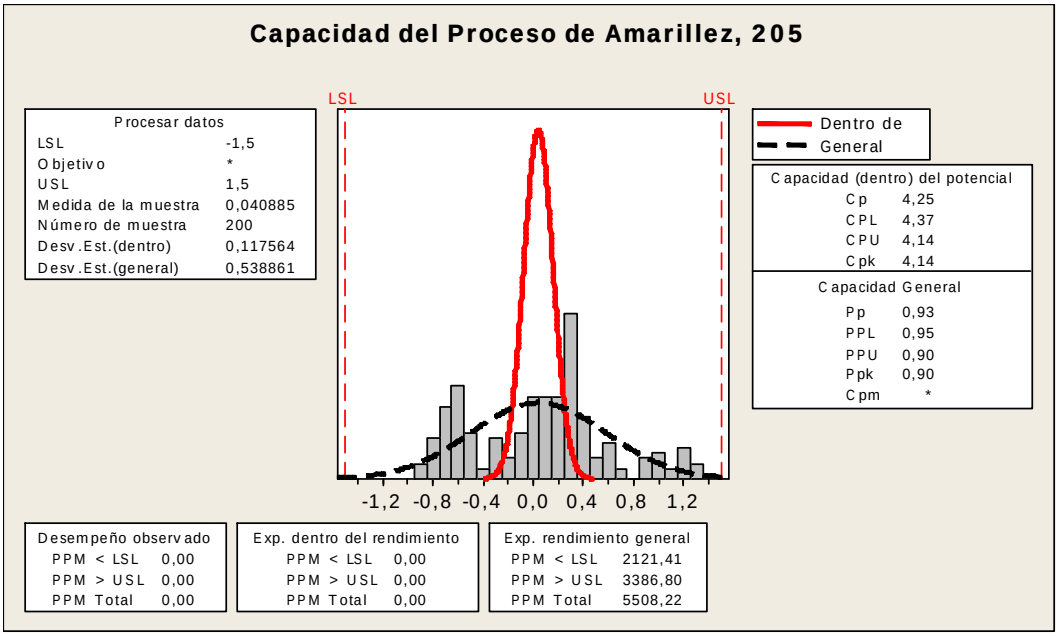


Gráfico Nº IV.16. Capacidad del proceso para la característica Amarillez, 205.

IV.5.7 Gráficos de Control para la línea 209 característica Amarillez

El gráfico S Nº IV.17 muestra que todos los puntos se encuentran bajo control, se procede a construir el grafico $\bar{x}$.

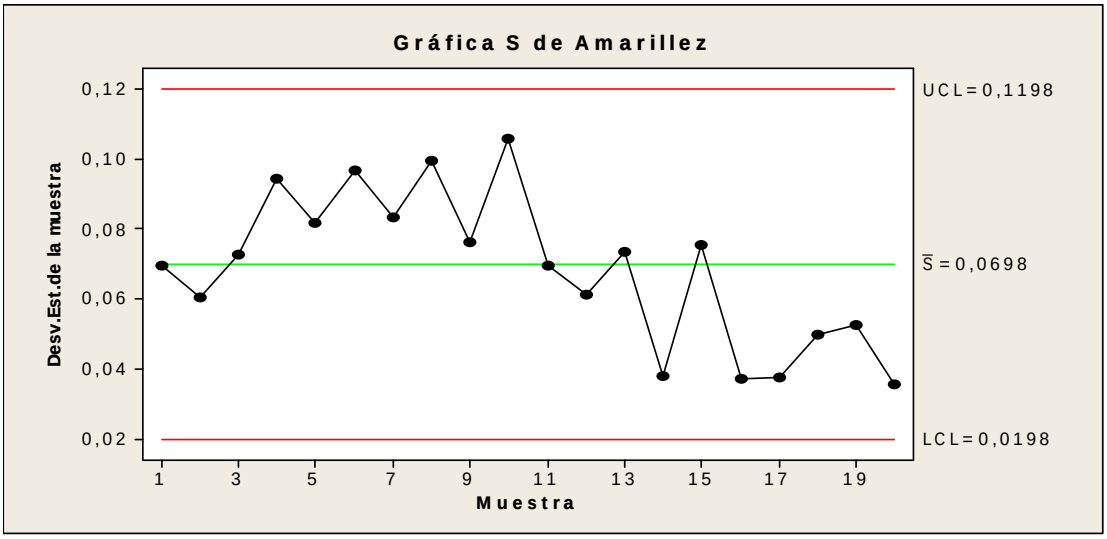


Gráfico Nº IV.17. Gráfica S de la característica Amarillez. Línea 209.

El gráfico ☐ Nº IV.18 indica que todos los puntos se encuentran dentro de los límites de control, no existe evidencia de un comportamiento no aleatorio y los puntos fluctúan de manera regular y muy cercanos a la línea central, indicando que hay poca variabilidad de las muestras debido al agrupamiento de los datos de las zonas 1 y 3.

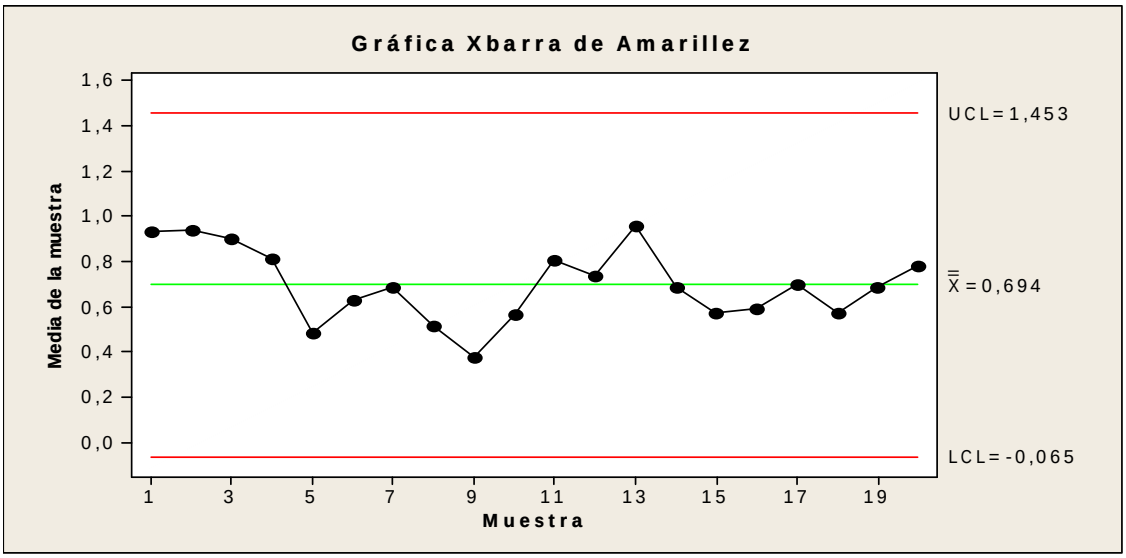


Gráfico Nº IV.18. Gráfica $\bar{x}$ de la característica Amarillez. Línea 209.

Índice de estabilidad

Según Gutiérrez y de la Vara (2004) el índice de inestabilidad se define como:

$$S_t = \frac{\text{número de puntos especiales}}{\text{número total de puntos}} * 100$$

$$S_t = \frac{0}{20} * 100\% = 0\%$$

El proceso posee estabilidad, tanto para la tendencia central como para la dispersión, según el criterio de Gutiérrez y de la Vara (2004).

IV.5.8 Análisis de capacidad para la línea 209 característica Amarillez

Para realizar el análisis de capacidad se debe comprobar el supuesto de que los datos siguen una distribución Normal una vez agrupadas las zonas, para ello se realizó la Prueba de Normalidad usando Asimetría y Curtosis (Prueba de Duncan) con un nivel de significancia del 5% ver tabla en el anexo 1 y 2.

Prueba de normalidad para los datos agrupados en la línea 209

H_0: los datos se ajustan a una Distribución Normal.
H_1: los datos no se ajustan a una Distribución Normal.

Coeficiente de asimetría:

$$a_3 = \frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{\bar{x}})^3}{(n-1)(n-2)s_x^3}$$

$$a_3 = -0{,}0365776$$

Valor crítico con un nivel de significancia del 5% y n = 200; $v.c. = -0{,}280$

Regla de decisión

Se rechaza H_0 si $a_3 < v.c.$

Como el valor crítico es menor que la asimetría no existen evidencias para rechazar la hipótesis nula, se procede a evaluar las hipótesis con la curtosis

Curtosis:

$$a_4 = \frac{n(n+1)\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{\bar{x}})^4}{(n-1)(n-2)(n-3)s_x^4} - \frac{3(n-1)}{(n-2)(n-3)}$$

$$a_4 = -0{,}5092118$$

Valor crítico con un nivel de significancia del 5% y n = 200; $v.c. = -0{,}49$

Regla de decisión

Se rechaza H_0 si $a_4 < v.c.$

Como el valor crítico es mayor que la curtosis se rechaza la hipótesis nula, por lo tanto los datos no se ajustan a una Distribución Normal.

Con base en el resultado anterior se procedió a estimar los índices de capacidad a través de las Curvas de Pearson donde se utilizan la asimetría y curtosis calculadas previamente en la prueba de normalidad.

Coeficiente de asimetría:

$$a_3 = \frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{\bar{x}})^3}{(n-1)(n-2)s_x^3}$$

$$a_3 = -0{,}0365776$$

Curtosis:

$$a_4 = \frac{n(n+1)\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{\bar{x}})^4}{(n-1)(n-2)(n-3)s_x^4} - \frac{3(n-1)}{(n-2)(n-3)}$$

$$a_4 = -0{,}5092118$$

Media

$$\hat{\mu} = 0{,}6941$$

Desviación Estándar

$$\hat{\sigma} = 0{,}17331294$$

Percentil Estandarizado 0,135 P_I' Interpolando entre los valores ubicados en la tabla 1b. ver anexo 4.

$$P_I' = 2{,}53778$$

Percentil Estandarizado 99,865 P_s' Interpolando entre los valores ubicados en la tabla 1a. ver anexo 5.

$$P_s' = 2{,}53778$$

Mediana Estandarizada M' ver anexo 6.

$$M' = 0{,}000$$

Percentil 0,135 Estimado P_I

$$P_I = \bar{X} - S * P_I'$$

$$P_I = 0{,}25426987$$

Percentil 99,865 Estimado P_s

$$P_S = \bar{X} + S * P_S'$$

$$P_S = 1{,}13393013$$

Mediana Estimada M

$$M = \bar{X} + S * M'$$

$$M = 0{,}6941$$

Estimación de los índices

$$C_P = \frac{ES - EI}{P_S - P_I}$$

$$C_P = 3{,}41$$

$$C_{pI} = \frac{M - EI}{M - P_I}$$

$$C_{pI} = 4{,}99$$

$$C_{pS} = \frac{ES - M}{P_S - M}$$

$$C_{pS} = 1{,}83$$

$$C_{pK} = mínimo(C_{pI}\,; C_{pS})$$

$$C_{pK} = 1{,}83$$

Para la característica de calidad Amarillez el valor de C_p es de 3,41, el cual señala que el proceso es potencialmente capaz. El valor de C_{pk} es de 1,83 señalando que el proceso es realmente capaz de producir bajo las especificaciones señaladas.

Perfil Machihembrado en la línea de producción 205 y 209, para la característica Alto de macho.

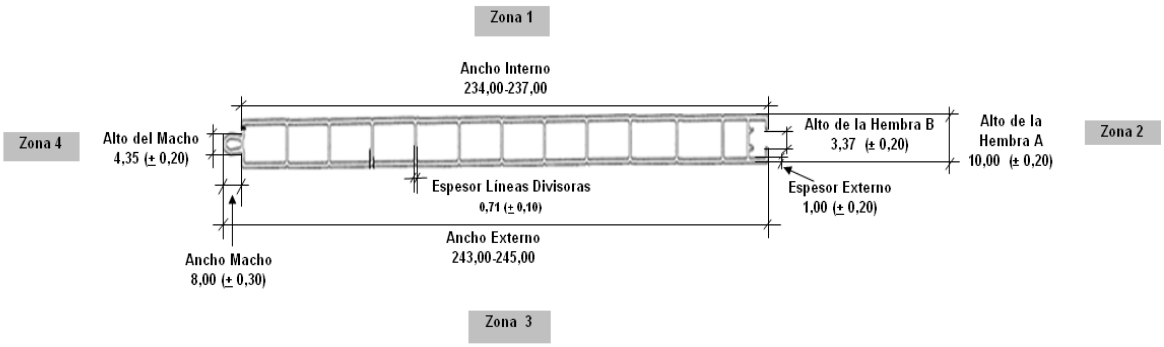
Tabla Nº IV.11. Datos de Alto de macho del perfil Machihembrado en la línea 205 y 209.

	1	2	3	4	5	$\bar{X}$
1	4,22	4,3	4,27	4,32	4,32	4,286
2	4,33	4,38	4,35	4,32	4,3	4,336
3	4,35	4,4	4,37	4,37	4,38	4,374
4	4,32	4,33	4,3	4,35	4,36	4,332
5	4,33	4,35	4,32	4,35	4,33	4,336
6	4,3	4,3	4,34	4,31	4,32	4,314
7	4,33	4,35	4,33	4,34	4,36	4,342
8	4,3	4,37	4,34	4,33	4,3	4,328
9	4,4	4,37	4,39	4,38	4,35	4,378
10	4,34	4,38	4,34	4,3	4,22	4,316
11	4,36	4,32	4,45	4,3	4,33	4,352
12	4,38	4,33	4,36	4,38	4,37	4,364
13	4,4	4,37	4,35	4,36	4,35	4,366
14	4,41	4,35	4,42	4,4	4,42	4,4
15	4,4	4,37	4,43	4,36	4,31	4,374
16	4,28	4,26	4,3	4,31	4,31	4,292
17	4,33	4,3	4,35	4,32	4,3	4,32
18	4,33	4,36	4,33	4,33	4,31	4,332
19	4,33	4,31	4,31	4,34	4,33	4,324
20	4,32	4,32	4,34	4,34	4,32	4,328
$\bar{\bar{X}}$						4,3397
Línea 205						

	1	2	3	4	5	$\bar{X}$
1	4,09	4,1	4,12	4,14	4,08	4,106
2	4,15	4,05	4,03	4,02	3,98	4,046
3	4,17	4,07	4,15	4,07	4,1	4,112
4	4,2	4,16	4,14	4,13	4,2	4,166
5	4,1	4,12	4,09	4,06	4,1	4,094
6	4,13	4,17	4,16	4,18	4,14	4,156
7	4,2	4,22	4,25	4,23	4,18	4,216
8	4,2	4,18	4,16	4,18	4,19	4,182
9	4,23	4,17	4,18	4,2	4,16	4,188
10	4,15	4,13	4,16	4,12	4,15	4,142
11	4,12	4,14	4,16	4,12	4,1	4,128
12	4	4,02	4,04	4,13	4,06	4,05
13	4,14	4,12	4,14	4,14	4,15	4,138
14	4,28	4,3	4,26	4,29	4,26	4,278
15	4,28	4,31	4,27	4,3	4,27	4,286
16	4,27	4,3	4,26	4,28	4,3	4,282
17	4,31	4,28	4,27	4,29	4,31	4,292
18	4,28	4,32	4,29	4,31	4,3	4,3
19	4,27	4,3	4,3	4,28	4,27	4,284
20	4,29	4,3	4,29	4,27	4,28	4,286
$\bar{\bar{X}}$						4,1859
Línea 209						

Prueba de normalidad

Para la comprobación del supuesto de que los datos siguen una distribución Normal se realizó la Prueba de normalidad usando Asimetría y Curtosis (Prueba de Duncan) con un nivel de significancia del 5% ver tabla en el anexo 1 y 2.



Prueba de normalidad de la característica alto del macho en la línea 205

H_0: los datos se ajustan a una Distribución Normal.

H_1: los datos no se ajustan a una Distribución Normal.

Coeficiente de asimetría:

$$a_3 = \frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{\bar{x}})^3}{(n-1)(n-2)s_x^3}$$

$$a_3 = -0{,}02995$$

Valor crítico con un nivel de significancia del 5% y n = 100; $v.c. = -0{,}389$

Regla de decisión

Se rechaza H_0 si $a_3 < v.c.$

Como el valor crítico es mayor que la asimetría no existen evidencias para rechazar la hipótesis nula, se procede a evaluar la prueba de curtosis.

Curtosis:

$$a_4 = \frac{n(n+1)\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{\bar{x}})^4}{(n-1)(n-2)(n-3)s_x^4} - \frac{3(n-1)}{(n-2)(n-3)}$$

$$a_4 = 1{,}123255$$

Valor crítico con un nivel de significancia del 5% y n=100; $v.c = 0{,}77$

Regla de decisión

Se rechaza H_0 si $a_4 > v.c$

Como el valor crítico es menor que la curtosis se rechaza la hipótesis nula, por lo tanto los datos no se ajustan a una Distribución Normal.

Prueba de normalidad de la característica Alto del macho en la línea 209

H_0: los datos se ajustan a una Distribución Normal.
H_1: los datos no se ajustan a una Distribución Normal.

Coeficiente de asimetría:

$$a_3 = \frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{\bar{x}})^3}{(n-1)(n-2)s_x^3}$$

$$a_3 = -0{,}18287$$

Valor crítico con un nivel de significancia del 5% y n = 100; $v.c. = -0{,}389$

Regla de decisión

Se rechaza H_0 si $a_3 < v.c.$

Como el valor crítico es menor que la asimetría no existen evidencias para rechazar la hipótesis nula, se procede a evaluar la prueba de curtosis.

Curtosis:

$$a_4 = \frac{n(n+1)\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{\bar{x}})^4}{(n-1)(n-2)(n-3)s_x^4} - \frac{3(n-1)}{(n-2)(n-3)}$$

$$a_4 = -0{,}99690853$$

Valor crítico con un nivel de significancia del 5% y n=100; $v.c = -0{,}65$

Regla de decisión

Se rechaza H_0 si $a_4 < v.c.$

Como el valor crítico es mayor que la curtosis se rechaza la hipótesis nula, por lo tanto los datos no se ajustan a una Distribución Normal.

Prueba de hipótesis de la comparación entre las máquinas 205 y 209

Para determinar si las diferencias entre líneas son significativas, se realizó a través del software Minitab 16 la prueba U de Mann Whitney con un nivel de significancia del 5%, debido a que los datos de las líneas no se ajustan a una Distribución Normal.

H_0: $\mu_{linea205} - \mu_{linea209} = 0$

H_1: $\mu_{linea205} - \mu_{linea209} \neq 0$

Regla de decisión

Se rechaza H_0 si $P\ valor < 0{,}05$

En la Figura N° IV.21 se puede apreciar que el valor P ajustado por empates es menor al nivel de significancia establecido, por lo tanto existe evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula, es decir, la diferencia entre las líneas es significativa lo que significa que las líneas deben ser controladas de forma independiente.

Mann-Whitney Test and CI: línea 205. línea 209

```
             N  Median
línea 205  100  4,3350
línea 209  100  4,1750

Point estimate for ETA1-ETA2 is 0,1600
95,0 Percent CI for ETA1-ETA2 is (0,1300.0,1800)
W = 14755,0
Test of ETA1 = ETA2 vs ETA1 not = ETA2 is significant at 0,0000
The test is significant at 0,0000 (adjusted for ties)
```

Figura Nº IV.21. Reporte de la prueba U de Mann Whitney línea 205 y 209 para la característica alto del macho.

Al determinar que las diferencias entre las zonas no son significativas y las líneas deben ser controladas de manera independiente; se procede a realizar los gráficos de control para cada línea con 20 subgrupos de tamaño 5.

IV.5.9 Gráficos de Control para la línea 205 característica Alto del Macho

En el gráfico S Nº IV.19 se puede observar que todos los puntos se encuentran bajo control, además se observa que en los últimos 5 puntos tienen una tendencia a disminuir la variabilidad, lo cual es positivo para el proceso, a continuación se procede a construir el gráfico $\bar{x}$.

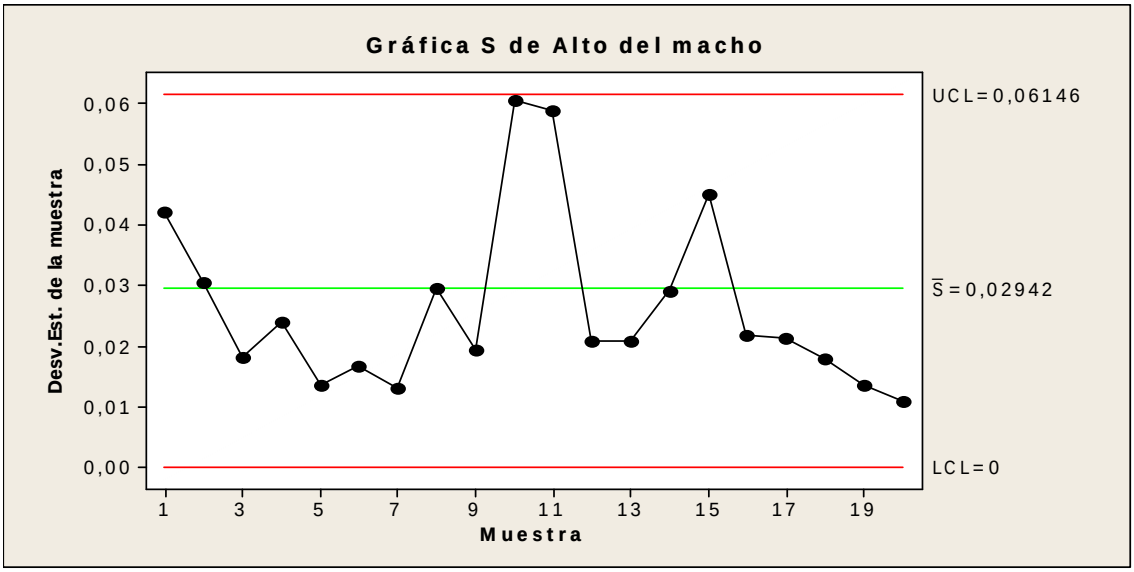


Gráfico Nº IV.19. Gráfica S de la característica Alto de macho. Línea 205.

Todos los puntos apreciados en el gráfico ☐ Nº IV.20 se encuentran dentro de los límites control, lo que indica que el proceso se encuentra bajo control estadístico, además, no existe evidencia de un comportamiento no aleatorio y los puntos fluctúan de manera regular alrededor de la línea central.

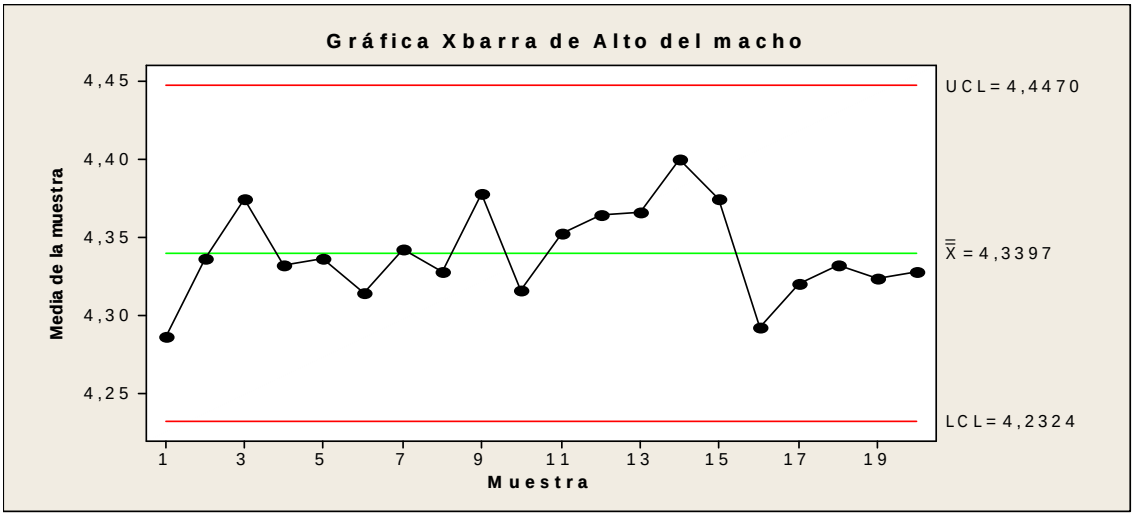


Gráfico Nº IV.20. Gráfica $\bar{x}$ de la característica Alto de macho. Línea 205.

Índice de estabilidad

Según Gutiérrez y de la Vara (2004) el índice de inestabilidad se define como:

$$S_t = \frac{\text{número de puntos especiales}}{\text{número total de puntos}} * 100$$

$$S_t = \frac{0}{20} * 100\% = 0\%$$

El proceso posee una estabilidad relativamente buena, tanto para la tendencia central como para la dispersión, según el criterio de Gutiérrez y de la Vara (2004).

IV.5.10 Análisis de capacidad para la línea 205 característica Alto del Macho

Como los datos recolectados no se ajustan a una Distribución Normal se procedió a estimar los índices de capacidad a través de las Curvas de Pearson donde se utilizan la asimetría y curtosis calculadas previamente en la prueba de normalidad.

Coeficiente de asimetría:

$$a_3 = \frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{\bar{x}})^3}{(n-1)(n-2)s_x^3}$$

$$a_3 = -0{,}02995$$

Curtosis:

$$a_4 = \frac{n(n+1)\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{\bar{x}})^4}{(n-1)(n-2)(n-3)s_x^4} - \frac{3(n-1)}{(n-2)(n-3)}$$

$$a_4 = 1{,}123255$$

Media

$$\hat{\mu} = 4{,}3397$$

Desviación Estándar

$$\hat{\sigma} = 0{,}02931696$$

Percentil Estandarizado 0,135 P_I' Interpolando entre los valores ubicados en la tabla 1b. ver anexo 4

$$P_I' = 3{,}588918275$$

Percentil Estandarizado 99,865 P_s' Interpolando entre los valores ubicados en la tabla 1a. ver anexo 5.

$$P_s' = 3{,}588918275$$

Mediana Estandarizada M' ver anexo 6.

$$M' = 0{,}000$$

Percentil 0.135 Estimado P_I

$$P_I = \bar{X} - S * P_I'$$

$$P_I = 4{,}23448382$$

Percentil 99.865 Estimado P_s

$$P_S = \bar{X} + S * P_s'$$

$$P_S = 4{,}44491618$$

Mediana Estimada M

$$M = \bar{X} + S * M'$$

$$M = 4{,}3397$$

Estimación de los índices

$$C_P = \frac{ES - EI}{P_S - P_I}$$

$$C_P = 1{,}90$$

$$C_{pI} = \frac{M - EI}{M - P_I}$$

$$C_{pI} = 1{,}80$$

$$C_{pS} = \frac{ES - M}{P_S - M}$$

$$C_{pS} = 1{,}99$$

$$C_{pK} = mínimo(C_{pI}\,; C_{pS})$$

$$C_{pK} = 1{,}80$$

La capacidad de proceso para Alto del Macho el valor de C_p de 1,90, el cual indica, que el proceso es potencialmente capaz. El valor de C_{pk} es de 1,80 señala que el proceso es realmente capaz de producir bajo las especificaciones señaladas, según el criterio de Carot (2001).

IV.5.11 Gráficos de Control para la línea 209 característica Alto del Macho

Se puede observar en el gráfico S Nº IV.21 que todos los puntos se encuentran bajo control, además se observa una tendencia a disminuir la variabilidad, esto podría ser positivo para el proceso, a continuación se procede a construir el grafico $\bar{x}$.

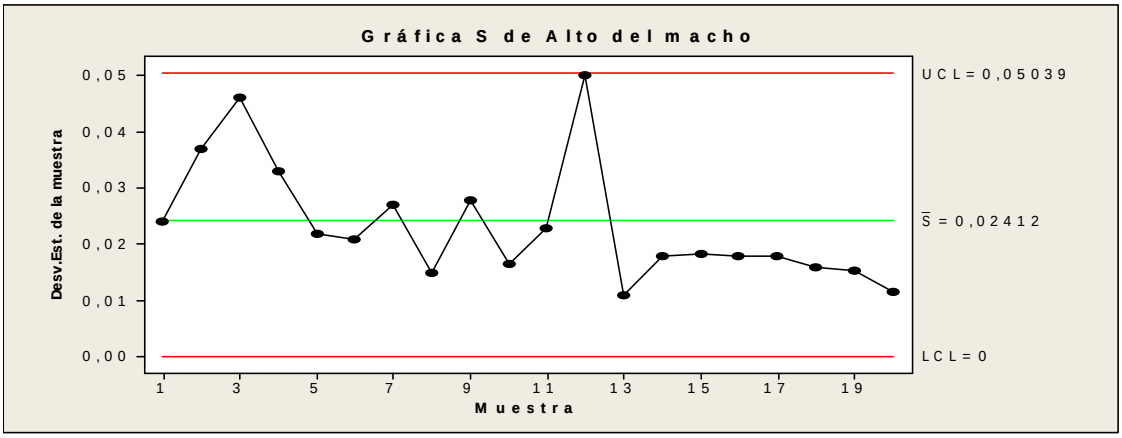


Gráfico Nº IV.21. Gráfica S de la característica Alto de macho. Línea 209.

El gráfico ☐ Nº IV.22 muestra que todos los puntos se encuentran dentro de los límites de control, existe comportamiento similar en los últimos 7 puntos, el cual puede deberse a la disminución de la variabilidad observada en el gráfico S N° IV.21.

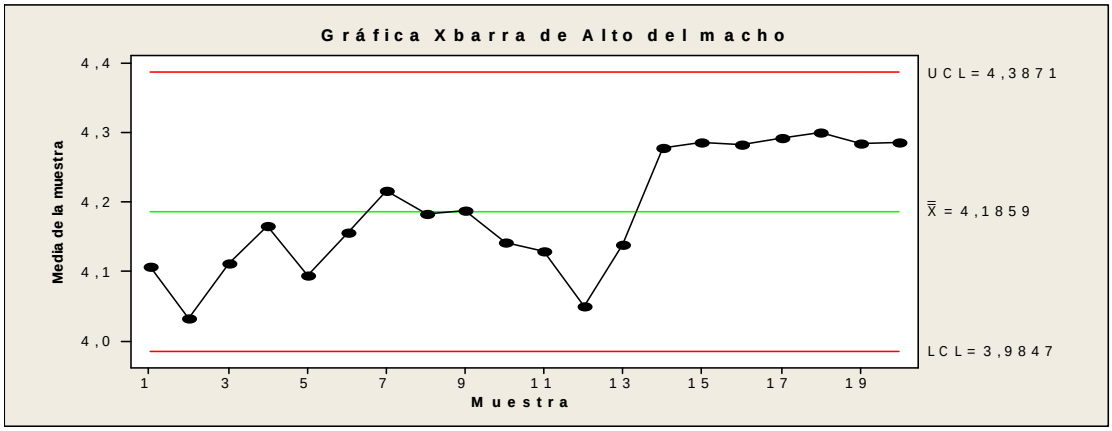


Gráfico Nº IV.22. Gráfica $\bar{x}$ de la característica Alto de macho. Línea 209.

Índice de estabilidad

Según Gutiérrez y de la Vara (2004) el índice de inestabilidad se define como:

$$S_t = \frac{\text{número de puntos especiales}}{\text{número total de puntos}} * 100$$

$$S_t = \frac{0}{20} * 100\% = 0\%$$

El proceso posee una estabilidad relativamente buena, tanto para la tendencia central como para la dispersión, según el criterio de Gutiérrez y de la Vara (2004).

IV.5.12 Análisis de capacidad para la línea 209 característica Alto del Macho

Como los datos recolectados no se ajustan a una Distribución Normal se procedió a estimar los índices de capacidad a través de las Curvas de Pearson donde se utilizan la asimetría y curtosis calculadas previamente en la prueba de normalidad.

Coeficiente de asimetría:

$$a_3 = \frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{\bar{x}})^3}{(n-1)(n-2)s_x^3}$$

$$a_3 = -0{,}18287$$

Curtosis:

$$a_4 = \frac{n(n+1)\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{\bar{x}})^4}{(n-1)(n-2)(n-3)s_x^4} - \frac{3(n-1)}{(n-2)(n-3)}$$

$$a_4 = -0{,}99690853$$

Media

$$\hat{\mu} = 4{,}1859$$

Desviación Estándar

$$\hat{\sigma} = 0{,}08702444$$

Percentil Estandarizado 0,135 P_I' Interpolando entre los valores ubicados en la tabla 1b. ver anexo 4.

$$P_I' = 2{,}1221803$$

Percentil Estandarizado 99,865 P_s' Interpolando entre los valores ubicados en la tabla 1a. ver anexo 5.

$$P_s' = 1{,}7206672$$

Mediana Estandarizada M' ver anexo 6.

$$M' = 0{,}0591758$$

Percentil 0,135 Estimado P_I

$$P_I = \bar{X} - S * P_I'$$

$$P_I = 4{,}00121845$$

Percentil 99,865 Estimado P_s

$$P_S = \bar{X} + S * P_s'$$

$$P_S = 4{,}33564009$$

Mediana Estimada M

$$M = \bar{X} + S * M'$$

$$M = 4{,}19104974$$

Estimación de los índices

$$C_P = \frac{ES - EI}{P_S - P_I}$$

$$C_P = 1{,}19$$

$$C_{pI} = \frac{M - EI}{M - P_I}$$

$$C_{pI} = 0{,}22$$

$$C_{pS} = \frac{ES - M}{P_S - M}$$

$$C_{pS} = 2{,}48$$

$$C_{pK} = mínimo(C_{pI}\,; C_{pS})$$

$$C_{pK} = 0{,}22$$

La capacidad de proceso para la característica de calidad Alto del macho el valor de Cp es de 1,19, el cual indica, que el proceso es potencialmente capaz. El valor de C_{pk} es de 0,22 señala que el proceso no es realmente capaz de producir las especificaciones señaladas bajo las condiciones actuales de operación, según el criterio de Carot (2001).

Capítulo V

Análisis de Resultados

Haciendo uso de la Metodología ESIDE se seleccionó el sub-proceso de extrusión como área crítica del proceso de fabricación de perfiles estructurales, al cual se le determinó a través de Diagramas de Pareto que las características críticas de calidad son Ancho de Canal de Acople, Amarillez y Alto del Macho, a través del uso de Diagramas Causa-Efecto se encontraron que las principales causas de los problemas se deben al incumplimiento del mantenimiento en la extrusora, el compuesto de PVC fuera de especificación y uso inadecuado de los equipos.

El análisis del sistema de Medición mediante el experimento Gage R&R con ayuda del software estadístico Minitab 15, indica que el Vernier N° 11905040 tiene un aporte de 15,46 % en el R&R total considerándose aceptable, al igual que el Vernier N° 109062990 cuyo aporte es 16,67%, esto se debe a pequeñas fallas en la medición, que vienen dadas por la calibración escasa del instrumento, pero son capaces de distinguir entre piezas buenas y malas, además los operadores no poseen un método único para realizar la mediciones; por otro lado el colorímetro escasamente puede diferenciar entre piezas buenas y malas con un aporte de 21,76%, debido al mal uso del instrumento y la falta de calibración periódica.

Con los datos recolectados de cada línea, se realizaron pruebas de normalidad de estos por zonas, a los que resultaron normales se les aplico pruebas de t-student y los que no, se les aplico Prueba U de Mann-Whitney, comprobando que las diferentes zonas de los perfiles seguían un mismo comportamiento; se realizó el mismo procedimiento con los datos de cada línea sin la clasificación de las zonas, donde se demostró que a pesar de que la característica de calidad es la misma en las diferentes líneas no siguen un comportamiento similar.

Se levantaron los gráficos de control x barra S para cada una de las líneas, en los cuales se encontraron causas asignables de variación como: desajuste en el parámetro presión de vacío presentado en la línea 201, debido a una ruptura de la manguera que suministra agua helada a las bañeras, esto ocurre ya que el mantenimiento preventivo es casi inexistente; además se observó en la línea 207 una obstrucción de material en el calibrador por falta mantenimiento, lo que produjo que el operador realizara un ajuste en la velocidad de arrastre; por último en la línea 205 con respecto a la característica de calidad amarillez se identificó que el operador modificó la variable de temperatura, por problemas con el compuesto de PVC, que se presentan, debido a que el tiempo para realizar las pruebas de humedad y densidad al compuesto de PVC cada 15 batch es de 30 min, la elaboración de 1 batch es 20 min; este es trasladado a través a los silos de maduración independientemente del resultado obtenido.

Los índices de estabilidad indicaron que las líneas 201 y 207 son inestables para las características ancho de canal de acople con un índice de inestabilidad del 10% y 5% respectivamente, al contrario de la línea 209 se consideró estable para ambas características; la línea 205 es inestable para la amarillez con un índice del 5% y estable para el alto del macho.

El estudio de capacidad determinó que las líneas 201 y 207 tienen una tendencia a producir fuera de especificación, además existe un descentrado en los procesos; por lo contrario a las líneas 205 y 209 que no poseen unidades fuera de especificación, debido a la amplitud las especificaciones (±1,5), la línea 209 esta descentrada con una tendencia hacia la especificación superior.

Las líneas 201 y 207 son inestables e incapaces para solventar esta situación se debe plantear una estrategia que permita identificar las causas asignables de inestabilidad, esta radica en la implementación de los gráficos de control, ya que el plan de inspección actual es ineficiente, es necesario capacitar al personal del Departamento de Calidad para que esta tenga una

adecuada interpretación, para ello se propone un Plan de Capacitación de Control Estadístico de Procesos y las Herramientas de Calidad; además los datos recolectados dan pie para hacer un diseño de experimentos para corroborar las conjeturas sobre las causas de inestabilidad.

La línea 205 para la característica de calidad Amarillez es inestable y capaz, para la mejora de este es necesario aplicar la estrategia planteada para las líneas 201 y 207; una vez eliminadas las causas de inestabilidad se evalúa el proceso para saber como han disminuido las causas especiales de variación.

Capítulo VI

Propuestas de Mejora

VI.1 Plan de acción para condiciones fuera de control

Para el uso efectivo de las cartas de control en un proceso es importante tener asociada a ellas un plan de acción correctivo para identificar y eliminar las causas asignables, ya que según Montgomery (2004), las cartas de control deben estar acompañadas de un plan de acción para condiciones fuera de control (PACFC) inicial. “No es posible que las cartas de control sin un PACFC sean de gran utilidad como herramientas de mejoramiento del proceso”.

En la tabla VI.1 se muestran las causas asignables y a las acciones correctivas que se emprenden para resolver condiciones fuera de control de las características de calidad estudiadas. Estas fueron discutidas con los analistas y la gerencia del Departamento de Gestión y Control de la Calidad.

Tabla VI.1. Causas asignables potenciales y acciones correctivas.

Causa asignable	Acción correctiva
	Ancho del canal de acople
Gomas de la Oruga	• Verificar que las gomas estén en buen estado y sean todas del mismo tamaño, de no ser así deben cambiarse.
Restos de compuesto de PVC en el molde	• Aumentar la velocidad de halado. • De no ser efectiva la acción anterior debe pararse la línea y hacer una limpieza del molde utilizando un compuesto de purga conformado por: PVC, Calcio Zinc y Baropan.
Variación de la presión de vacío	• Verificar que las bañeras estén bien cerradas y las gomas de estas no estén desgastadas. • Comprobar que las mangueras que llevan el agua a las bañeras se encuentren bien colocadas y en óptimas condiciones.
Mala posición del calibrador	• Nivelar el molde con el calibrador.

Continuación de la tabla VI.1	
Amarillez	
Compuesto fuera de especificación	• Ajustar los parámetros de la maquina. • Mezclar con un compuesto que se encuentre dentro de los parámetros.
Velocidad de halado	• Aumentar la velocidad, ya que el compuesto esta expuesto una mayor cantidad de tiempo a altas temperaturas.
Temperatura inadecuada	• Bajar la temperatura en el molde ya que quema el compuesto
Alto del macho	
Variación de la presión de vacío	• Verificar que las bañeras estén bien cerradas y las gomas de estas no estén desgastadas. • Comprobar que las mangueras que llevan el agua a las bañeras se encuentren bien colocadas y en óptimas condiciones.
Restos de compuesto de PVC en el molde	• Aumentar la velocidad de halado. • De no ser efectiva la acción anterior debe pararse la línea y hacer una limpieza del molde utilizando un compuesto de purga conformado por: PVC, Calcio Zinc y Baropan.
Mala posición del calibrador	• Nivelar el molde con el calibrador.

VI.2 Diseño de Tolva de Retención.

En búsqueda de solventar los problemas que puede presentar el compuesto de PVC en el subproceso de extrusión se propuso el diseño de dos tolvas de retención, que permitirán almacenar el material por el tiempo necesario para realizar las pruebas de humedad y densidad del compuesto; cabe destacar que estas estarán ubicadas debajo de los enfriadores en el área de mezcla, ya que estos poseen un ducto de 4 m de alto aproximadamente que traslada el material por gravedad hasta el sistema neumático estas tolvas tendrán las siguientes características:

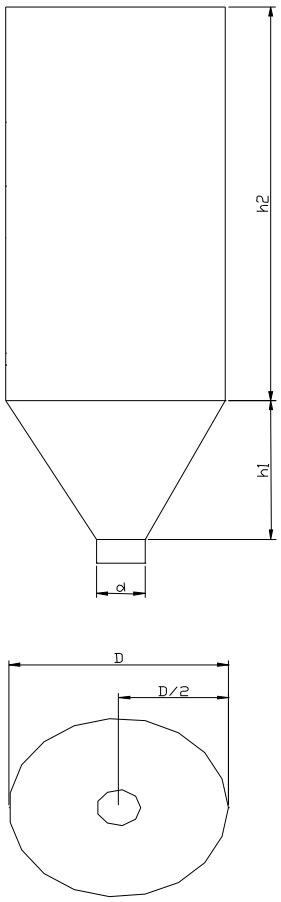


Figura Nº VI.1. Vistas de la tolva de retención.

Las tolvas deben tener una capacidad de:

Capacidad de la tolva 1000 Kg.

$Densidad\ aparente\ del\ compuesto\ de\ PVC$ = 662,5 $^{kg}/_{m^3}$

Para el diseño de la misma es necesario calcular el volumen total y parcial de la tolva

$$V = 1000\,kg * \frac{1\,m^3}{662{,}5\,kg} = 1{,}509\,m^3$$

$$V_t = V * 1{,}1 = 1{,}509 * 1{,}1 = 1{,}659\,m^3$$

$$V_t = V_1 + V_2 = 1{,}659\,m^3$$

Para un diámetro de 1 m se obtiene que:

La boquilla de descarga representa el 10 % del diámetro total de la tolva por lo tanto d = 0,1 m

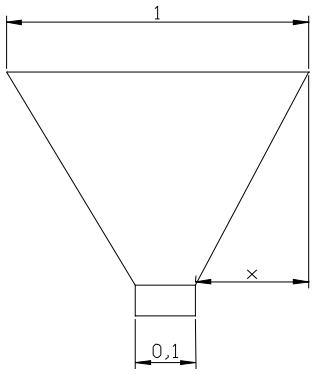


Figura Nº VI.2. Vista de la zona de descarga.

Calculo de la altura de la zona de descarga h_1

$x = 0{,}5 - 0{,}05 = 0{,}45\,m$

$T_g\ 45^0 = \frac{h_1}{0{,}45}$

$h_1 = 0{,}4 * T_g\ 45^0 = 0{,}45\ m$

Volumen de la zona de descarga

$V_1 = \frac{h_1}{3} * \left(A_B + A_b + \sqrt{A_B + A_b}\right)$

$V_1 = \frac{0{,}45}{3} * \left(0{,}5^2 * \pi + 0{,}05^2 * \pi + \sqrt{0{,}5^2 * \pi + 0{,}05^2 * \pi}\right) = 0{,}163\ m^3$

Volumen de la parte superior de la tolva

$V_2 = V_t - V_1 = 1{,}659 - 0{,}163 = 1{,}0029\ m^3$

Altura de la parte superior de la tolva

$V_2 = \pi * r^2 * h_2$

$h_2 = \frac{V_2}{\pi * r^2} = \frac{1{,}0029}{0{,}5^2 * \pi} = 1{,}277\ m$

Altura total de la tolva

$h_t = h_1 + h_2 = 1{,}727\ m$

Con la implementación de las tolvas permitirá llevar un control del compuesto de PVC y se estaría disminuyendo la cantidad de perfiles defectuosos por problemas con el compuesto de PVC, que oscila alrededor de 860 perfiles estructurales al mes, lo que equivale a un ahorro de:

$$Ahorro = 860 \frac{perfiles}{mes} * 70 \frac{Bs}{perfil} = 60.200\ Bs/mes$$

VI.3 Plan de Capacitación de Control Estadístico de Procesos y las Herramientas de Calidad.

Tabla N° VI.2 Plan de capacitación de control estadístico de procesos y las herramientas de calidad.

Módulo	Facilitador	Carácter	Duración	Objetivo
Introducción al control estadístico de procesos y las herramientas de calidad.	Formación técnica	Teórico	6 horas	• Definir SPC • Estudiar los conceptos más importantes del SPC e identificar las herramientas de calidad y su uso • Señalar los beneficios de aplicar correctamente SPC y las herramientas de calidad. • Introducción Normas de calidad (ISO 9000:2005)
Familiarización con los gráficos de control y las herramientas de calidad.	Formación técnica	Teórico	4 horas	• Tipos de gráficos de control y sus beneficios • Clasificación de las herramientas de calidad y su utilidad.

Técnicas de recolección de datos y uso de los instrumentos de medición.	Formación técnica	Teórico	2 horas	• Orientación sobre el uso adecuado de los instrumentos. • Técnicas de recolección de datos para elaborar los gráficos.
Construcción de gráficos de control e interpretación.	Formación técnica	Teórico-Practico	4 horas	• Recolección de datos e interpretación de los mismos.

Tabla N° VI.3 Contenido por modulo y material de apoyo para el plan de capacitación de control estadístico de procesos y las herramientas de calidad.

Módulo	Contenido	Material de Apoyo
Introducción al control estadístico de procesos y las herramientas de calidad	• Medidas de tendencia central y desviación estándar del proceso. • Control Estadístico de Procesos. • Causas de variación. • Beneficios de aplicar SPC y las herramientas de Calidad. • Normas ISO 9000:2005.	Diapositivas
Familiarización con los gráficos de	• Tipos de gráficos de control. • Beneficios de cada grafico y su	Diapositivas

control y las herramientas de calidad.	utilidad. • Herramientas de Calidad.	
Técnicas de recolección de datos y uso de los instrumentos de medición	• Vernier. • Colorímetro. • Técnicas de recolección de datos.	• Manual de los instrumentos. • Diapositivas
Construcción de gráficos de control e interpretación	• Recolección de subgrupos nominales. • Construcción de Subgrupos nominales. • Interpretación de gráficos de control.	

Tabla N° VI.4. Evaluación del plan de capacitación de control estadístico de procesos y las herramientas de calidad. Fuente : RRHH

Inversión
9150 Bs

Conclusiones y Recomendaciones.

Conclusiones

Según los resultados obtenidos en la investigación y el análisis realizado, se concluyo lo siguiente:

- Se seleccionó el sub-proceso de extrusión como área crítica del proceso de fabricación de perfiles estructurales, al cual se le determinó a través de Diagramas de Pareto que las características críticas de calidad son Ancho de Canal de Acople, Amarillez y Alto del Macho.

- Se analizó las posibles causas raíces que afectan a las características de calidad seleccionadas mediante el uso de Diagramas Causa-Efecto entre ellas se encuentran el incumplimiento del mantenimiento en la extrusora, el compuesto de PVC fuera de especificación y uso inadecuado de los equipos.

- Por medio del experimento Gage R&R con ayuda del software estadístico Minitab 15, se encontró que los dos (2) Vernier son capaces de distinguir entre piezas buenas y malas; además el colorímetro escasamente puede diferenciar entre ellas.

- Se comprobó a través de pruebas de hipótesis que las diferentes zonas de los perfiles seguían él un mismo comportamiento y se demostró que las mismas no siguen un comportamiento similar entre líneas.

- Se levantaron los gráficos de control x barra S para cada una de las líneas, en los cuales se encontraron causas asignables de variación como: fallas en la maquinas, desajuste en parámetros, mala colocación y desgaste de piezas.

- Los índices de estabilidad indicaron que las líneas 201 y 207 son inestables para las características ancho de canal de acople, al contrario

de la línea 209 se consideró estable para ambas características; la línea 205 es inestable para la amarillez y estable para el alto del macho.

- El estudio de capacidad determinó que las líneas 201 y 207 tienen una tendencia a producir fuera de especificación, por lo contrario a las líneas 205 y 209.

Recomendaciones

- Implementar el uso de dos tolvas de retención de sección transversal circular, una para cada línea, permitiendo el análisis del compuesto de PVC antes de ser enviado al silo de maduración.

- Para un mejor funcionamiento de los instrumentos de medición se deben calibrar en el tiempo establecido, el cual es dos veces al año; ya que los analistas utilizan el Vernier cerca de las máquinas extrusoras las cuales emiten un campo magnético; que según la Norma COVENIN 2425:2000 "Cuando se usan vernier con salida digital, se debe recordar que las influencias del ambiente, tales como los campos magnéticos, o la humedad, pueden perjudicar la función del instrumento o dañar irreparablemente los componentes eléctricos".

- Implementar las cartas de control que permiten identificar y eliminar causas asignables con su respectivo plan de acción para condiciones fuera de control.

- Cumplimiento del mantenimiento preventivo de las máquinas en el tiempo estipulado, ya que el mantenimiento que se realiza es correctivo.

- Para las líneas 201 y 207 es ideal realizar un estudio profundo de diseño de experimentos para encontrar las causas de inestabilidad del proceso.

- Formación del personal analista a través de cursos para el control estadístico de procesos y herramientas de calidad, con los últimos avances en cuanto a estas áreas; mejorando así la calidad del proceso.

- Ajustar las especificaciones de la característica Ancho del Canal de Acople para disminuir la cantidad de unidades fuera de especificación.

Referencias Bibliográficas

Carot, V. (2001). *Control Estadístico de la Calidad.* Mexico: Alfaomega Grupo Editor, S.A.

COVENIN (2000). *Norma Venezolana COVENIN 2425. Instrumentos de Medicion.Vernier. Requisitos y ensayos.* Venezuela: COVENIN

Gutiérrez, H., y De la Vara, R. (2004). *Control Estadistico de Calidad y Seis Sigma.* Mexico: Mcgraw-Hill Interamericana Editores, S.A.

Herrera, R., y Fontalvo, T. (2011). *Seis Sigma. Métodos Estadísticos Y Sus Aplicaciones.* Edición en línea. Malaga: Universidad de Malaga.

Laman, S. (2012). *Remover Obstaculos en CEP (SPC)*. ASQ*,* Edición en línea, 1-2.

Lugo, M. (2003) *Desarrollo de un modelo de control estadístico de procesos para el sistema de dosificación de aditivos de harina de trigo leudante en una empresa molinera.* Universidad de Carabobo. Escuela de Ingeniería Industrial. Trabajo especial de grado.

Méndez Alvarez, C. E. (2009). *Metodología, diseño y desarrollo del proceso de investigacion con énfacis en ciencias empresariales.* Mexico: Editorial Limusa, S.A.

Montgomery, D. (2005). *Control Estadistico de Calidad.* Mexico: Editorial Limusa,S.A.

Organización Internacional para la Estandarización (ISO) (2008). *Norma internacional ISO 9001. Sistemas de gestión de la calidad — Requisitos.* Suiza: ISO.

Organización Internacional para la Estandarización (ISO) (2005). *Norma internacional ISO 9000. Sistemas de gestión de la calidad — Fundamentos y vocabulario.* Suiza: ISO.

Organización Internacional para la Estandarización (ISO) (2003). *Norma internacional ISO 10017. Orientación sobre las técnicas estadísticas para la Norma ISO 9001:2000.* Suiza: ISO.

Organización Internacional para la Estandarización (ISO) (2003). *Norma internacional ISO 10012. Sistemas de gestión de las mediciones — Requisitos para los procesos de medición y los equipos de medición*. Suiza: ISO.

Ortiz, F. e Illada, R (2007). *ESIDE Herramientas para la Mejora Continua de los Procesos*. Cuadernos de Ingeniería Industrial Numero 3. Universidad de Carabobo. Valencia. Venezuela.

Quintero, Y., & Terán, K. (2003). *Diseño de un sistema de control estadístico de procesos en la línea múltiple 2 de Agua Nevada de la empresa Panamco de Venezuela Planta-Maracay.* Universidad de Carabobo. Escuela de Ingeniería Industrial. Trabajo especial de grado.

Sherman, P. (2012). *Graficos Inteligentes*. ASQ, Edición en línea, 1-2.

Stake, R. (2007). *Investigacion con estudio de casos.* Madrid. España: Ediciones Morata, S.L.

Tovar, G. (2004) *Desarrollo de un sistema de control de operaciones en las líneas de producción de viscosos en una empresa del sector alimenticio (Caso: KraftFoods, C.A.).* Universidad de Carabobo. Escuela de Ingeniería Industrial. Trabajo especial de grado.

Anexos

Anexo 1

Asimetría Prueba de Duncan

N	0,05	0,01
25	0,714	1,073
30	0,664	0,985
35	0,624	0,932
40	0,587	0,869
45	0,558	0,825
50	0,533	0,787
60	0,492	0,723
70	0,459	0,673
80	0,432	0,631
90	0,409	0,596
100	0,389	0,567
125	0,350	0,508
150	0,321	0,464
175	0,298	0,430
200	0,28	0,403
250	0,251	0,360
300	0,230	0,329
400	0,200	0,285
500	0,179	0,255
750	0,146	0,208
1000	0,127	0,180

Fuente: R.C. Geary y E.S. Pearson, Test of Normality.

Se calcula el coeficiente de asimetría o sesgo (a_3)

$a_3 > 0$ Distribución asimétrica positiva

$a_3 < 0$ Distribución asimétrica negativa

Si a_3 es positivo se obtiene el valor crítico de la tabla para la prueba de asimetría, de acuerdo con el valor de α seleccionado y el total de observaciones (N)

Si a_3 es negativo, agregue un signo negativo al valor obtenido en la tabla para la prueba de asimetría, de acuerdo con el valor de α seleccionado y el total de observaciones (N)

Anexo 2

Apuntamiento Prueba de Duncan

	Curtosis negativa		Curtosis positiva	
N	**0,01**	**0,05**	**0,05**	**0,01**
25	-1,28	-1,09	1,16	2,30
30	-1,21	-1,02	1,11	2,21
40	-1,11	-0,93	1,06	2,04
50	-1,05	-0,85	0,99	1,88
75	-0,92	-0,73	0,87	1,59
100	-0,82	-0,65	0,77	1,39
125	-0,76	-0,60	0,71	1,24
150	-0,71	-0,55	0,65	1,13
200	-0,63	-0,49	0,57	0,98
250	-0,58	-0,45	0,52	0,87
300	-0,54	-0,41	0,47	0,79
500	-0,43	-0,33	0,37	0,60
1000	-0,32	-0,24	0,26	0,41
2000	-0,23	-0,17	0,18	0,28
5000	-0,15	-0,11	0,12	0,17

Fuente: R.C. Geary y E.S. Pearson, Test of Normality.

Se calcula el coeficiente de apuntamiento o Curtosis (a_4)

$a_4 > 0$ Distribución Leptocúrtica

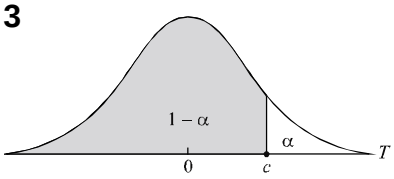
$a_4 < 0$ Distribución Platicúrtica

Si a_4 es positivo se obtiene el valor crítico de la tabla para la prueba de curtosis, de acuerdo con el valor de α seleccionado y el total de observaciones (N)

Si a_3 es negativo, se determina el valor critico de la tabla para la prueba de curtusis, de acuerdo con el valor de α seleccionado y el total de observaciones (N)

Anexo 3

TABLA DE LA DISTRIBUCION *t*-Student



r	0.80	0.90	0.95	0.975	0.99	0.995
1	1.376	3.078	6.314	12.706	31.821	63.657
2	1.061	1.886	2.920	4.303	6.965	9.925
3	0.978	1.638	2.353	3.182	4.541	5.841
4	0.941	1.533	2.132	2.776	3.747	4.604
5	0.920	1.476	2.015	2.571	3.365	4.032
6	0.906	1.440	1.943	2.447	3.143	3.707
7	0.896	1.415	1.895	2.365	2.998	3.499
8	0.889	1.397	1.860	2.306	2.896	3.355
9	0.883	1.383	1.833	2.262	2.821	3.250
10	0.879	1.372	1.812	2.228	2.764	3.169
11	0.876	1.363	1.796	2.201	2.718	3.106
12	0.873	1.356	1.782	2.179	2.681	3.055
13	0.870	1.350	1.771	2.160	2.650	3.012
14	0.868	1.345	1.761	2.145	2.624	2.977
15	0.866	1.341	1.753	2.131	2.602	2.947
16	0.865	1.337	1.746	2.120	2.583	2.921
17	0.863	1.333	1.740	2.110	2.567	2.898
18	0.862	1.330	1.734	2.101	2.552	2.878
19	0.861	1.328	1.729	2.093	2.539	2.861
20	0.860	1.325	1.725	2.086	2.528	2.845
21	0.859	1.323	1.721	2.080	2.518	2.831
22	0.858	1.321	1.717	2.074	2.508	2.819
23	0.858	1.319	1.714	2.069	2.500	2.807
24	0.857	1.318	1.711	2.064	2.492	2.797
25	0.856	1.316	1.708	2.060	2.485	2.787
26	0.856	1.315	1.706	2.056	2.479	2.779
27	0.855	1.314	1.703	2.052	2.473	2.771
28	0.855	1.313	1.701	2.048	2.467	2.763
29	0.854	1.311	1.699	2.045	2.462	2.756
30	0.854	1.310	1.697	2.042	2.457	2.750
40	0.851	1.303	1.684	2.021	2.423	2.704
60	0.848	1.296	1.671	2.000	2.390	2.660
120	0.845	1.289	1.658	1.980	2.358	2.617
150	0.844	1.287	1.655	1.976	2.351	2.609
200	0.843	1.286	1.653	1.972	2.345	2.601
∞	0.842	1.282	1.645	1.960	2.326	2.576

Fuente: www.mate.unlp.edu.ar/~ealvarez/MateIII/Tabla-t.doc

Anexo 4

Curvas de Pearson Tabla 1a

Pt' (Percentil 0.135) para Sesgo ≥ 0. Ps' (Percentil 99.865) para Sesgo < 0.

Curtosis	Sesgo																				
	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0
-1.4	1.512	1.421	1.317	1.206	1.092	0.979	0.868	0.762													
-1.2	1.727	1.619	1.496	1.364	1.230	1.100	0.975	0.858	0.747												
-1.0	1.966	1.840	1.696	1.541	1.384	1.232	1.089	0.957	0.836												
-0.8	2.210	2.072	1.912	1.736	1.555	1.377	1.212	1.062	0.927	0.804	0.692										
-0.6	2.442	2.298	2.129	1.941	1.740	1.539	1.348	1.175	1.023	0.887	0.766	0.656									
-0.4	2.653	2.506	2.335	2.141	1.930	1.711	1.496	1.299	1.125	0.974	0.841	0.723	0.616								
-0.2	2.839	2.692	2.522	2.329	2.116	1.887	1.655	1.434	1.235	1.065	0.919	0.791	0.677	0.574							
0.0	3.000	2.856	2.689	2.500	2.289	2.059	1.817	1.578	1.356	1.163	1.000	0.861	0.739	0.630	0.531						
0.2	3.140	2.986	2.834	2.653	2.447	2.220	1.976	1.726	1.485	1.269	1.086	0.933	0.801	0.686	0.583						
0.4	3.261	3.088	2.952	2.785	2.589	2.368	2.127	1.873	1.619	1.382	1.178	1.008	0.865	0.742	0.634	0.536					
0.6	3.366	3.164	3.045	2.896	2.714	2.502	2.267	2.015	1.754	1.502	1.277	1.087	0.931	0.799	0.685	0.583	0.469				
0.8	3.458	3.222	3.118	2.986	2.821	2.622	2.396	2.148	1.887	1.625	1.381	1.172	1.000	0.857	0.736	0.629	0.533				
1.0	3.539	3.266	3.174	3.058	2.910	2.727	2.512	2.271	2.013	1.748	1.491	1.262	1.072	0.917	0.787	0.675	0.575	0.484			
1.2	3.611	3.300	3.218	3.115	2.983	2.817	2.616	2.385	2.132	1.876	1.602	1.357	1.149	0.979	0.840	0.721	0.617	0.524			
1.4	3.674	3.327	3.254	3.161	3.043	2.893	2.708	2.488	2.243	1.981	1.713	1.456	1.230	1.045	0.894	0.768	0.659	0.562	0.475		
1.6	3.731	3.349	3.282	3.199	3.092	2.957	2.787	2.581	2.345	2.089	1.821	1.556	1.316	1.113	0.950	0.815	0.701	0.600	0.510		
1.8	3.782	3.367	3.306	3.229	3.133	3.011	2.855	2.664	2.438	2.189	1.925	1.664	1.404	1.185	1.008	0.863	0.743	0.638	0.546	0.461	
2.0	3.828	3.382	3.325	3.255	3.167	3.055	2.914	2.736	2.524	2.283	2.023	1.755	1.494	1.261	1.068	0.913	0.785	0.676	0.580	0.494	
2.2	3.870	3.395	3.342	3.277	3.196	3.093	2.964	2.800	2.600	2.369	2.116	1.850	1.584	1.339	1.132	0.964	0.828	0.714	0.615	0.526	0.445
2.4	3.908	3.405	3.356	3.295	3.220	3.126	3.006	2.855	2.669	2.448	2.202	1.940	1.673	1.420	1.198	1.018	0.873	0.752	0.649	0.557	0.475
2.6	3.943	3.415	3.367	3.311	3.241	3.153	3.043	2.904	2.730	2.521	2.283	2.026	1.760	1.501	1.267	1.073	0.918	0.791	0.683	0.589	0.504
2.8	3.975	3.423	3.378	3.324	3.259	3.177	3.075	2.946	2.784	2.586	2.358	2.107	1.844	1.581	1.338	1.131	0.965	0.830	0.717	0.620	0.533
3.0	4.004	3.430	3.387	3.326	3.274	3.198	3.103	2.983	2.831	2.646	2.427	2.183	1.924	1.661	1.410	1.191	1.013	0.870	0.752	0.651	0.562
3.2	4.031	3.436	3.395	3.346	3.288	3.216	3.127	3.015	2.874	2.699	2.491	2.254	2.000	1.738	1.483	1.253	1.063	0.911	0.787	0.681	0.590
3.4	4.056	3.441	3.402	3.356	3.300	3.233	3.149	3.043	2.911	2.747	2.549	2.321	2.072	1.813	1.555	1.317	1.115	0.953	0.822	0.712	0.618
3.6	4.079	3.446	3.408	3.364	3.311	3.247	3.168	3.069	2.945	2.790	2.602	2.383	2.140	1.884	1.626	1.381	1.169	0.996	0.858	0.744	0.646
3.8	4.101	3.450	3.414	3.371	3.321	3.259	3.184	3.091	2.974	2.829	2.651	2.440	2.205	1.953	1.695	1.446	1.224	1.041	0.895	0.775	0.674
4.0	4.121	3.454	3.419	3.378	3.329	3.271	3.200	3.111	3.001	2.864	2.695	2.494	2.265	2.018	1.762	1.510	1.281	1.088	0.932	0.807	0.702
4.2	4.140	3.458	3.423	3.384	3.337	3.281	3.213	3.129	3.025	2.895	2.735	2.543	2.321	2.080	1.827	1.574	1.338	1.135	0.971	0.839	0.730
4.4	4.157	3.461	3.428	3.389	3.344	3.290	3.225	3.145	3.047	2.923	2.771	2.588	2.374	2.138	1.889	1.636	1.396	1.184	1.011	0.872	0.758
4.6	4.174	3.464	3.431	3.394	3.350	3.299	3.236	3.160	3.066	2.949	2.805	2.629	2.424	2.194	1.948	1.697	1.453	1.234	1.052	0.905	0.786
4.8	4.189	3.466	3.435	3.399	3.356	3.306	3.246	3.173	3.084	2.972	2.835	2.668	2.470	2.246	2.005	1.756	1.510	1.285	1.094	0.939	0.815
5.0	4.204	3.469	3.438	3.403	3.362	3.313	3.256	3.186	3.100	2.994	2.863	2.703	2.513	2.296	2.059	1.813	1.566	1.336	1.137	0.975	0.844
5.2	4.218	3.471	3.441	3.406	3.367	3.320	3.264	3.197	3.114	3.013	2.888	2.735	2.562	2.342	2.111	1.867	1.621	1.387	1.181	1.010	0.874
5.4	4.231	3.473	3.444	3.410	3.371	3.326	3.272	3.207	3.128	3.031	2.911	2.765	2.589	2.386	2.160	1.920	1.675	1.438	1.225	1.047	0.904
5.6	4.243	3.475	3.446	3.413	3.375	3.331	3.279	3.216	3.140	3.047	2.933	2.793	2.624	2.427	2.206	1.970	1.727	1.489	1.270	1.085	0.935
5.8	4.255	3.477	3.448	3.416	3.379	3.336	3.286	3.225	3.152	3.062	2.952	2.818	2.656	2.465	2.250	2.019	1.778	1.539	1.316	1.123	0.966
6.0	4.266	3.478	3.451	3.419	3.383	3.341	3.292	3.233	3.162	3.076	2.970	2.841	2.685	2.501	2.292	2.065	1.827	1.588	1.361	1.162	0.999
6.2	4.276	3.480	3.453	3.422	3.386	3.345	3.297	3.240	3.172	3.089	2.987	2.863	2.713	2.535	2.332	2.109	1.874	1.635	1.407	1.202	1.031
6.4	4.286	3.481	3.454	3.424	3.389	3.349	3.303	3.247	3.181	3.100	3.003	2.883	2.739	2.567	2.369	2.151	1.919	1.682	1.452	1.242	1.065
6.6	4.296	3.483	3.456	3.426	3.392	3.353	3.308	3.254	3.189	3.111	3.017	2.902	2.763	2.597	2.405	2.191	1.962	1.727	1.496	1.282	1.099
6.8	4.305	3.484	3.458	3.429	3.395	3.357	3.312	3.260	3.197	3.122	3.030	2.919	2.785	2.624	2.438	2.229	2.004	1.771	1.540	1.323	1.134
7.0	4.313	3.485	3.459	3.431	3.398	3.360	3.316	3.265	3.204	3.131	3.043	2.936	2.806	2.651	2.469	2.265	2.044	1.814	1.583	1.363	1.169
7.2	4.322	3.486	3.461	3.432	3.400	3.363	3.321	3.270	3.211	3.140	3.054	2.951	2.825	2.675	2.499	2.300	2.083	1.855	1.625	1.403	1.204
7.4	4.330	3.487	3.462	3.434	3.403	3.366	3.324	3.275	3.218	3.148	3.065	2.965	2.843	2.698	2.527	2.333	2.120	1.895	1.666	1.443	1.240
7.6	4.337	3.488	3.464	3.436	3.405	3.369	3.328	3.280	3.224	3.156	3.075	2.978	2.860	2.720	2.554	2.364	2.155	1.933	1.706	1.482	1.276
7.8	4.344	3.489	3.465	3.437	3.407	3.372	3.331	3.284	3.229	3.164	3.085	2.990	2.876	2.740	2.579	2.394	2.189	1.970	1.744	1.521	1.311
8.0	4.351	3.490	3.466	3.439	3.409	3.374	3.335	3.289	3.235	3.171	3.094	3.002	2.891	2.759	2.603	2.422	2.221	2.005	1.782	1.559	1.347
8.2	4.358	3.491	3.467	3.440	3.411	3.377	3.338	3.292	3.240	3.177	3.103	3.013	2.906	2.777	2.625	2.449	2.252	2.040	1.818	1.596	1.382
8.4	4.365	3.492	3.468	3.442	3.412	3.379	3.340	3.296	3.244	3.183	3.111	3.023	2.919	2.794	2.646	2.475	2.282	2.073	1.854	1.632	1.418
8.6	4.371	3.492	3.469	3.443	3.414	3.381	3.343	3.300	3.249	3.189	3.118	3.033	2.932	2.810	2.666	2.499	2.310	2.104	1.888	1.667	1.452
8.8	4.377	3.493	3.470	3.444	3.416	3.383	3.346	3.303	3.253	3.195	3.125	3.042	2.943	2.825	2.685	2.522	2.337	2.135	1.921	1.702	1.486
9.0	4.382	3.494	3.471	3.445	3.417	3.385	3.348	3.306	3.257	3.200	3.132	3.051	2.955	2.839	2.703	2.544	2.363	2.164	1.953	1.736	1.520
9.2	4.388	3.495	3.472	3.447	3.418	3.387	3.351	3.309	3.261	3.205	3.138	3.059	2.965	2.853	2.720	2.565	2.388	2.192	1.984	1.768	1.553
9.4	4.393	3.495	3.473	3.448	3.420	3.388	3.353	3.312	3.265	3.209	3.144	3.067	2.975	2.866	2.736	2.585	2.411	2.219	2.014	1.800	1.586
9.6	4.398	3.496	3.473	3.449	3.421	3.390	3.355	3.315	3.268	3.214	3.150	3.075	2.985	2.878	2.752	2.604	2.434	2.245	2.042	1.831	1.617
9.8	4.403	3.496	3.474	3.450	3.422	3.392	3.357	3.317	3.272	3.218	3.156	3.082	2.994	2.890	2.766	2.622	2.456	2.271	2.070	1.861	1.648
10.0	4.408	3.497	3.475	3.451	3.424	3.393	3.359	3.320	3.275	3.222	3.161	3.088	3.003	2.901	2.780	2.639	2.476	2.295	2.097	1.890	1.679
10.2					3.425	3.395	3.361	3.322	3.278	3.226	3.166	3.095	3.011	2.911	2.793	2.655	2.496	2.318	2.123	1.918	1.708
10.4						3.396	3.363	3.325	3.281	3.230	3.171	3.101	3.019	2.921	2.806	2.671	2.515	2.340	2.148	1.945	1.737
10.6							3.364	3.327	3.283	3.233	3.175	3.107	3.026	2.930	2.818	2.686	2.533	2.361	2.172	1.972	1.765
10.8								3.329	3.286	3.237	3.179	3.112	3.033	2.940	2.829	2.700	2.551	2.382	2.196	1.998	1.793
11.0									3.289	3.240	3.184	3.118	3.040	2.948	2.840	2.714	2.567	2.401	2.218	2.023	1.819
11.2										3.243	3.188	3.123	3.046	2.956	2.851	2.727	2.583	2.420	2.240	2.047	1.845
11.4											3.191	3.128	3.053	2.964	2.861	2.739	2.598	2.438	2.261	2.070	1.870
11.6											3.195	3.132	3.058	2.972	2.870	2.751	2.613	2.456	2.281	2.093	1.895
11.8												3.137	3.064	2.979	2.879	2.762	2.627	2.473	2.301	2.115	1.919
12.0												3.141	3.070	2.986	2.888	2.773	2.641	2.489	2.320	2.136	1.942
12.2													3.075	2.993	2.896	2.784	2.653	2.505	2.338	2.157	1.965
Sesgo	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0

Anexo 5

Curvas de Pearson Tabla 1b

Ps' (Percentil 99.865) para Sesgo ≥ 0. Pi' (Percentil 0.135) para Sesgo < 0.

Curtosis	Sesgo																				
	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0
-1.4	1.512	1.584	1.632	1.655	1.653	1.626	1.579	1.516													
-1.2	1.727	1.813	1.871	1.899	1.895	1.861	1.803	1.726	1.636												
-1.0	1.966	2.065	2.134	2.170	2.169	2.131	2.061	1.966	1.856												
-0.8	2.210	2.320	2.400	2.446	2.454	2.422	2.349	2.241	2.108	1.965	1.822										
-0.6	2.442	2.560	2.648	2.704	2.726	2.708	2.646	2.540	2.395	2.225	2.052	1.885									
-0.4	2.653	2.774	2.869	2.934	2.969	2.968	2.926	2.837	2.699	2.518	2.314	2.114	1.928								
-0.2	2.839	2.961	3.060	3.133	3.179	3.194	3.173	3.109	2.993	2.824	2.608	2.373	2.152	1.952							
0.0	3.000	3.123	3.224	3.303	3.358	3.387	3.385	3.345	3.259	3.116	2.914	2.665	2.405	2.169	1.960						
0.2	3.140	3.261	3.364	3.447	3.510	3.550	3.564	3.546	3.488	3.378	3.206	2.970	2.690	2.412	2.167						
0.4	3.261	3.381	3.484	3.570	3.639	3.688	3.715	3.715	3.681	3.603	3.468	3.264	2.993	2.687	2.398	2.149					
0.6	3.366	3.485	3.588	3.676	3.749	3.805	3.843	3.858	3.844	3.793	3.693	3.529	3.290	2.984	2.658	2.366	2.119				
0.8	3.458	3.575	3.678	3.768	3.844	3.905	3.951	3.978	3.961	3.953	3.883	3.758	3.561	3.283	2.945	2.609	2.322				
1.0	3.539	3.654	3.757	3.847	3.926	3.991	4.044	4.080	4.096	4.087	4.043	3.952	3.797	3.561	3.243	2.881	2.547	2.269			
1.2	3.611	3.724	3.826	3.917	3.997	4.066	4.124	4.167	4.194	4.208	4.177	4.115	3.998	3.808	3.529	3.172	2.798	2.476			
1.4	3.674	3.786	3.887	3.978	4.060	4.131	4.193	4.243	4.278	4.296	4.290	4.252	4.168	4.020	3.789	3.463	3.075	2.705	2.399		
1.6	3.731	3.842	3.942	4.033	4.113	4.180	4.251	4.308	4.351	4.378	4.386	4.367	4.311	4.200	4.015	3.736	3.364	2.961	2.600		
1.8	3.782	3.891	3.990	4.081	4.164	4.239	4.307	4.365	4.414	4.449	4.468	4.472	4.431	4.352	4.209	3.979	3.646	3.238	2.840	2.511	
2.0	3.828	3.936	4.034	4.125	4.208	4.285	4.354	4.416	4.468	4.511	4.539	4.549	4.532	4.479	4.372	4.189	3.907	3.522	3.095	2.719	
2.2	3.870	3.976	4.073	4.164	4.248	4.325	4.396	4.460	4.517	4.564	4.600	4.620	4.619	4.587	4.510	4.369	4.137	3.796	3.370	2.949	2.603
2.4	3.908	4.013	4.109	4.199	4.283	4.361	4.433	4.500	4.559	4.611	4.653	4.682	4.693	4.678	4.627	4.521	4.336	4.047	3.648	3.201	2.808
2.6	3.943	4.046	4.142	4.231	4.315	4.394	4.467	4.535	4.597	4.653	4.700	4.736	4.757	4.756	4.725	4.649	4.506	4.269	3.916	3.471	3.033
2.8	3.975	4.077	4.172	4.261	4.344	4.423	4.498	4.567	4.631	4.690	4.741	4.783	4.812	4.824	4.809	4.758	4.650	4.460	4.160	3.745	3.280
3.0	4.004	4.105	4.199	4.287	4.371	4.450	4.525	4.596	4.662	4.723	4.777	4.824	4.860	4.882	4.881	4.850	4.771	4.623	4.376	4.007	3.544
3.2	4.031	4.131	4.224	4.312	4.396	4.475	4.550	4.622	4.689	4.752	4.810	4.861	4.903	4.932	4.944	4.929	4.875	4.762	4.563	4.247	3.813
3.4	4.056	4.155	4.247	4.335	4.418	4.498	4.573	4.645	4.714	4.779	4.839	4.893	4.940	4.976	4.997	4.996	4.963	4.880	4.723	4.461	4.072
3.6	4.079	4.177	4.269	4.356	4.439	4.518	4.594	4.667	4.737	4.803	4.865	4.922	4.973	5.015	5.044	5.055	5.038	4.980	4.859	4.647	4.311
3.8	4.101	4.197	4.288	4.375	4.458	4.537	4.614	4.687	4.757	4.825	4.888	4.948	5.002	5.049	5.085	5.106	5.103	5.066	4.976	4.806	4.524
4.0	4.121	4.217	4.307	4.393	4.476	4.555	4.631	4.705	4.776	4.845	4.910	4.972	5.029	5.080	5.122	5.150	5.159	5.139	5.075	4.943	4.712
4.2	4.140	4.234	4.324	4.410	4.492	4.571	4.648	4.722	4.794	4.863	4.929	4.993	5.052	5.107	5.153	5.189	5.208	5.202	5.159	5.059	4.873
4.4	4.157	4.251	4.340	4.425	4.508	4.587	4.663	4.737	4.809	4.879	4.947	5.012	5.074	5.131	5.181	5.223	5.250	5.257	5.232	5.159	5.012
4.6	4.174	4.267	4.355	4.440	4.522	4.601	4.677	4.752	4.824	4.895	4.963	5.029	5.093	5.152	5.207	5.253	5.288	5.305	5.295	5.244	5.131
4.8	4.189	4.281	4.369	4.454	4.535	4.614	4.691	4.765	4.838	4.909	4.978	5.045	5.110	5.172	5.229	5.280	5.321	5.346	5.349	5.318	5.233
5.0	4.204	4.295	4.383	4.467	4.548	4.627	4.703	4.778	4.851	4.922	4.992	5.060	5.126	5.190	5.249	5.303	5.350	5.383	5.396	5.381	5.320
5.2	4.218	4.308	4.395	4.479	4.560	4.638	4.715	4.789	4.862	4.934	5.004	5.073	5.141	5.206	5.267	5.325	5.376	5.415	5.427	5.436	5.395
5.4	4.231	4.321	4.407	4.490	4.571	4.649	4.725	4.800	4.873	4.945	5.016	5.086	5.154	5.220	5.284	5.344	5.399	5.443	5.474	5.483	5.460
5.6	4.243	4.332	4.418	4.501	4.581	4.659	4.736	4.810	4.884	4.956	5.027	5.097	5.166	5.233	5.299	5.361	5.418	5.468	5.505	5.525	5.516
5.8	4.255	4.343	4.429	4.511	4.591	4.669	4.745	4.820	4.893	4.966	5.037	5.108	5.177	5.246	5.312	5.376	5.436	5.491	5.533	5.561	5.565
6.0	4.266	4.354	4.439	4.521	4.600	4.678	4.754	4.829	4.902	4.975	5.046	5.117	5.188	5.257	5.325	5.390	5.452	5.511	5.558	5.593	5.608
6.2	4.276	4.364	4.448	4.530	4.609	4.695	4.763	4.837	4.911	4.983	5.055	5.126	5.197	5.267	5.336	5.403	5.467	5.529	5.581	5.621	5.645
6.4	4.286	4.373	4.457	4.538	4.618	4.703	4.771	4.845	4.919	4.991	5.063	5.135	5.206	5.276	5.346	5.414	5.480	5.542	5.600	5.646	5.678
6.6	4.296	4.382	4.466	4.547	4.626	4.710	4.778	4.853	4.926	4.999	5.071	5.143	5.214	5.285	5.356	5.425	5.492	5.557	5.618	5.669	5.706
6.8	4.305	4.391	4.474	4.554	4.633	4.717	4.785	4.860	4.933	5.006	5.078	5.150	5.222	5.293	5.364	5.434	5.503	5.569	5.634	5.688	5.732
7.0	4.313	4.399	4.481	4.562	4.640	4.724	4.792	4.867	4.940	5.013	5.085	5.157	5.229	5.301	5.372	5.443	5.513	5.581	5.648	5.706	5.754
7.2	4.322	4.406	4.489	4.569	4.647	4.730	4.799	4.873	4.946	5.019	5.091	5.164	5.236	5.308	5.380	5.451	5.522	5.591	5.658	5.722	5.775
7.4	4.330	4.414	4.496	4.576	4.654	4.736	4.805	4.879	4.952	5.025	5.097	5.170	5.242	5.314	5.387	5.459	5.530	5.601	5.669	5.736	5.792
7.6	4.337	4.421	4.503	4.582	4.660	4.742	4.811	4.885	4.958	5.031	5.103	5.175	5.248	5.320	5.393	5.466	5.538	5.609	5.679	5.749	5.808
7.8	4.344	4.428	4.509	4.588	4.666	4.747	4.817	4.890	4.963	5.036	5.109	5.181	5.253	5.326	5.399	5.472	5.545	5.617	5.688	5.760	5.823
8.0	4.351	4.434	4.515	4.594	4.672	4.753	4.822	4.896	4.969	5.041	5.114	5.186	5.259	5.331	5.404	5.478	5.551	5.624	5.696	5.771	5.836
8.2	4.358	4.441	4.521	4.600	4.677	4.758	4.827	4.901	4.974	5.046	5.118	5.191	5.263	5.336	5.410	5.483	5.557	5.631	5.704	5.775	5.847
8.4	4.365	4.447	4.527	4.605	4.682	4.762	4.832	4.905	4.978	5.051	5.123	5.195	5.268	5.341	5.414	5.488	5.562	5.637	5.710	5.783	5.858
8.6	4.371	4.452	4.532	4.611	4.687	4.767	4.837	4.910	4.983	5.055	5.127	5.200	5.272	5.345	5.419	5.493	5.567	5.642	5.717	5.790	5.867
8.8	4.377	4.458	4.538	4.616	4.692	4.772	4.841	4.914	4.987	5.059	5.132	5.204	5.276	5.349	5.423	5.497	5.572	5.647	5.722	5.797	5.875
9.0	4.382	4.463	4.543	4.621	4.697	4.776	4.845	4.918	4.991	5.063	5.135	5.208	5.280	5.353	5.427	5.501	5.576	5.652	5.727	5.803	5.883
9.2	4.388	4.468	4.548	4.625	4.701	4.780	4.850	4.923	4.995	5.067	5.139	5.211	5.284	5.357	5.431	5.505	5.580	5.656	5.732	5.808	5.883
9.4	4.393	4.473	4.552	4.630	4.705	4.784	4.854	4.926	4.999	5.071	5.143	5.215	5.287	5.361	5.434	5.509	5.584	5.660	5.736	5.813	5.889
9.6	4.398	4.478	4.557	4.634	4.710	4.788	4.857	4.930	5.002	5.074	5.146	5.218	5.291	5.364	5.437	5.512	5.587	5.663	5.740	5.817	5.894
9.8	4.403	4.483	4.561	4.638	4.714	4.791	4.861	4.934	5.006	5.078	5.149	5.222	5.294	5.367	5.440	5.515	5.590	5.667	5.744	5.821	5.898
10.0	4.408	4.487	4.565	4.642	4.717	4.795	4.865	4.937	5.009	5.081	5.153	5.225	5.297	5.370	5.443	5.518	5.593	5.670	5.747	5.825	5.903
10.2					4.721	4.798	4.868	4.940	5.012	5.084	5.156	5.228	5.300	5.373	5.446	5.521	5.596	5.673	5.750	5.828	5.906
10.4							4.871	4.943	5.015	5.087	5.158	5.230	5.303	5.375	5.449	5.523	5.599	5.675	5.753	5.831	5.910
10.6							4.874	4.947	5.018	5.090	5.161	5.233	5.305	5.378	5.451	5.526	5.601	5.678	5.755	5.834	5.913
10.8								4.949	5.021	5.092	5.164	5.236	5.308	5.380	5.454	5.528	5.603	5.680	5.757	5.836	5.915
11.0									5.024	5.095	5.166	5.238	5.310	5.383	5.456	5.530	5.605	5.682	5.760	5.838	5.918
11.2										5.098	5.169	5.240	5.312	5.385	5.458	5.532	5.607	5.684	5.762	5.840	5.920
11.4											5.171	5.243	5.314	5.387	5.460	5.534	5.609	5.686	5.763	5.842	5.922
11.6											5.173	5.245	5.316	5.389	5.462	5.536	5.611	5.687	5.765	5.844	5.924
11.8												5.247	5.318	5.391	5.464	5.538	5.613	5.689	5.767	5.845	5.925
12.0												5.249	5.320	5.393	5.465	5.539	5.614	5.690	5.768	5.847	5.927
12.2													5.322	5.394	5.467	5.541	5.616	5.692	5.769	5.848	5.928
Sesgo	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0

Anexo 6

Curvas de Pearson Tabla 2

M' (Percentil 50). Cambie el signo para Sesgo ≥ 0.

Curtosis	Sesgo																				
	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0
-1.4	0.000	0.053	0.111	0.184	0.282	0.424	0.627	0.754													
-1.2	0.000	0.039	0.082	0.132	0.196	0.284	0.412	0.591	0.727												
-1.0	0.000	0.031	0.065	0.103	0.151	0.212	0.297	0.419	0.586												
-0.8	0.000	0.026	0.054	0.085	0.123	0.169	0.231	0.317	0.439	0.598	0.681										
-0.6	0.000	0.023	0.047	0.073	0.104	0.142	0.190	0.254	0.343	0.468	0.616	0.653									
-0.4	0.000	0.020	0.041	0.064	0.091	0.122	0.161	0.212	0.280	0.375	0.504	0.633	0.616								
-0.2	0.000	0.018	0.037	0.058	0.081	0.108	0.141	0.183	0.237	0.311	0.413	0.542	0.638	0.574							
0.0	0.000	0.017	0.034	0.053	0.073	0.097	0.126	0.161	0.206	0.266	0.347	0.456	0.579	0.621	0.531						
0.2	0.000	0.015	0.032	0.049	0.068	0.089	0.114	0.145	0.183	0.233	0.299	0.388	0.501	0.605	0.582						
0.4	0.000	0.014	0.029	0.045	0.063	0.082	0.105	0.132	0.165	0.208	0.263	0.336	0.433	0.545	0.607	0.536					
0.6	0.000	0.013	0.028	0.043	0.059	0.077	0.097	0.122	0.151	0.188	0.235	0.297	0.379	0.481	0.579	0.579	0.489				
0.8	0.000	0.013	0.026	0.040	0.055	0.072	0.091	0.113	0.140	0.172	0.213	0.266	0.336	0.425	0.527	0.590	0.533				
1.0	0.000	0.012	0.025	0.038	0.053	0.068	0.086	0.106	0.130	0.159	0.196	0.242	0.301	0.379	0.474	0.563	0.569	0.484			
1.2	0.000	0.011	0.024	0.036	0.050	0.065	0.082	0.100	0.122	0.148	0.181	0.222	0.274	0.341	0.426	0.520	0.576	0.524			
1.4	0.000	0.011	0.023	0.035	0.048	0.062	0.078	0.095	0.116	0.140	0.169	0.206	0.252	0.310	0.385	0.474	0.554	0.555	0.475		
1.6	0.000	0.010	0.022	0.034	0.046	0.060	0.074	0.091	0.110	0.132	0.159	0.192	0.233	0.285	0.351	0.432	0.518	0.564	0.510		
1.8	0.000	0.010	0.021	0.032	0.044	0.057	0.072	0.087	0.105	0.126	0.151	0.180	0.217	0.264	0.323	0.396	0.480	0.549	0.540	0.461	
2.0	0.000	0.009	0.020	0.031	0.043	0.055	0.069	0.084	0.101	0.120	0.143	0.171	0.204	0.246	0.299	0.365	0.443	0.521	0.552	0.494	
2.2	0.000	0.009	0.020	0.030	0.042	0.054	0.067	0.081	0.097	0.115	0.137	0.162	0.193	0.231	0.279	0.338	0.410	0.488	0.544	0.522	0.445
2.4	0.000	0.009	0.019	0.029	0.040	0.052	0.065	0.078	0.094	0.111	0.131	0.155	0.183	0.218	0.261	0.315	0.381	0.456	0.524	0.538	0.475
2.6	0.000	0.008	0.018	0.029	0.039	0.051	0.063	0.076	0.091	0.107	0.126	0.148	0.175	0.207	0.246	0.295	0.355	0.426	0.498	0.539	0.503
2.8	0.000	0.008	0.018	0.028	0.038	0.049	0.061	0.074	0.089	0.104	0.122	0.143	0.167	0.197	0.233	0.278	0.333	0.398	0.470	0.526	0.522
3.0	0.000	0.008	0.017	0.027	0.037	0.048	0.059	0.072	0.085	0.101	0.118	0.138	0.161	0.189	0.222	0.263	0.313	0.374	0.443	0.506	0.530
3.2	0.000	0.008	0.017	0.027	0.037	0.047	0.058	0.070	0.083	0.098	0.114	0.133	0.155	0.181	0.212	0.250	0.296	0.352	0.417	0.483	0.525
3.4	0.000	0.008	0.017	0.026	0.036	0.046	0.057	0.068	0.081	0.095	0.111	0.129	0.150	0.174	0.203	0.239	0.281	0.333	0.394	0.460	0.513
3.6	0.000	0.007	0.016	0.025	0.035	0.045	0.056	0.067	0.079	0.093	0.108	0.125	0.145	0.168	0.196	0.228	0.268	0.316	0.373	0.437	0.495
3.8	0.000	0.007	0.016	0.025	0.034	0.044	0.054	0.066	0.078	0.091	0.105	0.122	0.141	0.163	0.188	0.219	0.256	0.301	0.354	0.415	0.475
4.0	0.000	0.007	0.015	0.025	0.034	0.043	0.053	0.064	0.076	0.089	0.103	0.119	0.137	0.158	0.182	0.211	0.246	0.288	0.337	0.395	0.455
4.2	0.000	0.007	0.015	0.024	0.033	0.043	0.053	0.063	0.075	0.087	0.101	0.116	0.133	0.153	0.176	0.204	0.236	0.276	0.322	0.376	0.435
4.4	0.000	0.007	0.015	0.024	0.033	0.042	0.052	0.062	0.073	0.085	0.099	0.113	0.130	0.149	0.171	0.197	0.228	0.265	0.308	0.359	0.416
4.6	0.000	0.007	0.015	0.023	0.032	0.041	0.051	0.061	0.072	0.084	0.097	0.111	0.127	0.145	0.167	0.191	0.220	0.255	0.296	0.344	0.399
4.8	0.000	0.006	0.015	0.023	0.032	0.041	0.050	0.060	0.071	0.082	0.095	0.109	0.124	0.142	0.162	0.186	0.213	0.246	0.285	0.330	0.382
5.0	0.000	0.006	0.014	0.023	0.031	0.040	0.049	0.059	0.070	0.081	0.093	0.107	0.122	0.139	0.158	0.181	0.207	0.238	0.274	0.317	0.367
5.2	0.000	0.006	0.014	0.022	0.031	0.040	0.049	0.058	0.069	0.080	0.092	0.105	0.119	0.136	0.155	0.176	0.201	0.231	0.265	0.306	0.353
5.4	0.000	0.006	0.014	0.022	0.030	0.039	0.048	0.057	0.068	0.078	0.090	0.103	0.117	0.133	0.151	0.172	0.196	0.224	0.257	0.295	0.340
5.6	0.000	0.006	0.014	0.022	0.030	0.039	0.047	0.057	0.067	0.077	0.089	0.101	0.115	0.131	0.148	0.168	0.191	0.218	0.249	0.285	0.328
5.8	0.000	0.006	0.014	0.022	0.030	0.038	0.047	0.056	0.066	0.076	0.087	0.100	0.113	0.128	0.145	0.164	0.186	0.212	0.242	0.277	0.317
6.0	0.000	0.006	0.014	0.021	0.029	0.038	0.046	0.055	0.065	0.075	0.086	0.098	0.111	0.126	0.142	0.161	0.182	0.207	0.235	0.268	0.307
6.2	0.000	0.006	0.013	0.021	0.029	0.037	0.046	0.055	0.064	0.074	0.085	0.097	0.110	0.124	0.140	0.158	0.178	0.202	0.229	0.261	0.298
6.4	0.000	0.006	0.013	0.021	0.029	0.037	0.045	0.054	0.063	0.073	0.084	0.096	0.108	0.122	0.137	0.155	0.175	0.197	0.223	0.254	0.289
6.6	0.000	0.006	0.013	0.021	0.028	0.037	0.045	0.054	0.063	0.073	0.083	0.094	0.107	0.120	0.135	0.152	0.171	0.193	0.218	0.247	0.281
6.8	0.000	0.006	0.013	0.021	0.028	0.036	0.044	0.053	0.062	0.072	0.082	0.093	0.105	0.118	0.133	0.150	0.168	0.189	0.213	0.241	0.273
7.0	0.000	0.005	0.013	0.020	0.028	0.036	0.044	0.053	0.061	0.071	0.081	0.092	0.104	0.117	0.131	0.147	0.165	0.185	0.209	0.236	0.267
7.2	0.000	0.005	0.013	0.020	0.028	0.036	0.044	0.052	0.061	0.070	0.080	0.091	0.103	0.115	0.129	0.145	0.162	0.182	0.205	0.230	0.260
7.4	0.000	0.005	0.013	0.020	0.027	0.035	0.043	0.052	0.060	0.070	0.079	0.090	0.101	0.114	0.128	0.143	0.160	0.179	0.201	0.226	0.254
7.6	0.000	0.005	0.012	0.020	0.027	0.035	0.043	0.051	0.060	0.069	0.079	0.089	0.100	0.113	0.126	0.141	0.157	0.176	0.197	0.221	0.249
7.8	0.000	0.005	0.012	0.020	0.027	0.035	0.043	0.051	0.059	0.068	0.078	0.088	0.099	0.111	0.124	0.139	0.155	0.173	0.193	0.217	0.243
8.0	0.000	0.005	0.012	0.019	0.027	0.034	0.042	0.050	0.059	0.068	0.077	0.087	0.098	0.110	0.123	0.137	0.153	0.170	0.190	0.213	0.238
8.2	0.000	0.005	0.012	0.019	0.027	0.034	0.042	0.050	0.058	0.067	0.076	0.086	0.097	0.109	0.121	0.135	0.151	0.168	0.187	0.209	0.234
8.4	0.000	0.005	0.012	0.019	0.026	0.034	0.042	0.050	0.058	0.067	0.076	0.086	0.096	0.108	0.120	0.134	0.149	0.165	0.184	0.205	0.229
8.6	0.000	0.005	0.012	0.019	0.026	0.034	0.041	0.049	0.057	0.066	0.075	0.085	0.095	0.107	0.119	0.132	0.147	0.163	0.181	0.202	0.225
8.8	0.000	0.005	0.012	0.019	0.026	0.033	0.041	0.049	0.057	0.066	0.075	0.084	0.094	0.106	0.118	0.131	0.145	0.161	0.179	0.199	0.221
9.0	0.000	0.005	0.012	0.019	0.026	0.033	0.041	0.049	0.057	0.065	0.074	0.084	0.094	0.105	0.116	0.129	0.143	0.159	0.176	0.196	0.218
9.2	0.000	0.005	0.012	0.019	0.026	0.033	0.040	0.048	0.056	0.065	0.073	0.083	0.093	0.104	0.115	0.128	0.142	0.157	0.174	0.193	0.214
9.4	0.000	0.005	0.012	0.019	0.026	0.033	0.040	0.048	0.056	0.064	0.073	0.082	0.092	0.103	0.114	0.127	0.140	0.155	0.172	0.190	0.211
9.6	0.000	0.005	0.012	0.019	0.025	0.033	0.040	0.048	0.055	0.064	0.072	0.082	0.091	0.102	0.113	0.125	0.139	0.153	0.170	0.188	0.208
9.8	0.000	0.005	0.012	0.018	0.025	0.032	0.040	0.047	0.055	0.063	0.072	0.081	0.091	0.101	0.112	0.124	0.137	0.152	0.168	0.185	0.205
10.0	0.000	0.005	0.011	0.018	0.025	0.032	0.040	0.047	0.055	0.063	0.071	0.080	0.090	0.100	0.111	0.123	0.136	0.150	0.166	0.183	0.202
10.2	0.000					0.032	0.039	0.047	0.054	0.063	0.071	0.080	0.089	0.099	0110	0.122	0.135	0.149	0.164	0.181	0.200
10.4	0.000					0.032	0.039	0.047	0.054	0.062	0.071	0.079	0.089	0.099	0.109	0.121	0.133	0.147	0.162	0.179	0.197
10.6	0.000						0.039	0.046	0.054	0.062	0.070	0.079	0.088	0.098	0.109	0.120	0.132	0.146	0.160	0.177	0.195
10.8	0.000							0.046	0.054	0.061	0.070	0.078	0.088	0.097	0.108	0.119	0.131	0.144	0.159	0.175	0.192
11.0	0.000								0.053	0.061	0.069	0.078	0.087	0.097	0.107	0.118	0.130	0.143	0.157	0.173	0.190
11.2	0.000									0.061	0.069	0.078	0.087	0.096	0.106	0.117	0.129	0.142	0.156	0.171	0.188
11.4	0.000										0.069	0.077	0.086	0.095	0.105	0.116	0.128	0.141	0.154	0.169	0.186
11.6	0.000										0.068	0.077	0.086	0.095	0.104	0.116	0.127	0.139	0.153	0.168	0.184
11.8	0.000											0.076	0.085	0.094	0.104	0.115	0.126	0.138	0.152	0.166	0.182
12.0	0.000											0.076	0.085	0.094	0.104	0.114	0.125	0.137	0.150	0.165	0.181
12.2	0.000												0.084	0.093	0.103	0.113	0.124	0.136	0.149	0.163	0.179
Sesgo	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0

Anexo 7

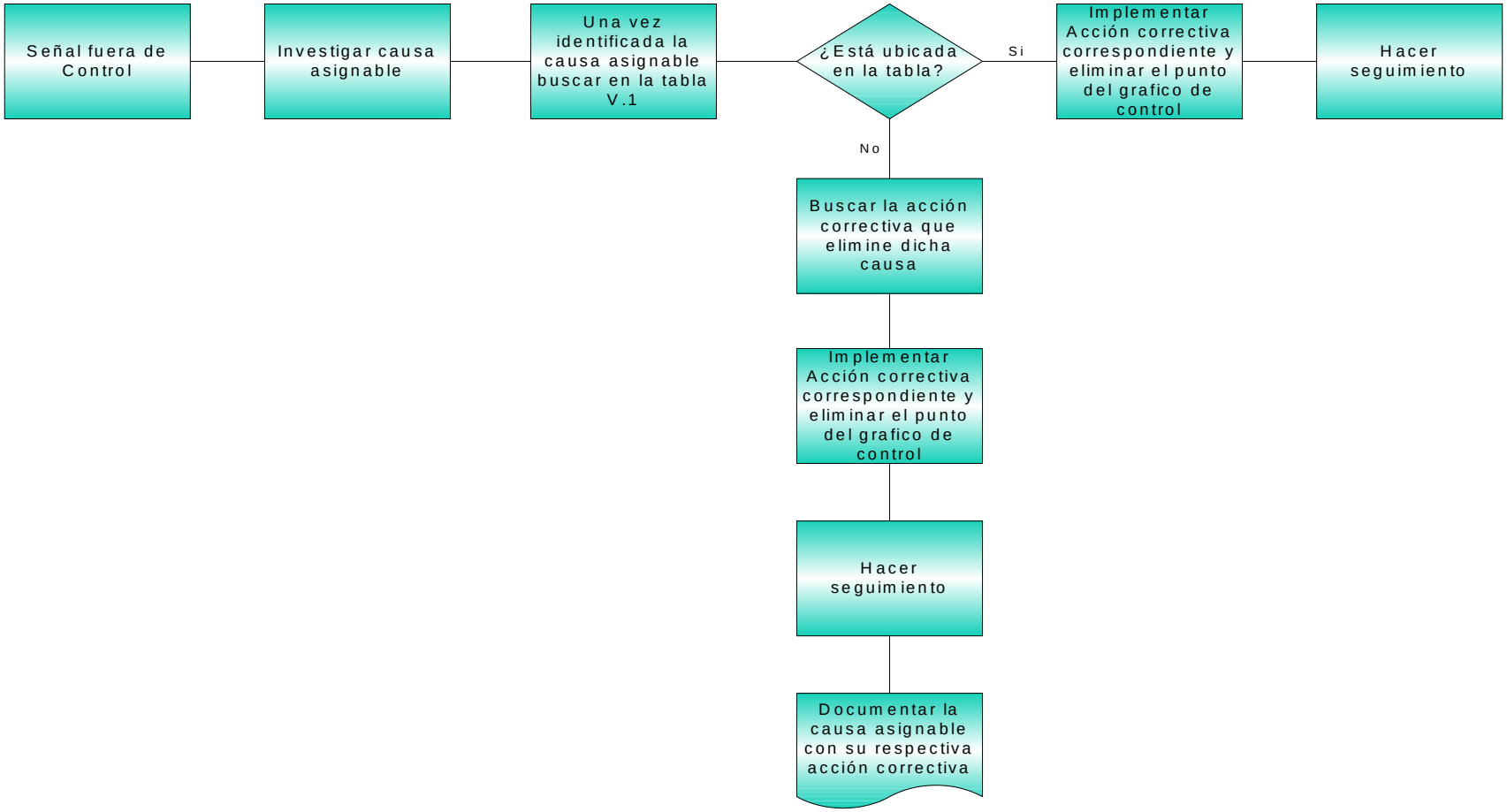



Diagrama de flujo para la ocurrencia de causas asignables.