



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica

**CONTROL DE VARIABLES MECÁNICAS CRÍTICAS EN EL PROCESO DE
ROTOMOLDEO DE PRODUCTOS DE POLIETILENO**

José Ernesto Siliézar Zea

Asesorado por el Ing. Esdras Feliciano Miranda Orozco

Guatemala, octubre de 2009

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**CONTROL DE VARIABLES MECÁNICAS CRÍTICAS EN EL PROCESO DE
ROTOMOLDEO DE PRODUCTOS DE POLIETILENO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

JOSÉ ERNESTO SILIEZAR ZEA

ASESORADO POR EL ING. ESDRAS FELICIANO MIRANDA OROZCO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2009

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Inga. Glenda Patricia García Soria
VOCAL II	Inga. Alba Maritza Guerrero de López
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. José Milton De León Bran
VOCAL V	Br. Isaac Sultán Mejía
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez
EXAMINADOR	Ing. Carlos Humberto Figueroa Vasquez
EXAMINADOR	Ing. Sergio Torres Hernández
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

CONTROL DE VARIABLES MECÁNICAS CRÍTICAS EN EL PROCESO DE ROTOMOLDEO DE PRODUCTOS DE POLIETILENO,

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica, con fecha septiembre 2007.

A handwritten signature in black ink, consisting of several loops and a long horizontal stroke extending to the right.

José Ernesto Siliezar Zea

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA**



**FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA**

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, después de conocer el dictamen del asesor, con la aprobación del Coordinador del Área Complementaria, al Trabajo de Graduación titulado **CONTROL DE VARIABLES MECÁNICAS CRÍTICAS EN EL PROCESO DE ROTOMOLDEO DE PRODUCTOS DE POLIETILENO**, del estudiante José Ernesto Siliézar Zea, procede a la autorización del mismo.

ID Y ENSEÑAD A TODOS


Ing. Julio César Campos Paiz
DIRECTOR



Guatemala, octubre de 2009

JCCP/behdei

Guatemala, 02 de Septiembre 2009

Ingeniero Julio Cesar Campos
Director de Escuela de Ingeniería Mecánica
Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Presente,

De la manera más atenta me dirijo a usted para informarle que he asesorado el trabajo de graduación de **Jose Ernesto Siliezar Zea**, titulado **“Control de variables mecánicas críticas en el proceso de rotomoldeo de productos de polietileno”**.

Después de leer y analizar los conceptos expuestos en este trabajo, y estando satisfecho en mi calidad de asesor, me permito someterla a su consideración.

Sin otro particular, me suscribo de usted,

Atentamente,



Ing. Esdras Feliciano Miranda Orozco

Ing. Esdras Miranda Orozco
COLEGIADO 4637

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA**



**FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA**

El Coordinador del Área Complementaria de Ingeniería de la Escuela de Ingeniería Mecánica, luego de conocer el dictamen del Asesor y habiendo revisado en su totalidad el trabajo de graduación titulado CONTROL DE VARIABLES MECÁNICAS CRÍTICAS EN EL PROCESO DE ROTOMOLDEO DE PRODUCTOS DE POLIETILENO, del estudiante José Ernesto Silézar Zea, recomienda su aprobación.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Carlos Humberto Pérez Rodríguez
INGENIERO MECÁNICO INDUSTRIAL
Colegiado 3071

Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez
Coordinador de Área

Guatemala, septiembre de 2009 .

/behdei



El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, al trabajo de graduación titulado: **CONTROL DE VARIABLES MECÁNICAS CRÍTICAS EN EL PROCESO DE ROTOMOLDEO DE PRODUCTOS DE POLIETILENO,,** presentado por el estudiante universitario **José Ernesto Siliezar Zea,** procede a la autorización para la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Una firma manuscrita que parece ser "Murphy", escrita en tinta negra sobre un fondo blanco. La firma es fluida y se extiende horizontalmente a la derecha.

Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
DECANO

Guatemala, octubre de 2009



/cc

DEDICATORIA A:

Dios

 Mi padre celestial, Todopoderoso y eterno, por otorgarme tanta bendición. A ti toda la honra y la gloria.

Aida, Abril y Montserrat

 Por ser la razón de mi vida.

Mis padres

 Hermogenes y Lotty, por todo su amor y ayuda incondicional.

Mis Suegros

 Marco Tulio e Irma, por su cariño y ánimo para alcanzar la meta.

Mis hermanos

 Evelyn y Javier, por su cariño.

Toda mi familia

 Por su apoyo en todo momento.

Mis amigos

 Por estar siempre presentes.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	VII
RESUMEN	IX
OBJETIVOS	XI
INTRODUCCIÓN	XIII
1. DESCRIPCIÓN BÁSICA DE UNA PLANTA	
 ROTOMOLDEADORA DE PRODUCTOS DE POLIETILENO.	1
1.1. Generalidades de la planta de rotomoldeo de productos de polietileno	1
1.1.1. Antecedentes históricos del mercado de polietileno	1
1.1.2. Descripción del proceso productivo de rotomoldeo	3
1.1.2.1. Estaciones de trabajo	4
1.1.2.1.1. Estación de mezcla	4
1.1.2.1.2. Estación de horneado	5
1.1.2.1.3. Estación de enfriado	5
1.1.2.1.4. Estación de descarga	5
1.1.2.2. Materias primas	7
1.1.2.2.1. Polietileno	8
1.1.2.2.2. Cloruro de polivinilo (PVC)	9
1.1.2.2.3. Polipropileno (PP)	10
1.1.2.2.4. Poliamida (PA)	11
1.1.2.2.5. Policarbonato (PC)	12
1.1.2.3. Maquinaria	13
1.1.2.3.1. Tipos de maquinaria de rotomoldeo	14
1.1.3. Calentamiento del plástico	15

1.1.4. Relaciones entre rotaciones biaxiales	19
1.1.5. Desmoldantes	22
1.1.5.1. Tipos de desmoldantes	23
1.1.5.2. Desmoldantes interno	23
1.1.5.3. Desmoldantes externos	24
1.1.5.4. Desmoldantes no permanentes	25
1.1.5.5. Desmoldantes semipermanentes	25
1.1.5.6. Ventajas del uso de desmoldante	26
1.1.6. Tipos de moldes de rotomoldeo	26
1.1.6.1. Ventilación de molde	27
1.1.6.2. Cierre de molde	28
1.1.6.3. Balanceo de molde	28
1.1.6.4. Consideraciones de enfriado de molde	29
1.1.7. Problemas más comunes en producto terminado de rotomoldeo	31
1.1.8. Diagrama de flujo del proceso productivo de rotomoldeo	32
1.2. Organigrama de una planta rotomoldeadora	34
1.3. Productos generados y genéricos de rotomoldeo	34
1.3.1. Productos	34
1.3.2. Subproductos	36
1.4. Tipos de clientes	36
2. CONCEPTOS GENERALES DE HERRAMIENTAS DE CONTROL VARIABLES CRÍTICAS.	37
2.1. Gráficos de control por variables	37
2.1.1. Tipos de gráficos de control	63
2.1.1.1. Gráfica de promedios (X)	63
2.1.1.2. Gráfica de rangos (R)	66
2.1.1.3. Gráfica de medias individuales	67
2.1.2. Factores que influyen al control de la calidad	68

2.1.3. Causas variables más comunes al azar	73
2.1.4. Variación de vida a causa de condiciones especiales	74
2.1.5. Límites de control del proceso	75
2.1.6. Ventajas del uso adecuado de control estadístico por variables	84
2.1.7. Beneficios del uso adecuado del control estadístico por variables	84
2.1.8. Barreras de implementación del control estadístico por variables	85

3. ESTUDIO SITUACIONAL DE LA ESTACIÓN

DE HORNEADO DEL ÁREA DE PRODUCCIÓN DE UNA PLANTA DE ROTOMOLDEO DE PRODUCTOS DE POLIETILENO.	87
3.1. Descripción del área de horneado de la producción de rotomoldeo	87
3.2. Medios de producción	88
3.2.1. Equipo de producción	88
3.2.2. Maquinaria	89
3.2.2.1. Máquina con riel o <i>Shuttle machine</i>	89
3.2.2.2. Horno	90
3.2.2.3. Carros de rotación biaxial	91
3.2.2.3.1. Mecanismo de rotación del molde	91
3.2.2.3.2. Mecanismo de rotación del carro	91
3.2.3. Equipo de producción secundario	91
3.2.4. Operaciones secundarias en el proceso de rotomoldeo	92
3.2.4.1. Maquinado y corte	93
3.2.4.2. Acabados de rotomoldeo	94
3.3. Cuadro de análisis comparativo de falla de carros de rotomoldeo	95
3.4. Incidencia de fallas mecánicas en el proceso productivo	95

3.4.1. Definición de variables críticas en la producción de rotomoldeo	97
3.4.2. Registro de variables críticas mecánicas de los carros	98
3.5. Análisis del mantenimiento actual de los carros de rotomoldeo	99
3.5.1. Programa de mantenimiento	99
3.5.2. Mantenimientos correctivos	100
3.5.3. Mantenimiento preventivos	100
3.5.4. Generación de argumentos basados en análisis anterior	101

4. DISEÑO Y LOGÍSTICA DEL SISTEMA DE MEJORA Y CONTROL DE VARIABLES CRÍTICAS DE LOS CARROS DE ROTOMOLDEO.

4.1. Organización y delegación de las funciones de control estadístico	103
4.1.1. Asignación de funciones para un control de calidad	103
4.1.2. Definición de políticas de calidad	104
4.1.3. Actividades del Jefe de producción del área de rotomoldeo	105
4.1.4. Actividades del Supervisor de producción del área de rotomoldeo	106
4.1.5. Actividades del mecánico de producción	107
4.2. Pasos para la implementación del control estadístico de las variables críticas mecánicas de los carros de rotomoldeo	107
4.2.1. Definición de variables mecánicas a controla	107
4.2.2. Estudios de capacidad de carros de rotomoldeo	108
4.2.2.1. Aplicación de control sobre el mecanismo de carros	108
4.2.2.2. Como analizar los datos recolectados	109
4.2.2.3. Como analizar las fuentes de variación o descalibre de piezas de los carros de Rotomoldeo	109

4.3. Requerimientos para la implementación del control estadístico de variables	110
4.3.1. Capacitación como herramienta de prevención	110
4.3.1.1. Programa de capacitación a operadores de manejo de carros	111
4.3.1.2. Programa de capacitación a operadores de mantenimientos preactivos a carros de rotomoldeo	111
4.3.2. Herramental básico para el mantenimiento óptimo de los carros de rotomoldeo.	111
4.3.3. Gestión de apoyo gerencial	112
4.4. Diseño del sistema de control de calidad de las variables mecánicas críticas de los carros de rotomoldeo	112
4.5. Costo de implementación y operación	118
5. PROGRAMA PILOTO DEL SISTEMA DE CONTROL DE VARIABLES CRÍTICAS EN EL PROCESO DE ROTOMOLDEO DE LOS CARROS DE PRODUCCIÓN.	121
5.1. Control y seguimiento de programas de mantenimiento	121
5.1.1. Cuadro de verificación de actividades o <i>check list</i>	121
5.1.2. Diagrama de seguimiento de programa de mantenimiento	122
5.1.3. Costos de repuestos	123
5.1.4. Análisis de implementación de programa de mantenimiento proactivo.	124
5.2. Control de variables críticas mecánicas pre-definidas	124
5.3. Metodología del plan piloto del sistema de control estadístico	124
5.3.1. Pruebas por realizar	125
5.3.2. Recolección de datos	126
5.3.3. Planteamiento de hipótesis	126
5.3.4. Resultados experimentales	128

5.4. Análisis de resultados experimentales de variables controladas	146
5.5. Desarrollo de estrategia de retroalimentación de sistema	
Desarrollado	149
5.5.1. Barreras generadas por implementación de sistema desarrollado	151
CONCLUSIONES	153
RECOMENDACIONES	155
BIBLIOGRAFÍA	157
APÉNDICE	159
ANEXOS	167

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1	Manchas en productos y producto deforme	31
2	Diagrama de flujo del proceso productivo de rotomoldeo	32
3	Ejemplo de tarimas de polietileno color blanco	35
4	Ejemplo de una gráfica de control	41
5	Las seis zonas de una carta de control	45
6	Cambio de nivel en un proceso, pruebas 1, 2 y 3	47
7	Cambio de nivel, prueba 4	50
8	Un comportamiento cíclico en un proceso	53
9	Un comportamiento recurrente en un proceso	56
10	Mucha variabilidad	59
11	Falta de variabilidad en una carta de control	62
12	Histograma	80
13	Los tres tipos de límites	83

TABLAS

I	Temperatura y tiempo de horneado	18
II	Relaciones de Rotación	20
III	Cuando el rango se usa como medida de dispersión	78
IV	Cuando la desviación estándar se usa como medida de dispersión	78
V	Cuando el rango se usa como medida de dispersión	79
VI	Cuando la desviación estándar se usa como medida de dispersión	79
VII	Cálculos para obtener media de medias y media de rangos para variable número 1	129
VIII	Cálculos para obtener media de medias y media de rangos para variable núm. 2	130
IX	Cálculos para obtener media de medias y media de rangos para variable núm. 3	131
X	Frecuencias de los valores de la variable número 1 de la muestra 1	133
XI	Frecuencias de los valores de la variable número 2 de la muestra 1	134
XII	Frecuencias de los valores de la variable núm. 3 de la muestra 1	135

RESUMEN

El rotomoldeo es un proceso simple de cuatro etapas, que utiliza un molde cerrado de paredes delgadas y alta capacidad de transferencia de calor, el cual requiere una entrada para la alimentación de la materia prima a transformar; además, de garantizar la abertura suficiente para retirar la pieza moldeada.

El presente trabajo de investigación está desarrollado básicamente sobre el control de variables mecánicas que afectan directamente el costo de producción del rotomoldeo, el cual no es mas que una técnica de movimiento y cubrimiento, movimiento que se logra con una rotación biaxial, dos brazos perpendiculares que giran sobre sus ejes, y el cubrimiento se genera con el material, que es el plástico. Al combinar estos dos factores simultáneamente en un horno, el plástico se va adhiriendo a las paredes del molde fusionándose en una masa continua que cubre uniformemente la superficie interna del molde, con lo que se obtienen piezas huecas, de alta resistencia y con formas complejas, pero que si los carros de rotomoldeo no están debidamente calibrados en sus transmisiones de movimiento, llámense estos dientes gastados de engranes, cadenas de transmisión desajustadas, falta de engrase de uniones, catarinas no calzadas, uniones de brazos desalineados, ejes no balanceados, entre otras, que generaran una subida considerable en los tiempos de cocimiento y enfriado en el proceso productivo, por lo que esto, traducido numéricamente no es mas que un incremento directo al costo de producción de los artículos plásticos de polietileno, el cual es también incrementado mes a mes por gastos de repuestos, mano de obra de trabajos de reparación, y es aquí donde el mantenimiento proactivo juega un papel fundamental para la reducción de gastos derivados del mal funcionamiento de los carros de rotomoldeo de la estación de cocimiento de los productos de polietileno. Es por ello que se desarrollará un sistema de control estadístico, un plan de mejora, un sistema

de mantenimiento proactivo y un programa piloto para el control de estas variables para la reducción de incidencia de las variables a definir durante el estudio situacional de la planta de rotomoldeo, todo lo anterior basado en un estudio de campo a efectuarse en una planta de rotomoldeo de polietileno en un tiempo estipulado para la recolección de datos; así como, para el procesamiento de los mismos.

OBJETIVOS

GENERAL

Generar un análisis de control de las variables mecánicas críticas en el proceso de rotomoldeo de productos de polietileno, por medio del control estadístico que muestre las causas de variación y los factores intrínsecos que modifican los tiempos de producción que afectan directamente los costos de los planes a producir en la planta de Rotomoldeo.

ESPECÍFICOS:

1. Estandarizar un sistema de control estadístico de las variables mecánicas críticas del sistema de rotación biaxial de carros de rotomoldeo, que afectan directamente el incremento de costos de la producción diaria de la planta en estudio.
2. Reducir la variabilidad de las variables mecánicas críticas en estudio de la planta de productos de polietileno rotomoldeados por medio del análisis de gráfico.
3. Identificar las causas de variación y factores mecánicos que hacen variable los tiempos de cocimiento y enfriado de los moldes de rotomoldeo por defectos en el sistema de transmisión de carros.
4. Diseñar formatos específicos para el control y registro estadístico y de mantenimiento de las variables críticas establecidas en el estudio situacional de la planta de rotomoldeo del área de producción.

5. Mostrar en términos generalizados el proceso productivo de artículos de polietileno de una planta rotomoldeadora.
6. Implementar un sistema piloto de prueba del control de las variables críticas mecánicas del sistema propuesto de control.
7. Implantar la retroalimentación como herramienta básica para la mejora continua de los sistemas de control estadístico en el sistema de transmisión de carros de rotomoldeo de la planta en estudio.

INTRODUCCIÓN

El rotomoldeo se puede definir como un proceso de alta temperatura, baja presión y de molde abierto que es ideal para la producción de partes plásticas grandes, vacías y de una pieza. El proceso se caracteriza por no presentar flujo del plástico fundido ni esfuerzo cortante. Los industriales del moldeo rotacional deben continuar desarrollando nuevos y mejores materiales plásticos, herramientas más versátiles y más eficientes, técnicas de procesamiento para ayudar a sostener este crecimiento y por ende productos de polietileno de más alta calidad y funcionalidad. Lo que más necesita esta industria son nuevos materiales plásticos rotomoldeables, que permitan la penetración en mercados que hoy no son alcanzables con los materiales existentes. La evolución de la industria está encaminada a reemplazar productos fabricados con materiales como metal o resina con fibra de vidrio; de esta forma se obtienen productos con las ventajas del plástico: inertes químicamente, resistentes a la corrosión, tenaces, durables y livianos, características que facilitan su manipulación y transportación, al mismo tiempo las expectativas del cliente están creciendo, el cliente de la industria del rotomoldeo está teniendo cambios importantes. El énfasis mundial ha cambiado de mercadotecnia a finanzas y está poniendo mayor esfuerzo en volver más eficiente la manufactura.

Los rotomoldeadores están operando en un mercado de compradores, éstos ya no piden, sino que exigen, y con ello logran generar que la industria produzca artículos de mayor calidad a menor costo, mejor servicio al cliente, entregas más rápidas y garantías en todo aspectos; es por ello, que la producción a un menor costo eleva la productividad de la empresa, uno de estos costos es el valor que se incrementa en el consumo de energía tanto eléctrica como combustibles por causas mecánicas, como el forzamiento de rotación biaxial de los carros de rotomoldeo por mal ajuste de sistemas de transmisión de movimiento en partes vitales de engranes,

cojinetes, sprokets, etc., o bien tiempos excesivos de cocimiento de producto por fugas de calor de horno, generando mayor consumo de combustibles, es por ello que se pretende desarrollar un sistema de control estadístico de las variables críticas generadas por mal funcionamiento mecánico del área de rotomoldeo de productos de polietileno.

1. DESCRIPCIÓN BÁSICA DE UNA PLANTA ROTOMOLDEADORA DE PRODUCTOS DE POLIETILENO.

1.1. Generalidades de la planta de rotomoldeo de productos de polietileno

Los recursos del diseñador muchas veces son limitados, ya que no conocen todas las técnicas con las cuales pueden realizar un proyecto determinado, aunada a esta situación, se encuentra la escasez de material bibliográfico que impide sustentarlo. Es por esta razón que se decidió realizar un manual que delimitará las bases técnicas para la generación de productos utilizando el proceso de rotomoldeo.

1.1.1. Antecedentes históricos del mercado de polietileno

El moldeo rotacional o rotomoldeo surgió a mediados del siglo XX y desde entonces, ha contado con una importante intervención de ingenieros, técnicos y diseñadores para su desarrollo. Es un proceso económico, que no aplica grandes esfuerzos sobre la materia prima transformada, produce artículos huecos, sin costuras, sin esfuerzos residuales, con un espesor de pared uniforme y con amplias posibilidades de diseño de producto. Ofrece alta versatilidad en la producción y representa una opción interesante comparada con procesos similares de transformación como el moldeo por inyección, el termo-formado o la inyección-soplo.

La evolución de la industria está encaminada a reemplazar productos fabricados con materiales como metal o resina con fibra de vidrio, de esta forma se obtienen productos con las ventajas del plástico, inertes químicamente, resistentes a la corrosión, tenaces, durables y livianos, características que

facilitan su manipulación y transportación, el ejemplo mas claro en México es la sustitución de asbesto, cemento, fibra de vidrio y lámina galvanizada en la producción de tinacos por polietileno procesado con la técnica del rotomoldeo, logrando excelentes resultados. Aunado a esto, el diseño de la pieza puede contemplar complicaciones imposibles de resolver utilizando otros procesos de producción, por tal motivo pueden fabricarse productos muy complejos que eliminan el numero de componentes, así un tanque se formaba con cuatro o cinco piezas distintas ahora es un objeto sin ensambles; además, los parámetros de proceso pueden controlarse para producir piezas de diversos tamaños, desde máscaras o tapones para oídos, hasta carcasas para autos, con la posibilidad de incluir roscas, insertos, refuerzos, manijas, o de aplicar diversos acabados superficiales en el producto, valiéndose del molde.

Hoy en día, la expansión de este proceso puede apreciarse en la diversidad de sus aplicaciones, como son, partes automotrices, juguetes, sillas de ruedas, tarimas, contenedores, etc. Estos productos han sido creados por empresas que no sólo tienen la intención de innovar, sino además han entendido claramente que el desarrollo tecnológico puede impulsar a la industria del país, partiendo del siguiente precepto:

**Nuevo conocimiento = nuevas aplicaciones = nuevos mercados =
nuevos ingresos = crecimiento.**

En el campo del diseño no existe una filosofía similar, que defina que es lo que se quiere lograr y de que manera se va a conseguir. ¿Cómo crear las bases que permitan generar ese crecimiento que tanta falta le hace al diseño industrial? Existen cuestiones básicas que el diseñador industrial asume inherentes a su profesión, tales como crear un producto funcional utilizando el proceso adecuado y que a la vez cumpla con los estándares ecológicos, etc.,

sin embargo, no hay un debate en torno al diseño, ni tampoco cooperación mutua para desarrollar nuevas vías de investigación y reflexión. La elaboración de estudios de apoyo para diseñadores industriales y toda persona interesada en el tema del rotomoldeo, debe contar siempre con fines como:

- Apoyar a los estudiantes de Diseño Industrial en la sustentación de sus proyectos con conocimientos técnicos del proceso de rotomoldeo.
- Invitar a los diseñadores a experimentar con este proceso.
- Persuadir a las escuelas de diseño para que aprovechen las herramientas existentes.
- Promover este proceso entre los profesionistas de diversas disciplinas.
- Y sobre todo, establecer un debate en torno a la concepción del diseño de un producto que utilice este proceso, para generar un entorno adecuado que amplíe las oportunidades de desarrollo de los interesados en el tema.

1.1.2. Descripción del proceso productivo de rotomoldeo

El rotomoldeo es una técnica de movimiento y cubrimiento. El movimiento se logra con una rotación biaxial (dos brazos perpendiculares que giran sobre sus ejes), y el cubrimiento se genera con el material, que es un plástico. Al combinar estos dos factores simultáneamente en un horno, el plástico se va adhiriendo a las paredes del molde fusionándose en una masa continua que cubre uniformemente las superficies internas del molde, con lo que se obtienen piezas huecas, de alta resistencia y con formas complejas.

El rotomoldeo es un proceso simple de cuatro etapas, que utiliza un molde cerrado de paredes delgadas y alta capacidad de transferencia de calor,

el cual requiere una entrada para la alimentación de la materia prima a transformar, además de garantizar la abertura suficiente para retirar la pieza moldeada.

1.1.2.1. Estaciones de trabajo

Básicamente las estaciones de trabajo del proceso productivo de rotomoldeo son cuatro grandes áreas, las cuales se listan a continuación:

- Estación de mezcla.
- Estación de homeado.
- Estación de enfriado.
- Estación de descarga.

1.1.2.1.1. Estación de mezcla

Se coloca el material en un molde frío, abierto y previamente cubierto en su interior con agente desmoldante, la cantidad de material necesaria para formar la pieza es equivalente al peso deseado del producto final. La materia prima generalmente es un termoplástico en polvo; sin embargo, también pueden procesarse dispersiones de termoplásticos en solventes no volátiles y algunas resinas termoestables, al tener la carga lista el molde es cerrado y llevado al interior de un horno para calentarlo.

1.1.2.1.2. Estación de horneado

Una vez preparado el molde, se expone a altas temperaturas en un rango promedio de 260° a 400° C, aunque puede aumentar o disminuir de acuerdo a las características del objeto. Simultáneamente se rota sobre dos ejes, con la conjunción de estos dos factores, el material se adhiere poco a poco a la pared interna del molde y se fusiona en una masa continua. La fusión es un proceso que une material sólido sin que éste pase a estado líquido (fundición) y luego se re-solidifique, por lo tanto, las partículas de plástico utilizadas en el proceso de rotomoldeo no se funden, sino que se sintetizan en los puntos de contacto hasta formar una red tridimensional de poros.

1.1.2.1.3. Estación de enfriado

Cuando todo el material plástico ha tomado la forma interna del molde, se procede a enfriarlo para que la pared formada se endurezca y el producto quede terminado con las características deseadas, durante esta etapa continúa la rotación para garantizar uniformidad en la conformación de la pieza. Como medio de enfriamiento es posible utilizar agua fría dispersada en gotas sobre la superficie del molde (enfriamiento rápido), una corriente de aire con vapor de agua condensada (menor rapidez de enfriamiento) o aire frío (enfriamiento lento).

1.1.2.1.4. Estación de descarga

Al estar la pieza completamente formada y enfriada se procede a retirarla del molde, con esto puede iniciarse un nuevo ciclo de producción, esta última etapa aparentemente es muy sencilla, no obstante, puede requerir el uso

de métodos de alta tecnología para retirar la pieza, lo cual es frecuente cuando el diseño del producto es muy complicado o de gran tamaño.

La duración de cada fase del ciclo depende de diversos factores tales como, las características del molde, la geometría y tamaño del producto, el espesor de pared, los tiempos de horneado y enfriamiento, la temperatura de horneado, etc. Estas variables se deben controlar para obtener un buen producto; sin embargo, antes de conocerlas a detalle, es necesario mencionar cuales son las ventajas del rotomoldeo.

- Es posible moldear piezas de cualquier tamaño; sin embargo, a mayor tamaño del producto aumentan las ventajas del proceso.
- Es el único proceso que puede combinar zonas huecas con zonas sólidas prácticamente en cualquier parte del producto, esto se logra al producir la pieza utilizando dos técnicas diferentes, moldes TRIP y el sistema MCR 3.
- Pueden crearse capas de distintos materiales en el producto.
- El costo de los moldes y herramientas es relativamente bajo.
- El desperdicio de material es poco.
- Pueden producirse piezas con distinto espesor, utilizando el mismo molde.
- Pueden ahogarse insertos metálicos como partes integrales del objeto.
- Pueden obtenerse piezas con un espumado interior durante y después del proceso.
- Pueden aplicarse gráficos permanentes utilizando calcomanías que se colocan en el molde y se integran a la pieza durante el ciclo de horneado.
- Pueden diseñarse objetos de doble pared.

- Pueden crearse recubrimientos sin juntas hasta de 50 mm (2”), este grosor permite el maquinado de dimensiones críticas que, con un recubrimiento delgado resultado de otras técnicas, no podría realizarse.
- Pueden mejorarse las características mecánicas, creando columnas internas o unión de caras en zonas específicas del producto, durante el proceso de producción.

1.1.2.2. Materias primas

Conocer las principales características de los materiales procesados con la técnica del rotomoldeo es muy importante, pues éstos deben cubrir ciertos requerimientos, uno de ellos es que presenten facultades para ser pulverizados, al ser éste un factor clave en esta industria, se eligió como primer punto a desarrollar.

Normalmente los proveedores de la materia prima suministran los termoplásticos en forma de gránulos (pellets), presentación inapropiada para el rotomoldeo debido a que el proceso se basa en la capacidad del polímetro para adquirir la forma del molde sin la aplicación de ninguna presión. El estado idóneo para garantizar excelente fluidez durante la rotación, que a su vez crea las condiciones antes descritas, es el polvo. Así mismo, durante el ciclo de horneado, la materia prima es calentada por encima de la temperatura interna del molde y para que la transmisión de calor sea rápida, es necesario generar partículas pequeñas que faciliten su circulación. Estos resultados no son posibles de alcanzar utilizando pellets, pues estos tienen un área superficial muy pequeña que provoca problemas en la transferencia de calor.

Para reducir el tamaño de los pellets se utiliza un molino que los tritura generando partículas de plástico. El tamaño ideal de la partícula es de 35 ges, ésta es la medida de una malla especial por la que tienen que pasar el 95% de la muestra del material pulverizado. Esta medida se estableció después de realizar varias pruebas en las que se utilizaron polvos de diversos tamaños. En estas pruebas se observó que polvos muy finos presentan un mayor costo de producción y pueden ocasionar un mayor consumo de material, en contraparte, el uso de partículas muy gruesas requerían temperaturas elevadas que aumentan el ciclo de horneo. Otro factor clave para asegurar un calentamiento homogéneo es la uniformidad del tamaño de la partícula, por este motivo se estableció que el 95% del material debe pasar a través de la malla.

El primer material que se utilizó al surgir la técnica del rotomoldeo fue el PVC, sin embargo, con el transcurso del tiempo surgieron materiales que poseían características más adecuadas para este proceso y por ende, lo desplazaron rápidamente. En la actualidad, el PE es el material más utilizado, abarcando aproximadamente el 85% del mercado total de esta industria.

1.1.2.2.1. Polietileno

Este material comenzó a utilizarse en la década de los sesenta, lo que ha dado lugar a la adquisición de gran experiencia en su proceso, la familia del PE es extensa, pero todos ellos tienen Hidrógeno y Carbón como componentes básicos, estos dos elementos pueden organizarse para producir diferentes tipos de PE con diferentes propiedades físicas y características de proceso variadas: Polietileno de baja densidad (LDPE), polietileno lineal de baja densidad (LLDPE), polietileno de alta densidad (HDPE), Polietileno entrecruzado (XLPE) y Etileno-vinil acetato (EVA). Las principales características de los polietilenos, entre muchas otras son: bajo peso, resistencia a la acción de productos

químicos, buena resistencia mecánica, resistencia a la torsión y tensión, excelentes propiedades dieléctricas, además, cumple con las normas FDA y puede considerarse un plástico barato, si se le compara con otros polímeros que se comercializan en el mercado.

1.1.2.2.2. Cloruro de polivinilo (PVC)

Este fue el primer material que se utilizó en el rotomoldeo, actualmente ocupa el segundo lugar en volumen de material moldeado, la resina de PVC por sí misma no es un buen material para este proceso, porque no fluye bien y se descompone durante la fusión. Con el fin de contrarrestar esta limitación se agregan plastificantes líquidos para solventar la resina, con lo que se logra una buena fluidez. Una de las ventajas que han mantenido al PVC como una buena opción para los rotomoldeadores es la fácil manipulación de sus características de rigidez y transparencia. Esto se debe a que pueden comprarse por separado los ingredientes que lo componen y elaborar una mezcla con características bien definidas y específicas para un producto determinado.

El costo de este material es relativamente bajo, debido a que el PVC no desarrolla al máximo su rigidez sino hasta que la pieza ha sido retirada del molde, pueden moldearse detalles extremadamente finos y obtener piezas con bajorrelieves negativos. Por ejemplo, las cabezas de muñeca son extraídas a través del cuello cuando el PVC aun es muy flexible, este método de extracción, además, oculta el plano de partición del molde. El PVC no requiere un tratamiento especial para la aplicación de un pigmento y puede encontrarse en el mercado en la presentación pulverizado o líquido (plastisol).

Una de las desventajas de este material es que resulta complicado moldearlo debido a su índice de fluidez, baja resistencia al impacto y alto índice

de deflexión a altas temperaturas además de estar compuesto de muchos elementos tóxicos, aunado a estas características, se encuentran al estancamiento de avances para mejorar las propiedades físicas y ecológicas de este material.

Las principales aplicaciones que se conocen son: ductos de aire (tanto rígido como flexible), máscaras flexibles para anestesia, jeringas, mobiliario inflable, muñecas, pelotas, ruedas de carros de juguete, maniqués y tuberías para la conducción de agua potable, entre otras.

1.1.2.2.3. Polipropileno (PP)

El Polipropileno (PP) es un material muy utilizado en diversos procesos de producción, sin embargo, su uso en la industria del rotomoldeo es relativamente nuevo. Esto se debe a características tales como su baja densidad, que complica su moldeo, además de la pérdida de gran parte de su resistencia al impacto si se le expone demasiado tiempo a altas temperaturas. Por otro lado, el PP es un plástico cristalino, característica que incide en el alargamiento del proceso, pues necesita ser expuesto a un ciclo de enfriamiento largo para garantizar la distribución adecuada de las moléculas, resultado con el cual se mantienen al máximo sus propiedades mecánicas.

El PP se emplea cuando se requiere buena resistencia a la flexión y a la temperatura, la aplicación que se le da es muy similar a la de los polietilenos, por lo que puede afirmarse que el PP se utiliza cuando el PE no satisface los requerimientos del producto, por ejemplo, cuando se necesita una mayor resistencia a altas temperaturas, además, el PP tiene buena resistencia a diversos químicos y buena rigidez, en contraparte, su costo es mayor que el PE, por lo que su uso está restringido a productos con cualidades específicas, otro

problema que presenta es el gran peso de los pellets de PP, puesto que complica la obtención de un tamaño uniforme al ser pulverizados, para facilitar su procesamiento, se recomienda enfriarlos antes de ser pulverizados, sin embargo, esto aumenta los costos de producción y el precio final de la pieza.

1.1.2.2.4. Poliamida (PA)

El Nylon es un material termoplástico cristalino, compuesto por una molécula de naturaleza lineal y con las fuerzas intermoleculares altas. Como resultado, es un material fuerte, con buena resistencia química y a la deformación, al ser giroscópico, es necesario secarlo antes de procesarlo y fundirlo. De este modo, se evita que la humedad absorbida se convierta en vapor y genere burbujas en las paredes del producto, que traen como consecuencia una gran pérdida de propiedades físicas.

Los tipos de Nylon que se utilizan en el rotomoldeo son; Nylon 6, 11 y 12, los cuales comparten características básicas como excelente resistencia a la temperatura a la tensión y al impacto, así como, resistencia química al contacto con hidrocarburos como la gasolina. Además, al utilizar este material pueden moldearse detalles finos, con resultados finos, tales como cuerdas de excelente calidad. Sin embargo, debe considerarse la rigidez del material, pues implica mayor dificultad para extraer la pieza de molde, el cual deberá tener muy buen acabado y ángulos mínimos de salida de 1.5°.

Una de las desventajas de este material es que el proceso de secado al cual debe ser sometido previamente implica gastos extras que se verán reflejados en el costo final del producto, sin olvidar que el precio de esta materia prima es muy alto y el cloro lo hace quebradizo.

Como anteriormente se señaló, el nylon es un material cristalino, esto significa que su cadena molecular tarda más tiempo en estabilizarse adecuadamente después de fundirse. Por esta razón, el ciclo de enfriamiento de un producto manufacturado con rotomoldeo utilizado nylon como materia prima, tiene que realizarse con lentitud, de otra manera se deforma y pierde muchas características mecánicas.

Hay que recordar entre más largo es el proceso de producción, los costos aumentan considerablemente y se verán reflejados directamente en el precio final del producto. Los nylon compiten principalmente con el Polietileno (PE) siempre que es posible, por ejemplo, cuando la aplicación requiere mayor resistencia al impacto, el nylon es mejor opción. Algunos productos que se manufacturan con nylon son: tanques de combustible, ductos de alta temperatura, contenedores de productos químicos, Etc.

1.1.2.2.5. Policarbonato (PC)

El policarbonato (PC) es un material amorfo con resistencia a altas temperaturas y alta ductibilidad. El PC es giroscópico y en muchos casos se debe secar antes de procesar, para evitar la generación de burbujas en las paredes del producto durante el proceso, el PC es un material fuerte y rígido por lo que se recomienda tener un molde con excelente acabado interno y ángulos de salida mínimos de 2° que faciliten la descarga del producto.

A diferencia de otros plásticos utilizados por esta industria, el encogimiento de este material es de 0.5 a 0.8 %, lo cual permite la producción de partes dimensionalmente estables, resultado que es muy difícil lograr utilizando este proceso. La deformación del plástico y el alabeo son mínimos, mientras que la resistencia al impacto es excelente. Otra de sus características

es la transparencia; el PC y el PVC son los únicos materiales con esta cualidad que pueden ser procesados en el rotomoldeo.

En contra parte, el PC no tiene buena resistencia química y su costo es muy elevado. Esto a limitado su uso a objetos como son: lámparas, alumbrado público, contenedores de alimentos, material médico, (el cual requiere ser esterilizado) y en productos que necesitan dimensiones precisas y con mínima deformación.

1.1.2.3. Maquinaria

Conocer la maquinaria que utiliza esta industria es útil para el diseñador porque le ayuda a elegir el modelo adecuado en el que se producirá el producto desarrollado, al conocer sus ventajas y limitantes.

Los elementos básicos de una máquina de rotomoldeo son:

1. Dispositivo para montar el molde a la máquina.
2. Un mecanismo para rotar biaxialmente el molde y poner todas las superficies internas de la cavidad en contacto repetitivo con el material plástico.
3. Un horno u otro medio de calentamiento para el molde y el subsiguiente fundido del material plástico para permitir que cubra la superficie interna de la cavidad.
4. Una cámara de enfriado, u otro medio, para enfriar el molde y la parte plástica moldeada contenida en el interior del mismo, al punto en que ésta se haya endurecido lo suficiente para mantener su forma.
5. La máquina también debe proporcionar un espacio abierto para retirar la parte moldeada de la cavidad, para la recarga del molde con material para el siguiente ciclo.

6. Un motor, u otro mecanismo, para mover los moldes entre las estaciones mencionadas anteriormente, así como dentro de las mismas.
7. La máquina moldeadora también debe incorporar controles adecuados para ajustar y mantener el tiempo, la temperatura y la velocidad de rotación en las varias etapas del ciclo de moldeo.

1.1.2.3.1. Tipos de maquinaria de rotomoldeo

Hoy en día existen muchos estilos diferentes de máquinas para rotomoldeo, los moldeadores y fabricantes de máquinas tienen sus opiniones acerca de los méritos de los diferentes tipos, desde un punto de vista práctico, todos los diferentes tipos de máquinas llegan al mismo objetivo, sin embargo, lo hacen de diferentes maneras.

En los primeros días de la industria, los moldeadores construían sus propias máquinas, conforme la industria maduró, algunos fabricantes de maquinarias se interesaron por surtirla. Ya se cuenta con un buen número de fabricantes de equipo que proveen máquinas muy sofisticadas, de buena calidad y con excelentes controles, algunos tipos de máquinas son:

- a. - Rock and Roll.
- b. - Ida y vuelta (shuttle).
- c. - Pista de carreras (race-track).
- d. - Vaivén (swing).
- e. - Máquinas tipo torreta (turret).
- f. -Máquinas de brazo independiente.
- g. - Máquinas verticales (up and over).
- h. - Concha de almeja (clamshell).

El tipo de máquina que usa el presente estudio es la de pista de carreras, las máquinas de ida y vuelta han sido usadas desde los primeros días del rotomoldeo, una máquina sencilla de este tipo tiene un horno, una estación de enfriado y una estación para carga y descarga de moldes.

Una máquina de tres carros es más eficiente, la eficiencia del equipo de pista de carreras se basa en su habilidad para enfriar, descargar y recargar el molde durante el ciclo de calentado del horno, los ciclos más largos requeridos para el polietileno lineal y de alta densidad con frecuencia dificultan mantener el horno a su capacidad total.

Su mayor ventaja es la posibilidad de aumentar la longitud del horno y/o de la cámara de enfriado, para que dos o más moldes se puedan calentar o enfriar simultáneamente, por lo que es posible agregar carros y moldes cuando se requiera. Las máquinas del tipo pista de carrera son ideales para producción de alto volumen de producto simple, como los tambores de 55 galones. Este tipo de máquina también permite remover un cargador para reparaciones o un cambio grande de moldes, sin apagar la máquina o bajar el nivel de producción.

1.1.3. Calentamiento del plástico

El rotomoldeo es un proceso de calentamiento y enfriado del material plástico, una parte crítica del proceso es aumentar la temperatura del material plástico lo suficiente para que las partículas individuales del polvo se fundan en una parte homogénea, de la misma manera, el material plástico no debe calentarse a temperaturas que degraden térmicamente el material. Por esto es importante que todas las superficies internas de la cavidad lleguen y se mantengan a la temperatura apropiada durante la parte de calentamiento del ciclo.

Un cambio de temperatura en el horno de ciclo a ciclo aun tan baja como -6.7°C (20°F) puede tener un efecto significativo en la calidad de la parte moldeada. Durante años, la industria ha usado muchos métodos diferentes de calentamiento de moldes, flama abierta, electricidad, gas o aceite calentados con aire caliente, radiación infrarroja, rocíos de sal líquida, aire caliente y vapor han sido usados en una u otra ocasión.

Las máquinas de flama abierta tienen un costo inicial bajo, pero los tiempos de ciclo son más largos, por ejemplo, de 60 a 90 minutos contra 20 a 25 minutos para un horno de aire caliente forzado, los tiempos de ciclo más largos y el incremento en consumo de combustible dan como resultado un costo adicional, excepto en situaciones inusuales.

El aceite caliente y la sal rociada tienen un coeficiente de transferencia de calor aproximadamente de 50 veces más grande que el aire caliente. El vapor de condensación es 1000 veces más eficiente que el aire caliente, sin embargo, la molestia, más las consideraciones de seguridad y complejidad de estos tres medios de calentamiento han casi eliminado su uso.

El aire calentado por electricidad es limpio y conveniente, pero lento y caro, su uso se limita normalmente a máquinas muy pequeñas, escuelas, laboratorios y otras situaciones donde el gas y el aceite no están permitidos, el calor por radiación infrarroja ha sido usado, pero este método está limitado a formas simples, los detalles de huecos profundos y sombreados de cavidades no se pueden calentar al mismo ritmo que las otras partes de la cavidad, este método de calentamiento prácticamente ha caído en desuso en el rotomoldeo.

El aire calentado por aceite es sucio y requiere más mantenimiento que el gas, la gran mayoría de las máquinas de rotomoldeo en uso hoy en día son

operadas con aire forzado calentado mediante combustión de propano, butano o gas natural, estas fuentes de energía han demostrado ser lo mejor para lograr equilibrio entre costo, conveniencia, eficiencia de calor y facilidad de control.

Es interesante hacer notar que existe otro eficiente método de calentamiento de moldes, se conoce como técnica de Enchaquetado de moldes. Este singular proceso de moldeo se basa en una cavidad de doble pared, se hace circular aceite caliente o vapor de agua por la cámara entre las dos paredes y que rodea la cavidad del molde. El enfriado se realiza reemplazando el aceite caliente con aceite frío o templado.

Establecer la temperatura y tiempo óptimos del horno es obviamente una parte importante del proceso de rotomoldeo, no hay dos plásticos que tengan la misma temperatura ideal de horno, ni siquiera dos polietilenos. La temperatura de horno requerida y especialmente, el tiempo de horno, también se afectan por el tipo de molde que se está usando y el espesor de la pared de la parte que se está moldeando. Como resultado, no hay un tiempo y una temperatura de ciclo promedio para cada material plástico, sin embargo, se tiene que empezar con algún tiempo y temperatura de horno antes de ir afinando el ciclo.

Los siguientes tiempos y temperatura son un buen punto de inicio:

Tabla I. Temperatura y tiempo de horneado.

TEMPERATURA Y TIEMPO DE HORNEADO			
Material	Temperatura (°F)	Temperatura (°C)	Tiempo (min.)
Polietileno	550 a 700	287.78 a 371.11	10 a 25
PVC	500 a 700	287.78 a 371.11	5 a 10
Nylon 6	575 a 675	301.67 a 357.22	28
Nylon 11	535 a 570	279.44 a 298.89	7 a 20
Nylon 12	480 a 575	248.89 a 301.67	8 a 20
Policarbonato	600 a 750	315.56 a 398.89	10 a 20

Fuente: Depto. de producción Plásticos de Guatemala.

Un moldeador que esté trabajando con un material plástico por primera vez debe contactar a su proveedor de material para solicitar recomendaciones con relación a tiempo de inicio de horno y temperaturas. Todo mundo siempre habla de temperaturas de horno, pero debe recordarse que lo que importa es la temperatura de la superficie interna de la cavidad, por ser la que esta en contacto con el plástico, existe una diferencia entre temperatura de horno y temperatura de cavidad.

La temperatura de la cavidad rara vez alcanza la temperatura ambiente del horno, la rotación biaxial de los moldes y las altas temperaturas del horno siempre han dificultado determinar la temperatura real del material plástico, o al menos la de la cavidad, durante el ciclo de moldeo.

Algunos estudios han indicado que el brazo, el molde y el marco absorben tanto como el 36% de la energía que se introduce al horno, el lograr un perfil de la temperatura del horno se puede usar para reducir la energía que se aplica una vez que el brazo, el marco y la cavidad se han estabilizado, entonces el calor se aplicaría únicamente a la velocidad a la que el material plástico pueda absorberla.

1.1.4. Relaciones entre rotaciones biaxiales

Cada combinación individual de forma de parte moldeada y material plástico tienen su propia tasa ideal de rotación de los ejes, una canoa de polietileno es obviamente diferente de una pelota de plastisol, seleccionar las velocidades óptimas de rotación es crítico para la distribución uniforme del plástico sobre la superficie de la cavidad.

La relación de rotación se refiere a la relación entre la velocidad de rotación del eje mayor (o plano vertical) y la diferencia de velocidad de rotación entre el eje mayor y el eje menor (o plano horizontal). La relación de rotación se determina como sigue:

$$RR = VRy / (VRn - VRy)$$

donde:

RR = Relación de rotación.

VRy = Velocidad de rotación del eje mayor en rpm.

VRn = Velocidad de rotación del eje menor en rpm.

Si la velocidad de rotación del eje mayor es la mitad de las RPM de la rotación del eje menor, la tasa es uno a uno, por ejemplo si el eje mayor rota a 5 rpm y el menor a 10 rpm, la relación de rotación será de $5/(10 - 5) = 1$ y se reporta como 1:1, la flecha de montaje de moldeo en el eje menor (plano horizontal) gira, por consiguiente una vez por cada rotación del mayor (plano vertical), ésta no es una relación recomendada.

Conforme la velocidad del eje mayor se acerca a la del eje menor, la relación aumenta, por ejemplo, el eje mayor gira a 8 rpm, y el menor lo variamos de 10 a 8 rpm, la relación de rotación crecerá como lo muestra la tabla siguiente:

Tabla II. Relaciones de Rotación.

RELACIONES DE ROTACIÓN		
Eje mayor	Eje menor	Riel de rotación
8 rpm	10 rpm	4:1
8 rpm	09 rpm	8:1
8 rpm	08 rpm	infinito

Fuente: Depto. de producción de Plásticos de Guatemala.

Al acercarse los valores de las velocidades de rotación, la relación crece hasta llegar a un valor infinito donde el molde no gira. Para lograr la rotación en reversa, disminuya las rpm del eje menor hasta muy cerca del valor del eje mayor, al llegar a un valor infinito de la relación de la relación de rotación, la rotación relativa se detiene. Si el eje menor se reduce a una velocidad mas baja que la del eje mayor, se logra la rotación en reversa. Por ejemplo, el eje mayor gira a 8 rpm y el menor a 6 rpm, se tiene una relación negativa de 4:1.

En una relación negativa, el giro sobre el eje menor es en dirección opuesta, con relaciones negativas se tiende a dirigir el flujo del material en polvo mas hacia el plano horizontal y provocando un llenado mas pobre en molde complicados.

La relación de rotación ideal se determinara por:

- El tamaño de la parte moldeada.
- La forma de la parte moldeada.
- El número de cavidades montadas en el marco.
- Si se usa brazo recto o en escuadra.
- La distancia de cada cavidad desde el centro de rotación real.

Generalmente, las partes formadas simétricamente con su dimensión más larga montada paralelamente al eje mayor usarán una relación de rotación con el eje mayor girando mas rápido y el eje menor más lento, por ejemplo 4:1. Al expresar una relación de rotación, el primer número normalmente se refiere a la rotación del eje mayor.

Si la dimensión larga de una cavidad de forma de caja, delgada y larga se monta en un ángulo correcto al eje mayor, se puede necesitar una relación inversa, como 1:4.

La relación de rotación se expresa generalmente en números completos, como 4:1 u 8:1, sin embargo, las relaciones donde al dividir un número entre otro nos da un número entero, no son deseables.

Relaciones de este tipo permiten que ciertas partes de la cavidad repitan su contacto con el plástico mas frecuentemente que otras, esto puede resultar en un espesor de pared no uniforme, una proporción de 5:1 es en ocasiones mejor que la común de 4:1.

Es interesante hacer notar que es posible tener la misma relación de rotación a diferentes velocidades de rotación, la relación común de 4:1 se

puede lograr con una velocidad del eje mayor de 8 rpm y una velocidad del eje menor de 12 rpm, o con una velocidad del eje mayor de 12 rpm y una velocidad del eje menor de 15 rpm.

Estas dos condiciones de moldeo producen resultados muy diferentes, especialmente con partes grandes, el número de combinaciones posibles para la relación de rotación, mas la rotación inversa, es realmente de locura.

La relación de rotación y la velocidad de rotación son dos variables importantes en rotomoldeo que tienen efecto significativo, tanto en la calidad como en la eficiencia del proceso de rotomoldeo, una muy cuidadosa atención a estos dos detalles ayudará a optimizar el proceso de rotomoldeo.

En algunas situaciones, la forma de la parte que se esta moldeando no permite que todas las superficies de la cavidad tengan el mismo tiempo de residencia entre el material plástico y la pared caliente de la cavidad, la caja rectangular con hueco superior.

1.1.5. Desmoldantes

Un detalle trascendente en el proceso de rotomoldeo es el uso de desmoldante, este elemento, parte integral del proceso, es un lubricante especial que cubre la cavidad del molde, sus principales funciones son dos, el prevenir que la pieza fabricada se pegue al molde para facilitar su remoción, y no permitir que la pieza se despegue prematuramente de la superficie del molde durante el ciclo de enfriamiento, lo que ocasionaría deformación en el producto y deterioro en sus propiedades físicas.

1.1.5.1. Tipos de desmoldantes

Todos los desmoldantes pueden clasificarse como internos o externos, la diferencia entre estos dos tipos es que los desmoldantes internos son mezclados en el material plástico y se convierte en parte de la parte moldeada. Los desmoldantes externos se colocan en la superficie interna de la cavidad y no están presentes en la parte moldeada, ambos tipos son ampliamente usados, en muchos casos, el moldeador estará usando una combinación de desmoldantes internos y externos. El tipo óptimo de desmoldante que se debe usar para un proyecto dado, dependerá del tipo de material plástico que se este usando. Por ejemplo, el polietileno de alta densidad se libera mas fácilmente que el polietileno reticulazo, como resultado, el polietileno reticulazo requiere un agente desmoldante más activo, la longitud de la corrida de producción y otras consideraciones como operaciones secundarias y requerimientos de uso final, también deben tomarse en cuenta.

La elección es a veces influenciada por la competencia técnica y confiabilidad del personal del moldeador, los fabricantes de desmoldantes son una excelente fuente de información sobre cual desmoldante será el mejor para una aplicación dada, el éxito final de un proyecto nuevo puede incrementare al buscar su consejo antes de iniciar las operaciones del proyecto.

1.1.5.2. Desmoldantes interno

Los desmoldantes internos los agrega el fabricante del material plástico al mismo, con un mezclador especializado son mezclados en seco por el moldeador. Los desmoldantes internos son normalmente un tipo de estearato (jabón metálico) y/o amidas grasosas.

El nylon, el policarbonato, el polipropileno y la mayoría de los polietilenos normalmente no contienen un desmoldante interno. Sin embargo, los desmoldantes internos son en ocasiones formados en compuestos polietileno reticulado para rotomoldeo. Con frecuencia el polietileno reticulado requiere tanto el desmoldante interno como el desmoldante externo horneado y semipermanente para obtener una parte de óptima calidad.

Los plastisoles de cloruro de polivinilo pueden normalmente ser moldeados sin el uso de agentes externos de liberación de moldes. Los plastificantes grasos incorporados a estos materiales normalmente proporcionan todo el desmoldante necesario. Los desmoldantes internos en ocasiones se incorporan al cloruro de polivinilo para apoyar la remoción de partes difíciles. Sin embargo, intentar moldear el plastisol en un molde cubierto con una capa de desmoldante en ocasiones provoca que el plástico falle y no se adhiera a la superficie de la cavidad, provocando variedad en el espesor de pared de la parte moldeada.

1.1.5.3. Desmoldantes externos

Todos los desmoldantes externos son capas que se aplican a las paredes de la cavidad del molde. Los varios tipos de desmoldantes externos pueden clasificarse como no permanentes, semipermanentes y permanentes. Estos diferentes tipos de desmoldantes se aplican mediante diferentes técnicas para obtener resultados distintos.

Los desmoldantes externos de moldes son capaces de adherirse a la superficie interna de la cavidad, si el desmoldante no se adhiere a la cavidad, tendrá que ser re-aplicado continuamente, en el caso de un molde nuevo, es importante que las superficies de la cavidad donde se va aplicar estén limpias,

secas y si no están texturizadas, deben estar lisas. Las superficies rugosas pueden pulirse con lija de arenilla del #400 y detergente líquido. Contaminantes en la superficie de la cavidad, que pueden interferir con la adhesión del desmoldante, se pueden eliminar limpiándolo con tolueno o con percloroetileno. Se debe tener cuidado de limpiar todo el solvente antes que seque y deje un depósito. Los moldes nuevos normalmente requieren varias capas de desmoldante para lograr un desempeño óptimo.

Los diferentes tipos de desmoldantes tienen requerimientos variados. Un moldeador prudente debe consultar con su proveedor antes de seleccionar y aplicar un desmoldante a un molde nuevo. Los diferentes tipos de desmoldantes externos tienen sus ventajas y desventajas específicas.

1.1.5.4. Desmoldantes no permanentes

Frecuentemente se les llama desmoldantes convencionales de moldes, en general son jabones, ceras, fluoro carbonos o silicones en forma líquida o de emulsión, se rocían, untan o pintan en las superficies de una cavidad limpia, se depositan, pero no forman un enlace con la cavidad.

1.1.5.5. Desmoldantes semipermanentes

Estos son como su nombre lo indica, más duraderos que los desmoldantes no permanentes. Duran de 10 a 100 ciclos, dependiendo del proyecto específico, los hay solubles en solventes peligrosos como percloroetileno o los que han sido muy bien aceptados en el medio del rotomoldeo, solubles en agua. Los desmoldantes de este tipo se curan en el horno y forman un fuerte enlace con las superficies de la cavidad.

1.1.5.6. Ventajas del uso de desmoldante

Estos desmoldantes tienen el costo inicial mas bajo y son frecuentemente seleccionados por esa razón, son fáciles de aplicar, permiten buena liberación de la cavidad.

1.1.6. Tipos de moldes de rotomoldeo

Los moldes tienen muchas funciones, pero la principal es la de definir la forma de la parte moldeada, por lo anterior, el diseño de un molde depende del diseño de la parte plástica. Una parte moldeada no puede ser mejor que el molde que la produjo. Los diseñadores de partes plásticas deben considerar los requerimientos de construcción del molde al diseñar la parte plástica que vaya a fabricarse por rotomoldeo.

Todos los moldes llevan cuatro partes básicas:

- La cavidad.
- La estructura de sujeción.
- La placa de montaje.
- Los mecanismos de cierre.

Además, el molde puede llevar también:

- Tubos de ventilación.
- Aros para levantamiento.
- Resortes de apriete.
- Puntos de apalancamiento para el desmoldeo.
- Tope de sujeción.

- Insertos sueltos o cavidades de piezas múltiples.

Existen varios tipos de moldes que se usan en la industria de rotomoldeo:

- Moldes de aluminio vaciado.
- Moldes de lámina soldada.
- Moldes electro-formados.
- Moldes niquelados por vapor.
- Moldes maquinados.
- Moldes formados por rociado de metal.
- Moldes enchaquetados.

1.1.6.1. Ventilación de molde

La mayoría de los moldes usados para rotomoldeo requieren ventilación para mantener presión atmosférica dentro de la cavidad. Un buen enfoque sobre estas ventilaciones es incorporarlas en el molde desde el inicio de la construcción del mismo. Un fabricante de moldes versátil generalmente tendrá mejor maquinaria para este tipo de trabajo que un moldeador.

En tiempos recientes, se ha incrementado el roto moldeado de piezas de plástico con una atmósfera inerte, de nitrógeno o de bióxido de carbono, dentro de la cavidad. Las boquillas de inyección de gas, los distribuidores (manifolds), las válvulas y en general toda la plomería necesaria, también se pueden incorporar desde el inicio de la construcción del molde.

El moldeador y el fabricante de moldes deben llegar a un acuerdo acerca del tamaño y la ubicación de las ventilaciones o boquillas de inyección de gas, antes de hincar la construcción del molde.

1.1.6.2. Cierre de molde

Durante el proceso de cierre del molde se deben tomar extremas precauciones para evitar dañar el molde, una estructura adecuadamente diseñada permitirá un buen alineamiento de las dos mitades de la cavidad y esto protegerá las líneas de separación. Cualquier polvo o líquido derramado en las líneas de separación debe ser eliminado antes de cerrar el molde.

Esta es la última oportunidad que tienen el operador de la máquina para verificar si todos los insertos están presentes o no. ¿Esta limpio el tubo de ventilación?, ¿Está la fibra de vidrio en su lugar?, ¿Está colocado en su lugar el tubo de ventilación?, el verdadero cierre del molde es el asegurarse que todas las líneas de separación están empalmadas uniformemente, apretar totalmente todos los tornillos en un lado de los moldes puede provocar sujeción incorrecta en el lado opuesto. Es una buena política sujetar el molde al mismo tiempo que las dos mitades del molde se pongan en contacto. No es raro encontrarse con el hecho de que un molde ha sido colocado en el horno sin haber sido cerrado. Esto puede provocar que la mitad superior del molde se caiga, dañando el molde y salpicando el plástico en el horno.

1.1.6.3. Balanceo de molde

Los moldes colocados en un brazo escuadra requieren balanceo cuidadoso, la mayoría de los brazos escuadra tienen un dispositivo de contrapeso para este propósito. Una mezcla de diferentes tipos de cavidades montada sobre y debajo de un brazo recto representa un gran reto para balancear.

El balanceo del molde debe hacerse con el plástico ya colocado en las cavidades, para balancear el molde, el mecanismo es desenganchado de tal manera que el molde pueda ser rotado libremente con la mano, un molde balanceado adecuadamente se detendrá y permanecerá en cualquier posición de rotación. Un molde no balanceado impondrá fuerza innecesaria al brazo de la máquina y esto provocaría costos adicionales de mantenimiento y pérdida de tiempo. Los moldes no balanceados también tienen un efecto adverso en la distribución del plástico sobre la superficie de la cavidad. Esta condición puede resultar en espesor de pared no uniforme y abombamiento después del moldeo.

1.1.6.4. Consideraciones de enfriado de molde

Durante la etapa de calentamiento en el horno, del ciclo de moldeo, el molde y el material plástico fueron calentados a alta temperatura, la parte de enfriado del ciclo debe reducir esa alta temperatura al punto donde el molde pueda ser manejado. Conforme el molde se enfría, también se enfría el material plástico, conforme el material plástico se enfría, cambia de líquido espeso y viscoso a semisólido y finalmente se convierte en una parte sólida completamente roto moldeada.

Cuando la parte moldeada se ha enfriado lo suficiente para recuperar la fuerza que necesita para soportarse a si misma, puede ser retirada del molde.

Al salir el molde del horno, puede estar a temperaturas cercanas a 550°F (287.78°C), conforme se enfría a 72°F (22.2°C) en la cámara de enfriamiento, el calor del plástico debe pasar a través de la pared de la cavidad, por lo tanto, la conductividad térmica de la cavidad es importante; sin embargo, la conductividad térmica en el plástico es mas lenta que en el metal de la cavidad por lo que es el plástico y no el molde lo que controla el tiempo de enfriamiento.

El enfriamiento se logra rotando continuamente el molde, en aire a temperatura ambiente, con aire soplado, un rocío de aire y agua, o agua sola, cada uno de esos medios de enfriamiento es progresivamente más rápido.

Es importante notar que la temperatura en el molde y en el material plástico es lo suficientemente caliente como para continuar el proceso de fusión aún después que el molde ha sido retirado del horno, este calor almacenado puede ser usado para acortar el ciclo de calor del horno por unos segundos, el tiempo de calor del horno es normalmente la parte más larga del ciclo de moldeo. Cualquier cosa que se haga para acortar esa parte del ciclo es benéfica, en máquinas de brazos múltiples, el ciclo de enfriado debe ajustarse para no ser mas largo que el ciclo de calor del horno.

El polietileno de baja densidad es menos cristalino que el nylon o el polietileno de alta densidad, y es por consiguiente, menos susceptible a cambios en rapidez de enfriado.

Los moldeadores tienen a su disposición varias opciones diferentes de enfriado, el ciclo óptimo de enfriado depende mucho de:

- La resina plástica que se esta moldeando.
- El tipo de molde que se esta usando.
- El tamaño de la parte.
- La forma de la parte.

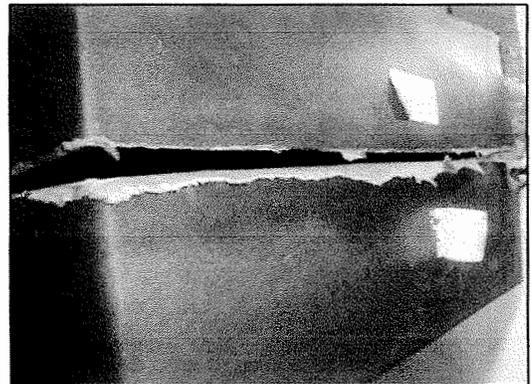
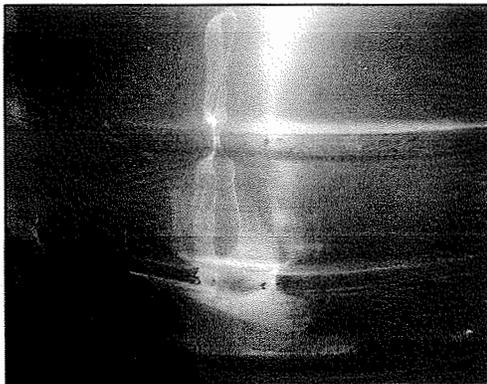
1.1.7. Problemas más comunes en producto terminado de rotomoldeo

Algunos de los problemas más comunes en el producto terminado de rotomoldeo son los siguientes:

- Burbujas.
- Manchado.
- Sombras.
- Deformación.
- Color saturado.
- Partículas adheridas.
- Material crudo.
- Producto con hoyos.

Para evitar todas estas inconformidades es necesaria la implementación de todas las consideraciones antes desarrolladas de temperatura, tiempo y desmoldantes.

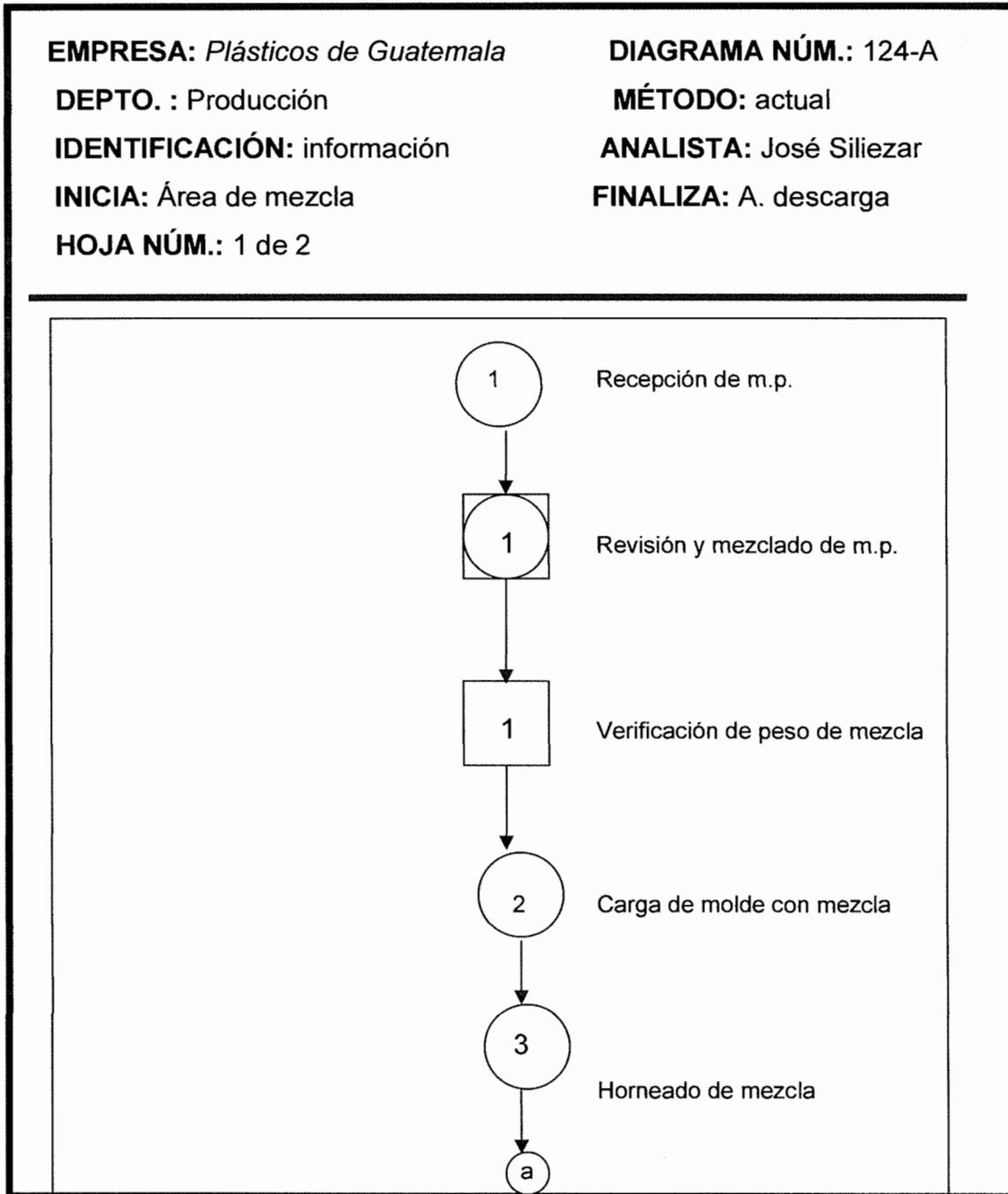
Figura 1. Manchas en productos y Producto deforme.



Fuente: Depto. de producción Plásticos de Guatemala.

1.1.8. Diagrama de flujo del proceso productivo de rotomoldeo.

Figura 2. Diagrama de flujo del proceso productivo de rotomoldeo.



Continuación

EMPRESA: *Plásticos de Guatemala*

DEPTO. : Producción

IDENTIFICACIÓN: Información

INICIA: Área de mezcla

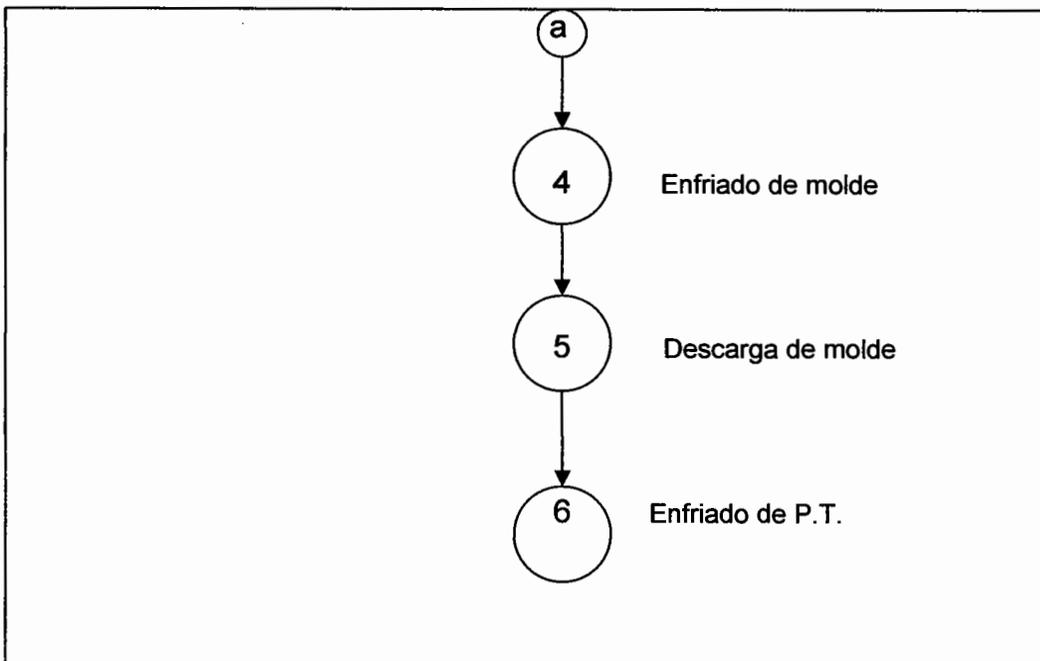
HOJA NÚM.: 1 de 2

DIAGRAMA NÚM.: 124-A

MÉTODO: actual

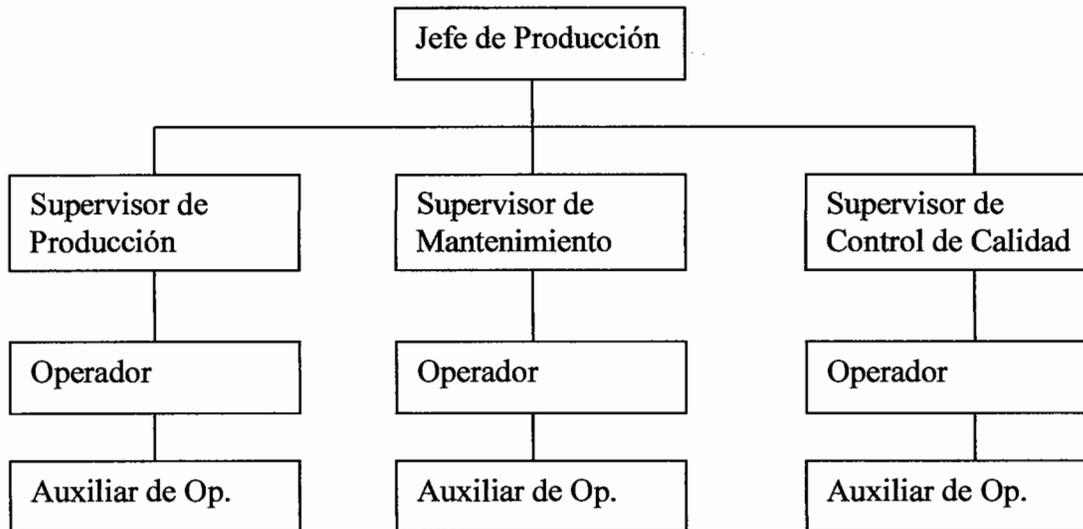
ANALISTA: Jose Siliezar

FINALIZA: A. descarga



Símbolo	Actividad	Operación
○	Operación	6
□	Revisión	1
◻	Op. Combinada	1

1.2. Organigrama de una planta rotomoldeadora



Fuente: Depto. de producción Plásticos de Guatemala.

1.3. Productos generados y genéricos de rotomoldeo

Para fabricar productos generados y genéricos de rotomoldeo es muy importante conocer todos los requerimientos del producto, por esta razón se recomienda hacer una lista de las principales características que deberá poseer, el establecimiento de prioridades entre los requerimientos facilitará el proceso de selección de materia prima y de diseño.

1.3.1. Productos

Los productos de rotomoldeo de polietileno deben presentar gran variedad de densidades, bajo costo, fácil de moldear, buenas propiedades físicas y mecánicas, tienen un índice de encogimiento muy alto (3%), resistente

a diversos químicos, es fácil de pulverizar, baja resistencia a altas temperaturas, menor resistencia al impacto que el PC y Nylon.

Algunos de los productos generados son:

- Mobiliario
- Juguetes
- Tarimas
- Botes de basura
- Contenedores
- Botes lecheros
- Carcasas
- Tanques para depósitos
- Separadores viales
- Tambos viales
- Dispensadores de agua

Figura 3. Ejemplo de tarimas de polietileno color blanco



Fuente: Depto. de producción Plásticos de Guatemala.

1.3.2. Subproductos

Los subproductos genéricos, son todos aquellos que se derivan de la fabricación de los productos de polietileno, por ejemplo:

- P.E. pulverizado.
- P.E. paletizado.
- P.E. para resinas recicladas.

Estos subproductos son utilizados en la industria como complementos para no utilizar materia virgen al 100% en la fabricación de sus P.T. para minimizar el costo de materia prima.

1.4. Tipos de clientes

Hoy en día los mercados principales para productos moldeados rotacionalmente, en orden descendente son:

- la industria automotriz,
- tanques de almacenamiento,
- piezas para la industria automotriz,
- contenedores para el manejo de materiales
- productos del hogar.

2. CONCEPTOS GENERALES DE HERRAMIENTAS DE CONTROL DE VARIABLES CRÍTICAS.

2.1. Gráficos de control por variables

El proceso de las gráficas de control es un elemento que pone de manifiesto y en concepto al obrero, de separar las variaciones de los elementos en “normales” y “anormales”, también establece la comparación de la variación de productos con su fabricación real, y los límites de control para el producto.

Se puede definir a la gráfica de control como:

“Un método gráfico para evaluar si un proceso está o no en un estado de control estadístico”.

En sus formas más usuales, la gráfica de control es una comparación gráfica cronológica (hora a hora, día a día) de las características de calidad real del producto, parte u otra unidad, con límites que reflejan la capacidad del producirla de acuerdo con la experiencia de las características de calidad de la unidad.

Cuando se han calculado estos límites y se consideran aceptables para implantarse en la fabricación, las gráficas de control comienzan a desarrollar su misión principal: auxiliar en el control de la calidad de la materia prima, de lotes de producción, de los elementos aislados o de los ensambles durante su fabricación actual.

En los datos variables, la pregunta “¿qué tan buena o qué tan mala?”, se responderá adecuadamente. Por tanto, aunque existe un importante lugar en

las aplicaciones del control total de la calidad para las gráficas basadas sobre cada uno de estos tipos de datos, el mayor poder de control de las gráficas de variables hace a este tipo de gráfica la alternativa preferida de control, donde sea práctica y económica.

Hay dos condiciones diferentes bajo las cuales se utilizan estas gráficas de control:

1. Las gráficas usadas para investigar el estado de control de un proceso, tal vez uno que no ha sido examinado previamente, o uno al que se le han hecho grandes cambios en el proceso, o uno que se examina para el estado de control continuo después que un análisis preliminar de distribución de frecuencias demostró control inicial. Las lecturas sobre las características de calidad de las partes y productos se toman y se analizan para dicho propósito del investigador. Los valores de los límites de control y de la tendencia central se calculan como parte de este análisis y, por lo tanto, la condición se denomina "sin estándar dado". Con frecuencia los límites de control y los valores de tendencia central se usan en las gráficas, para mantener un control continuo.
2. Las gráficas en que la tendencia central y los valores de dispersión hayan sido establecidos al inicio, están en condición de "estándar dado". En todos los casos, la suposición será que los valores estándar son tales que el proceso puede operar a estos niveles y que los datos anteriores disponibles, algunas veces un procedimiento sin estándar dado, han sido usados para determinar que existe un estado de control. En algunas situaciones de planta y compañía, estos estándares se establecen de una forma relativamente arbitraria, basándose sobre circunstancias particulares económicas o de otro

tipo práctico que se basan en las necesidades de producción o servicio o en un valor deseado u objetivo designado por requisito o especificación.

La idea básica de una carta de control es observar y analizar gráficamente el comportamiento sobre el tiempo de una variable de un producto, o de un proceso, con el propósito de distinguir en dicha variable sus variaciones de causas comunes de las debidas a causas especiales (atribuibles). El uso adecuado de las cartas de control permitirá detectar cambios y tendencias importantes en los procesos.

En la figura 4, se muestra una gráfica de control típica, la cual se compone básicamente de tres líneas paralelas, comúnmente horizontales, que rematan a la izquierda en una escala numérica en las unidades de la variable X, que se grafica en la carta. En la parte de abajo, paralela a las líneas hay un eje que sirve para identificar a quién pertenece cada valor de la variable que ha sido representado en la carta mediante un punto. En caso de que el eje sea una escala cronológica, entonces los puntos consecutivos se unen con una línea recta para indicar el orden en que ha ocurrido cada dato.

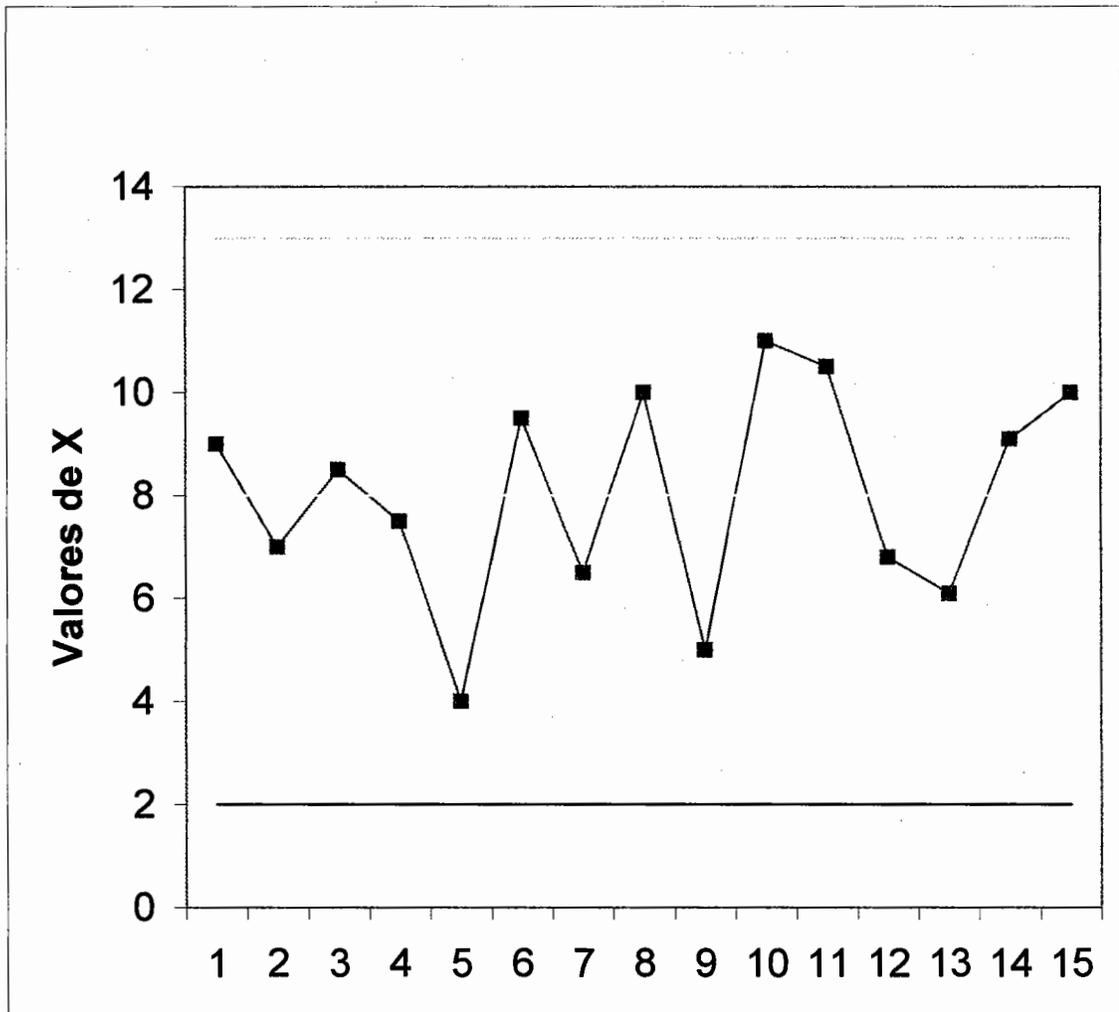
La línea central de una carta de control representará el promedio de la variable que se esté graficando cuando el proceso se encuentra en control estadístico. Las otras dos líneas se llaman límites de control, superior e inferior, y están en una posición tal que, cuando el proceso está en control estadístico, existe alta probabilidad de que prácticamente todos los valores de la variable (puntos) estén dentro de los límites. Si todos los puntos están dentro de los límites, entonces se supone que el proceso está bajo control estadístico. Por el contrario, si al menos un punto está fuera de los límites de control, entonces, será una señal de que el proceso está fuera de control estadístico, por lo que es

necesario investigar cuál es la causa del comportamiento o cambio especial. En general, los límites de control serán estimaciones de amplitud de la variación natural de la variable (promedio, rangos, etcétera) que se gráfica en la carta.

No siempre es indeseable que un punto caiga fuera de los límites de control. Por ejemplo, en una carta donde se grafique la proporción de artículos defectuosos, el que un punto esté por abajo del límite inferior indicará la presencia de una causa especial, que es positiva para la calidad del proceso y que deberá identificarse para tratar cuál fue la causa que influye permanentemente en el proceso.

Lo que se observa en una carta de control, no sólo es, que un punto caiga fuera de los límites de control, sino también, cualquier formación o patrón de puntos que tenga muy poca probabilidad de ocurrir en condiciones "normales", lo cual será una señal de alerta sobre posibles cambios debidos a causas especiales.

Figura 4. Ejemplo de una gráfica de control



Fuente: Humberto Gutiérrez Pulido. **Calidad Total y Productividad**. México, McGraw – Hill, 1997, 143p.

Las etapas que se siguen para el proceso de las gráficas son las siguientes:

Sin estándar dado

- Seleccionar las características de calidad apropiadas para el estudio.

- Registrar los datos de un número requerido de muestras, con cada muestra compuesta de un número apropiado de unidades.
- Determinar los límites de control para estos datos de la muestra.
- Analizar el estado de control en la muestra. ¿Demasiada variación?, ¿Rápidas desviaciones de un estado de control y un repentino retorno al control?, ¿Proceso bien controlado? Se toma una acción apropiada, de acuerdo con las necesidades y economía, con base en este análisis.
- En muchos casos, cuando los límites de control se calculan por primera vez para partes o ensambles, los procesos se encuentran “fuera de control”; las características de varias muestras exceden los límites de control. En estos procesos, las causas para las variaciones excesivas en las muestras se pueden localizar y eliminar. Los pasos 2 y 3 se repiten hasta que el proceso está controlado.
- En aquellos casos en que la gráfica de control y sus límites sean utilizados, para mantener un control del proceso continuo, se siguen los procedimientos de los pasos 6 y los siguientes de la condición de estándar dado.

Con estándar dado

- Seleccionar la característica de calidad apropiada para el estudio.
- Establecer el valor apropiado de la tendencia central y de la dispersión que se usarán. Todos los datos anteriores disponibles deben usarse para determinar que existe un estado de control.

- Determinar los límites de control a partir de estos valores “adoptados”.
- Establecer que estos límites de control sean económica y prácticamente satisfactorios para el trabajo.
- Establecer los valores de los límites de control y graficar los límites en un papel apropiado.
- Empezar a registrar los resultados de las muestras de producción de tamaño apropiado, seleccionadas en intervalo periódicos.
- Tomar acción correctiva si las características de las muestras de producción exceden los límites de control.

Existen muchas aplicaciones adicionales de las gráficas de control por variables en las operaciones de una factoría, antes o después de su empleo sobre la producción real. Dos aplicaciones características son:

- a. Informar al ingeniero proyectista de la posibilidad de manufactura de los diseños alternativos posibles.
- b. Medición del desgaste de la herramienta, como una guía para el futuro diseño y calibración de esas herramientas.

Aún cuando el cálculo de los límites de control para estas dos clases de gráficas medición y fracción o porcentaje, difiere en sus detalles, el proceso fundamental es el mismo. El cálculo está basado en la teoría de las probabilidades.

Interpretación de las gráficas de control

Como se había mencionado anteriormente, una señal donde se ha detectado una causa especial de variación (o señal de que ha habido un cambio especial en el proceso) se manifiesta cuando un punto cae fuera de los límites

de control o cuando los puntos graficados en la carta siguen un comportamiento no aleatorio (por ejemplo, una tendencia a aumentar, un movimiento cíclico, etcétera). Para facilitar la identificación de patrones no aleatorios lo primero que se hace es dividir la carta de control en seis zonas o bandas iguales, cada una con una amplitud similar a una desviación estándar de la variable que se grafica (ver figura 4).

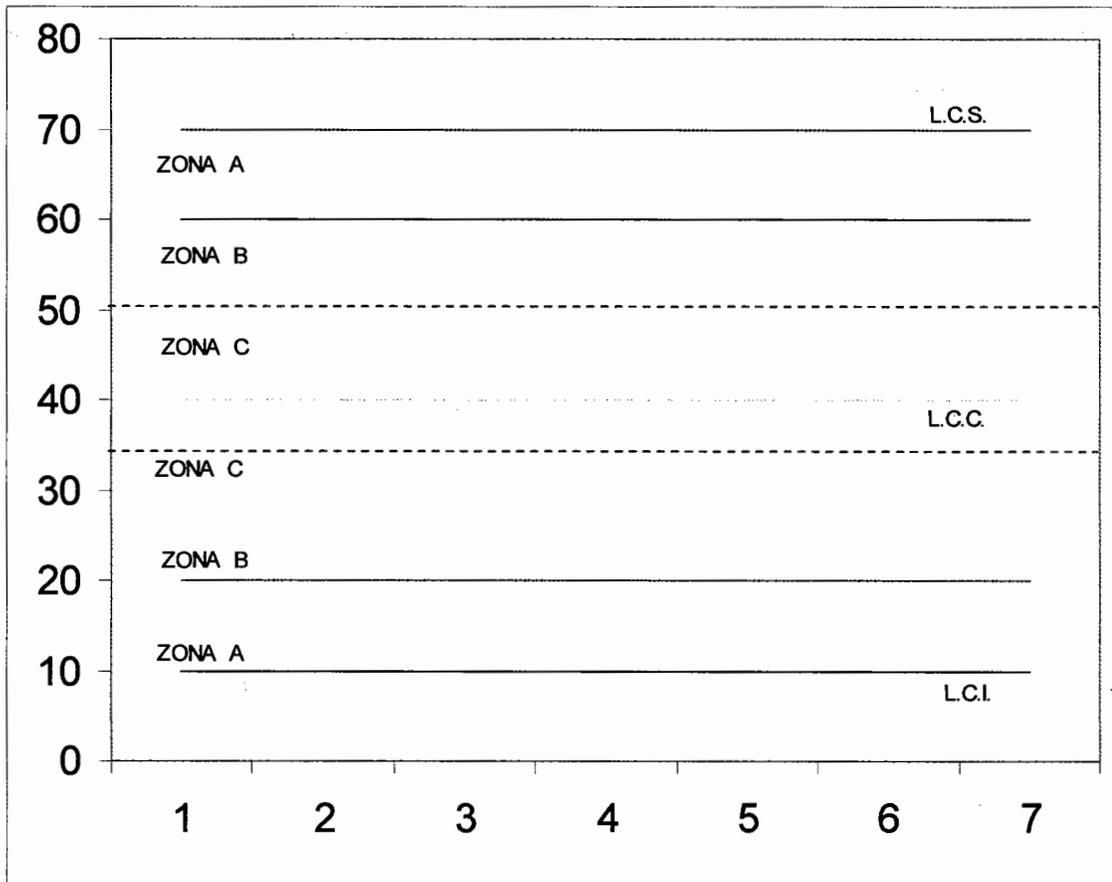
A continuación se dan cinco patrones para el comportamiento de los puntos en una carta. También se presentan las razones comunes por las cuales pueden ocurrir dichos comportamientos. Además, se dan algunas pruebas estadísticas para confirmar la existencia del patrón bajo discusión.

Estas pruebas se han derivado bajo el supuesto de normalidad e independencia en los datos, por lo que, de no cumplirse, las pruebas deben verse con reservas. En particular si dos muestras consecutivas de una carta no son independientes, entonces se debe intentar modificar el muestreo para que sí sean independientes, o usar otro tipo de cartas de control.

Los patrones para el comportamiento de los puntos en una carta son los siguientes:

- Cambios en el nivel del proceso.
- Tendencias en el nivel del proceso.
- Ciclos recurrentes.
- Mucha variabilidad.
- Falta de variabilidad o estatificación.

Figura 5. Las seis zonas de una carta de control



Fuente: Humberto Gutiérrez Pulido. **Calidad total y productividad.** México, McGraw-Hill, 1997, 163p.

Patrón 1. Cambios (brincos) en el nivel del proceso

Este patrón es un cambio que se registra en la carta cuando pocos puntos están fuera o muy cerca de los límites de control (ver figura 4) o cuando una gran cantidad de puntos caen de un solo lado de la línea central (ver figura 5). Estos cambios especiales se dan a causa de la introducción de nuevos trabajadores, máquinas, materiales o métodos; esto ocurre debido a los cambios en los métodos de inspección, o a una mayor o menor atención de los

trabajadores. Cuando esto ocurre en las cartas \bar{X} , p , np , u o c , se dice que ha habido un cambio en el nivel promedio del proceso; por ejemplo, en las cartas \bar{X} un cambio de nivel significa que el centrado del proceso tuvo cambios. En la carta R , significa que la variabilidad aumentó o disminuyó.

Un cambio en el nivel del proceso ha ocurrido cuando se cumple una de las siguientes cuatro pruebas:

Prueba 1: un punto fuera de los límites de control.

Prueba 2: dos de tres puntos consecutivos en la zona A o más allá

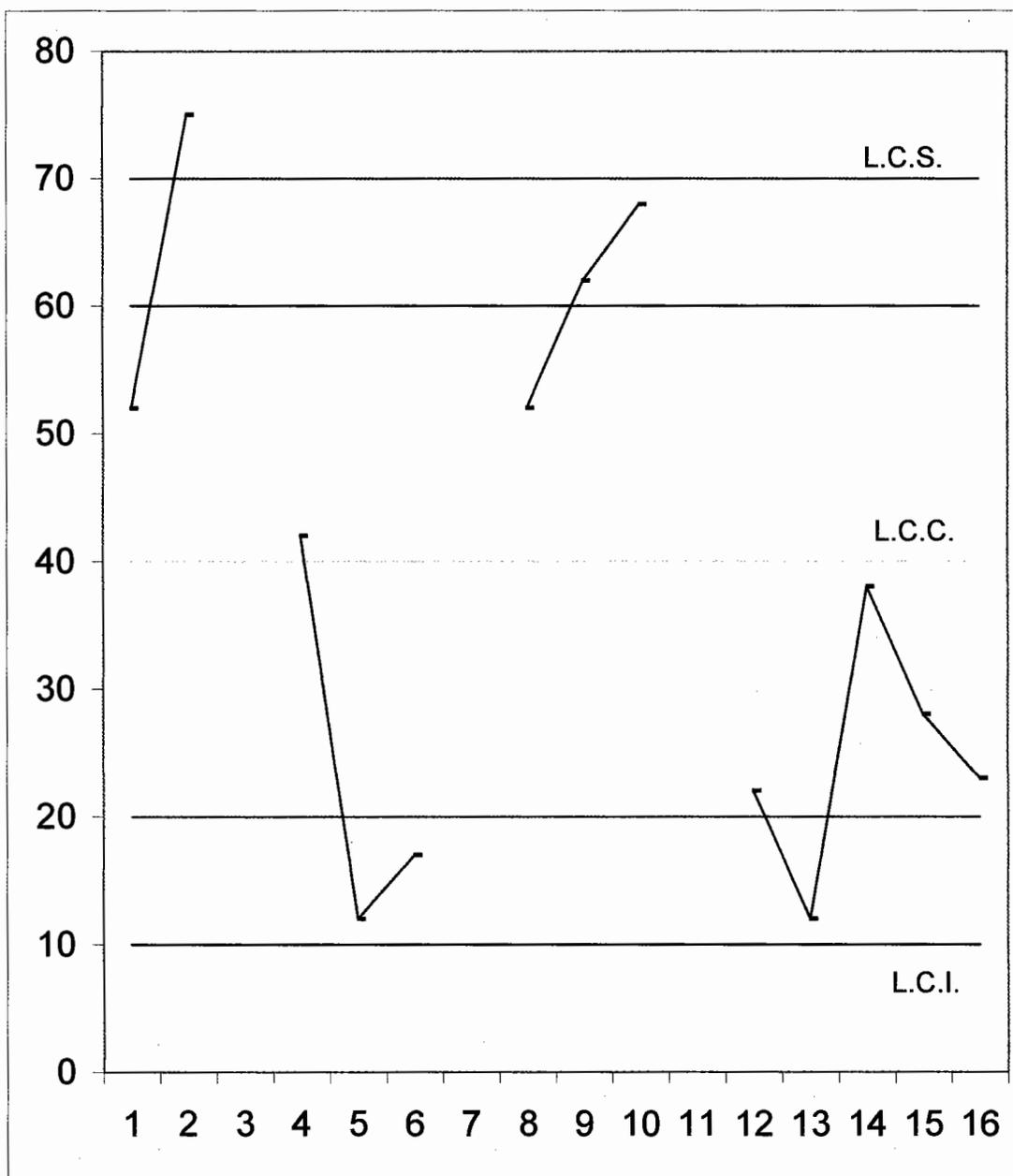
Prueba 3: cuatro de cinco puntos consecutivos en la zona B o más allá.

El cumplimiento de las tres pruebas se muestra en la figura 4. Cuando se está analizando el proceso con los datos o muestras recién obtenidas y sea cumplida alguna de las tres pruebas, entonces esto indicará que ha entrado al proceso una causa especial que ha provocado que el proceso esté operando con otro nivel. Tal cambio pudo darse de manera paulatinamente hasta que alcanzó una magnitud considerable y la carta lo registró, o también pudo darse desde hace un momento de manera repentina. En cualquier caso se debe investigar por qué ha ocurrido, identificarlo y actuar en consecuencia. De no hacerse nada, puede que después de un tiempo el proceso regrese a su nivel normal, una vez que haya desaparecido la causa. Pero también puede ocurrir que dicha causa se quede permanente en el proceso hasta que se haga algo para eliminarla.

Siempre que se detecte un cambio de nivel se debe actuar inmediatamente, para identificar la causa, lo cual permitirá conocer más el proceso, y saber si el cambio es positivo y se estará en posibilidades de mantener esa mejora; por el contrario, si el cambio se traduce en mala calidad y

se deba trabajar para lograr el nivel anterior o para prevenir que en el futuro no se dé tal cambio especial.

Figura 6. Cambio de nivel en un proceso, pruebas 1, 2 y 3



Fuente: Humberto Gutiérrez Pulido. **Calidad total y productividad**. México, 1997, 164p.

- Prueba 4: ocho puntos consecutivos de un solo lado de la línea central

Este cambio de nivel se muestra en la primera parte de la figura 5. En estos casos la causa especial ha entrado al proceso, y posiblemente eso haya ocurrido en la octava muestra, por lo cual se trata de un cambio más permanente. Por ejemplo, cuando se dan ocho puntos consecutivos por debajo de la línea central en una carta R, entonces se ha dado una reducción definitiva en la variabilidad del proceso; si eso ocurre en una carta de atributos, entonces se ha dado una reducción más definitiva en el nivel promedio de piezas defectuosas del proceso; todo lo contrario se puede decir si los ocho puntos están por arriba de la línea central: aumento de variabilidad e incremento en el nivel promedio de defectuosos, respectivamente.

En ocasiones, dada la importancia de detectar con más oportunidad este tipo de cambios, la prueba cuatro se amplía de la siguiente manera:

- a. Al menos diez de once puntos consecutivos ocurren de un mismo lado de la línea central, como se muestra en la segunda parte de la figura 5.
- b. Al menos doce de catorce puntos consecutivos ocurren de un mismo lado de la línea central.

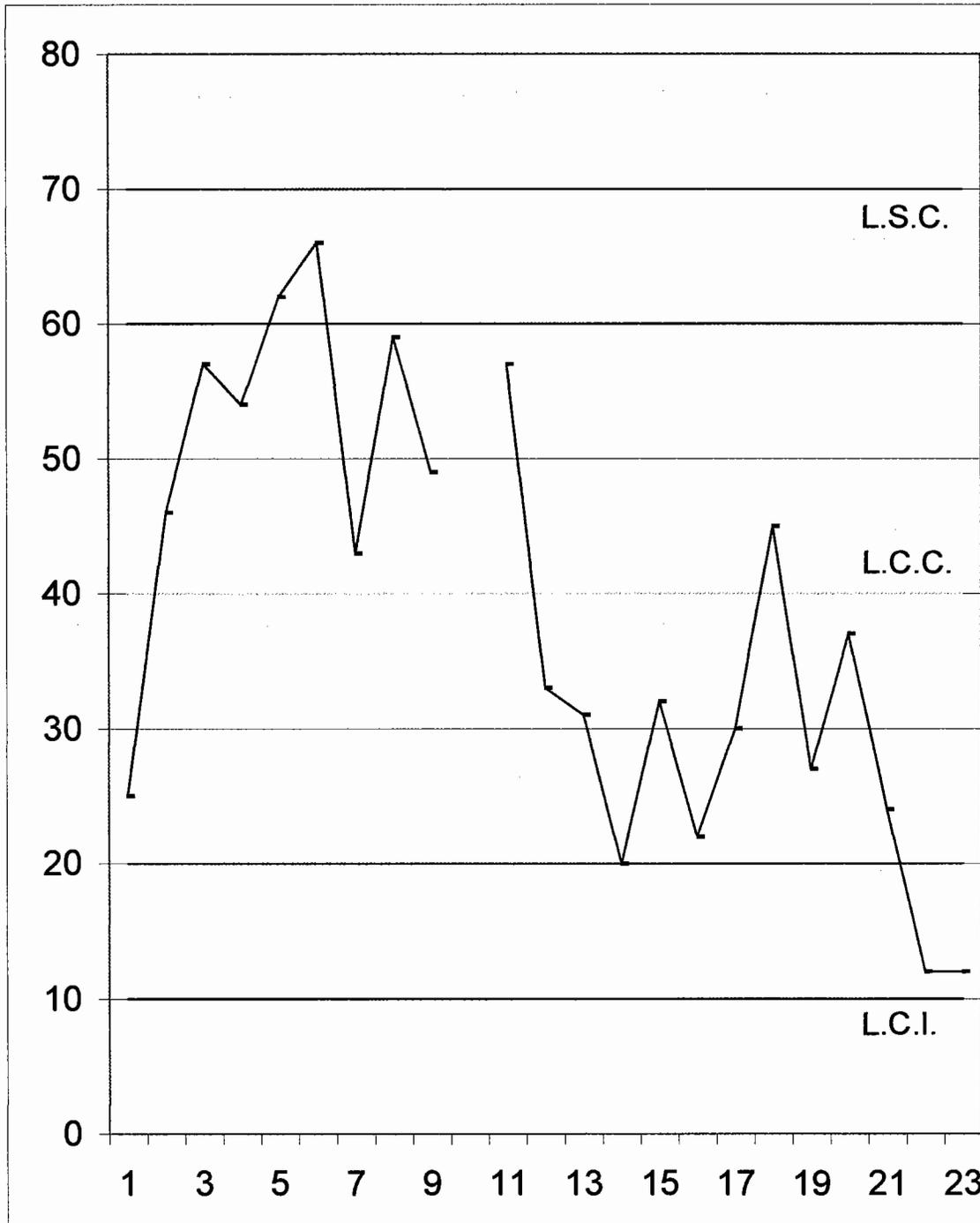
Si además de la prueba cuatro se cumplen alguna de las tres primeras, eso será aún mayor evidencia de que un cambio especial ha ocurrido.

Cuando una carta detecta que el proceso tuvo un brinco o cambio de nivel, el administrador de la carta no debe hacer caso o miso y esperar por el cambio, porque se estará desaprovechando una oportunidad para identificar los factores que afectan al proceso negativa o positivamente. Si una carta no se usa para actuar sobre el proceso, pierde mucho de su potencial.

Estas cuatro pruebas se construyeron bajo el supuesto de normalidad, y bajo control estadístico tienen muy poca probabilidad de ocurrir. Por ello la aplicación a la carta de medias genera muy pocas falsas alarmas. Con las otras cartas ocurre algo similar; sin embargo, se tienen las siguientes precisiones:

- a. En la carta R con tamaño de muestra mayor o igual que 5 la aplicación de las cuatro pruebas es aproximadamente igual de confiable que en la carta X. Para tamaños de muestra menor que 5 la aplicación de la prueba 2 a 4 del lado superior de la carta es todavía más confiable; pero del lado inferior se generan más falsas alarmas, por lo que en este caso se pueden aplicar las pruebas construidas para cuando se usa un tamaño de muestra $n = 2$. Las pruebas 2, 3 y 4 modificadas para aplicarse en la carta de rangos del lado inferior cuando se tienen tamaños de muestra menores que $n = 5$ son: la prueba 2 debe convertirse en 4 puntos consecutivos en la zona A, la prueba tres en 6 puntos consecutivos en la zona B o más allá y la prueba cuatro en 10 puntos consecutivos por debajo de la línea central.

Figura 7. Cambio de nivel, prueba 4



Fuente: Humberto Gutiérrez Pulido. **Calidad total y productividad.** México, McGraw-Hill, 1997, 165p.

- b. En el caso de las cartas p y np , para ciertos tamaños muestrales y valores de p se genera una mayor cantidad de falsa alarmas que las que se esperarían con la carta de medias. Sobre todo la prueba 2 en el lado superior y la 4 en el lado inferior. Por ello, si las pruebas 2 a 4 resultan positivas, se pueden ver como un aviso de alerta, donde a la vez que se trate de investigar qué de especial está pasando, también se pueda confirmar si realmente ha ocurrido un cambio.

Patrón 2. Tendencias en el nivel del proceso

Este patrón consiste en una tendencia a incrementarse (o disminuirse) los valores de los puntos en la carta, como se aprecia en la figura seis. Una tendencia bien definida y larga no es un patrón aleatorio, por ello se debe a alguna causa especial. Por ejemplo, puede deberse al deterioro gradual del equipo de producción, desgaste de las herramientas de corte; acumulación de productos de desperdicio en las tuberías, calentamiento de máquinas o cambios graduales en las condiciones del medio ambiente. Estas causas se reflejan prácticamente en todas las cartas excepto en la de rangos.

Las tendencias en una carta de rangos son más raras, pero cuando se dan, pueden deberse a la mejora o empeoramiento de la habilidad de un operario, a la fatiga del operario (la tendencia se repetirá en cada turno) y al cambio gradual en la homogeneidad de la materia prima.

Para determinar si hay una tendencia en el proceso se tiene la siguiente prueba concreta:

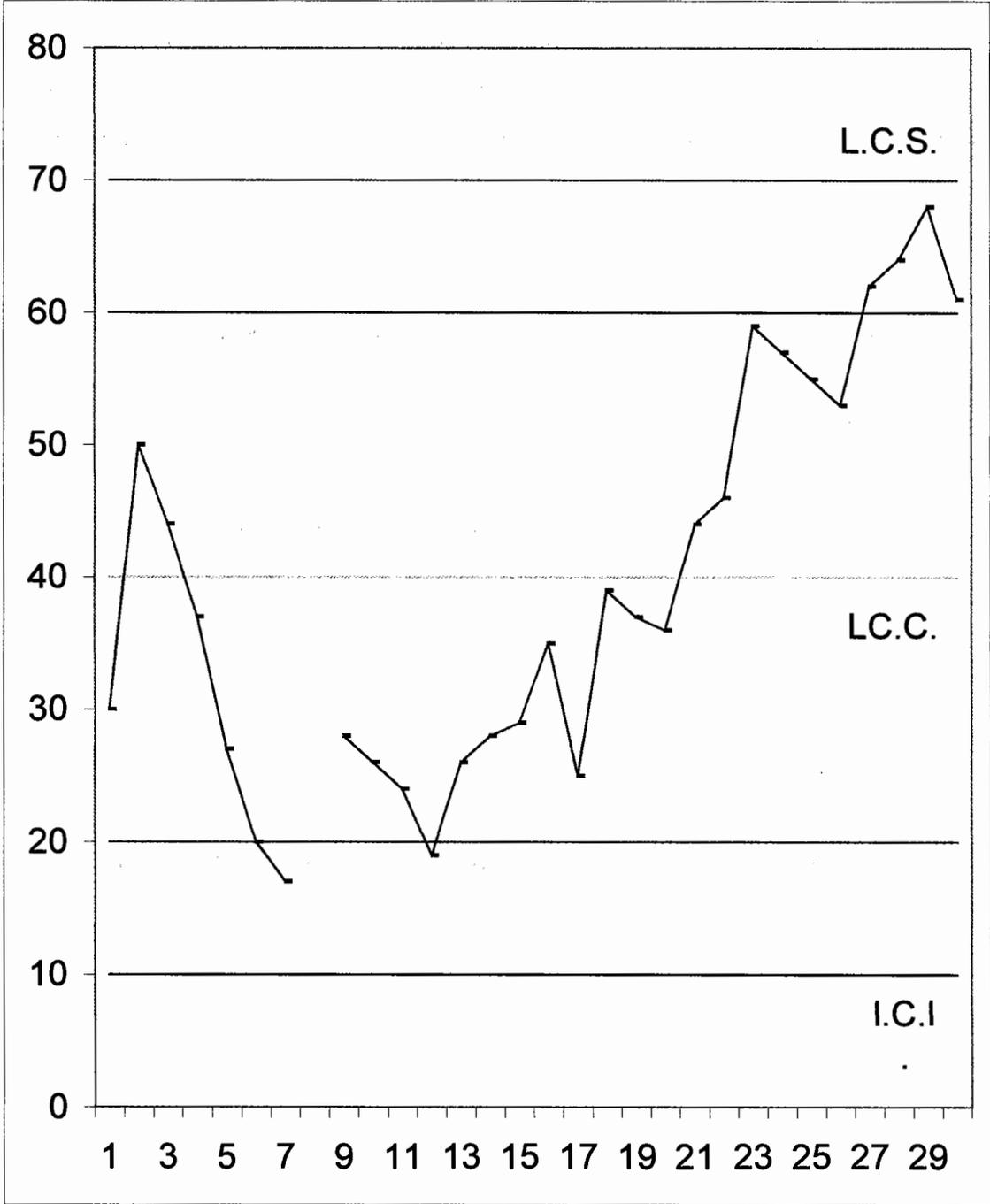
- Prueba 5: Seis puntos consecutivos ascendente (o descendentes):

El cumplimiento de esta prueba se muestra en la primera parte de la figura seis. En ocasiones se presentan tendencias que no se ajustan a la prueba cuatro, como es el caso de la que se presenta en la segunda parte de la figura seis. En este caso evidentemente hay una tendencia, ya que es demasiado largo el movimiento ascendente como para que sea aleatorio. Cuando se presenta este tipo de tendencias, pero más cortas, resulta difícil determinar cuándo es un comportamiento aleatorio o cuándo no lo es. Sin embargo, el conocimiento del proceso y un buen uso de las cartas de control podrán facilitar la identificación.

La recomendación básica en este caso sería que, en el momento en que se dé un flujo largo y creciente de puntos que parezca no aleatorio, entonces es una señal de alerta para vigilar más de cerca del desempeño del proceso, para que en su caso se pueda identificar la causa del mismo.

El uso de las cartas de control para determinar el momento oportuno de dar mantenimiento o ajustes en el proceso resulta de mucha utilidad, ya que cuando se vuelve indispensable el mantenimiento esto puede reflejarse en una tendencia.

Figura 8. Un comportamiento cíclico en un proceso:



Fuente: Humberto Gutiérrez Pulido. **Calidad total y productividad.** México, 1997, 167p.

Cuando se dan puntos consecutivos de manera ascendente o descendente, es importante ajustarse en forma exacta al criterio de la prueba cinco para detectar tendencias, de lo contrario se puede detectar donde sólo hubo variabilidad aleatoria. No es válido afirmar que hubo una ligera tendencia cuando se presentaron tres, cuatro o cinco puntos consecutivos en aumento o en disminución. Se debe ser categórico: hubo o no tendencias, siendo claro el criterio para ello.

Desde el punto de vista probabilístico, resulta confiable la aplicación de la prueba 5 a todas las cartas que se describen.

Cabe aclarar que existen procesos que por su naturaleza siempre operan con tendencias. En estos casos se dice que no hay independencia entre puntos consecutivos, por ello la aplicación de las cartas que se describen aquí no resultan adecuadas, en este tipo de casos se debe recurrir a otro tipo de cartas de control.

Patrón 3. Ciclos recurrentes (periodicidad)

Otro patrón no aleatorio que pueden presentar las cartas es un comportamiento cíclico de los puntos. Por ejemplo, se da un flujo de puntos consecutivos que tienden a crecer y luego se presenta un flujo similar pero de manera descendente, y esto se repite cíclicamente. Cuando un comportamiento cíclico se presenta en la carta X, entonces las posibles causas son temperatura u otros cambios periódicos en el ambiente; diferencias en los dispositivos de medición o de prueba que se utilizan en cierto orden; rotación regular de máquinas u operarios; efecto sistemático producido por dos máquinas, operarios o proveedores que se usan alternadamente.

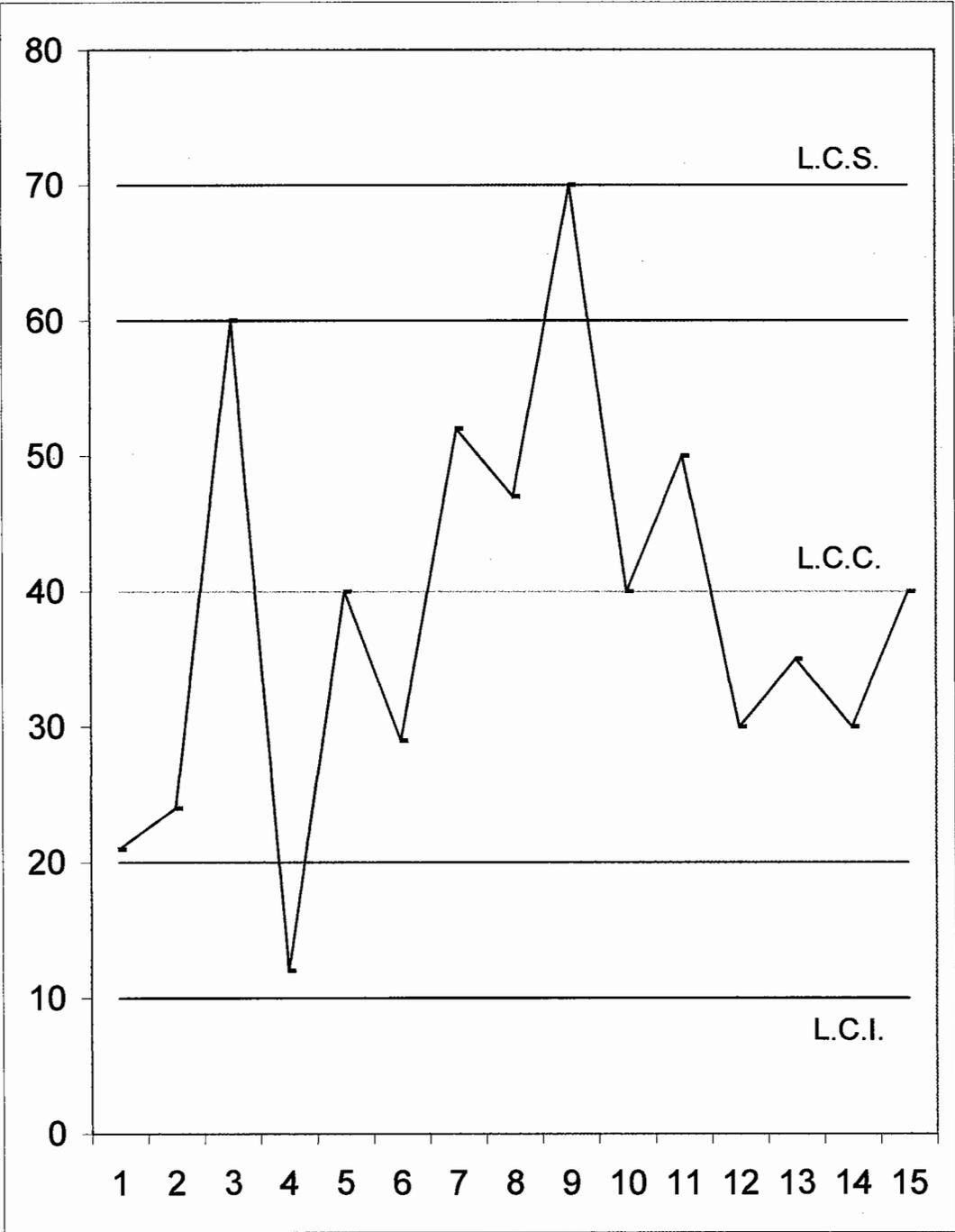
Si el comportamiento cíclico se presenta en la carta de rangos, entonces algunas de las posibles causas son mantenimiento preventivo programado o fatiga de trabajadores o secretarías.

Para saber si existe un ciclo se debe observar que, en efecto, éste se repita periódicamente. Por ello se debe ser muy cuidadoso y recurrir al conocimiento del proceso y a un buen uso de la carta. Cuando el ciclo consiste en que los puntos se van alternando entre altos y bajos, tenemos la siguiente prueba.

- Prueba seis: Catorce puntos consecutivos alternando entre altos y bajos

El cumplimiento de esta prueba se muestra en la figura siete. Un error frecuente de interpretación en los ciclos como el de esta figura, es declarar que hubo un ciclo sólo porque unos cuantos puntos en la carta se van alternando entre altos y bajos; el criterio en estos casos es muy claro: "14 puntos consecutivos alternando entre altos y bajos". Desde el punto de vista probabilístico, resulta confiable la aplicación de la prueba seis a todas las cartas que se describen en este trabajo de graduación.

Figura 9. Un comportamiento recurrente en un proceso



Fuente: Humberto Gutiérrez Pulido. **Calidad total y productividad**. México, 1997, 169p.

Patrón 4. Mucha variabilidad

Una señal de que en el proceso hay una causa especial de variación, que provoca que esté fuera de control estadístico, se manifiesta mediante una alta proporción de puntos cerca de los límites de control, a ambos lados de la línea central, y muy pocos o ningún punto en la parte central de la carta. En estos casos se dice que hay mucha variabilidad, como se puede ver en la figura siete. Algunas causas que pueden afectar a la carta X de esta manera son sobre control o ajustes innecesarios en el proceso, diferencias sistemáticas en la calidad del material o en los métodos de prueba, y control de dos o más procesos en la misma carta (uno con resultados mayores y otro con resultados menores), mientras que la carta T se puede ver afectada por la mezcla de materiales de calidades bastante diferentes, diferentes trabajadores utilizando la misma carta R (uno más hábil que el otro), y datos de procesos operando bajo diferentes condiciones graficados en la misma carta. Una prueba para detectar la alta proporción de puntos cerca o fuera de los límites son las siguientes:

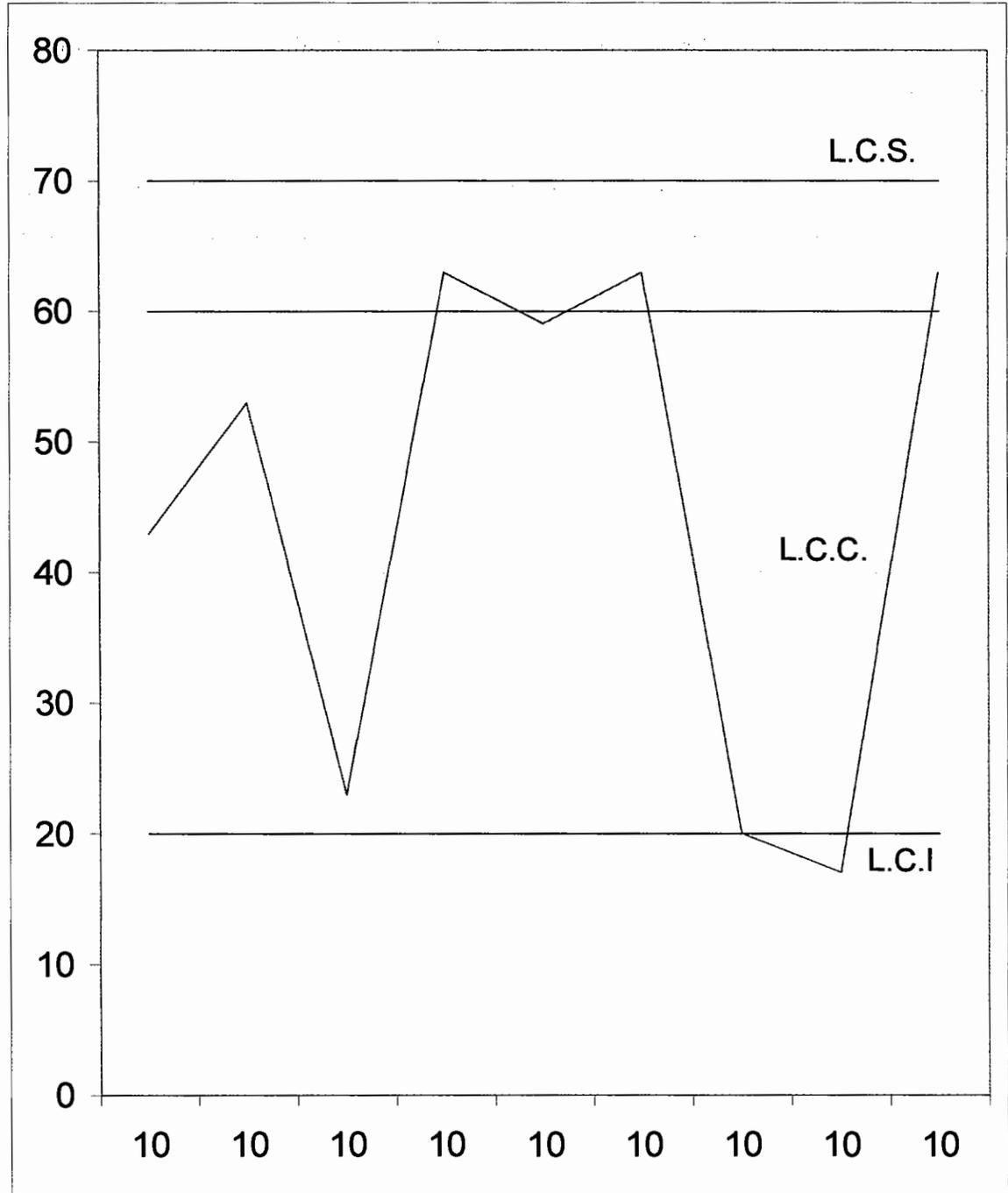
- Prueba siete: ocho puntos consecutivos a ambos lados de la línea central con ninguno en la zona C.

La alta proporción de puntos cerca o fuera de los límites de control en ocasiones se debe a una mala planeación de la instrumentación de la carta. Por ejemplo, el sobre ajuste es un indicio claro del desconocimiento de los objetivos de una carta de control. Este se puede dar cuando al operario se le responsabiliza por la mala calidad producida por las máquinas o cuando el operario no se le creó conciencia ni se le hizo partícipe en la instrumentación de la carta.

Muchas de las posibles causas que motivan la alta proporción de puntos cerca de los límites de control pueden ser corregidas con una buena planeación del muestreo del proceso, es decir, razonando adecuadamente el subgrupo (muestra).

Desde el punto de vista probabilístico, resulta confiable la aplicación de la prueba siete a todas las cartas que se describen en este trabajo de graduación.

Figura 10. Mucha variabilidad



Fuente: Humberto Gutiérrez Pulido. **Calidad total y productividad**. México, 1997, 170p.

Patrón 5. Falta de variabilidad (estatificación)

Una señal que exista algo anormal en el procesos será el que prácticamente todos los puntos se concentren en la parte central de la carta, es decir, que los puntos reflejen poca variabilidad, como se aprecia en la figura 8. Algunas de las causas que pueden afectar a todas las cartas de control de esta manera serán una equivocación en el cálculo de los límites de control, agrupamiento en una misma muestra a datos provenientes de universos con medias bastantes diferentes, “cuchareo” de los resultados y carta de control inapropiada para la variable en cuestión. Para detectar falta de variabilidad se tiene la siguiente prueba:

- Prueba ocho: quince puntos consecutivos en la zona C, arriba o debajo de la línea central.

Una reducción en la variabilidad se refleja en la carta X, pero en la carta de rangos se apreciarían muchos puntos por debajo de su línea central. Si ha ocurrido una reducción en la variabilidad, lo que se debe hacer es recalcular los límites de control.

Para afirmar que hay poca variabilidad en una carta de control se debe aplicar al pie de la letra la prueba anterior.

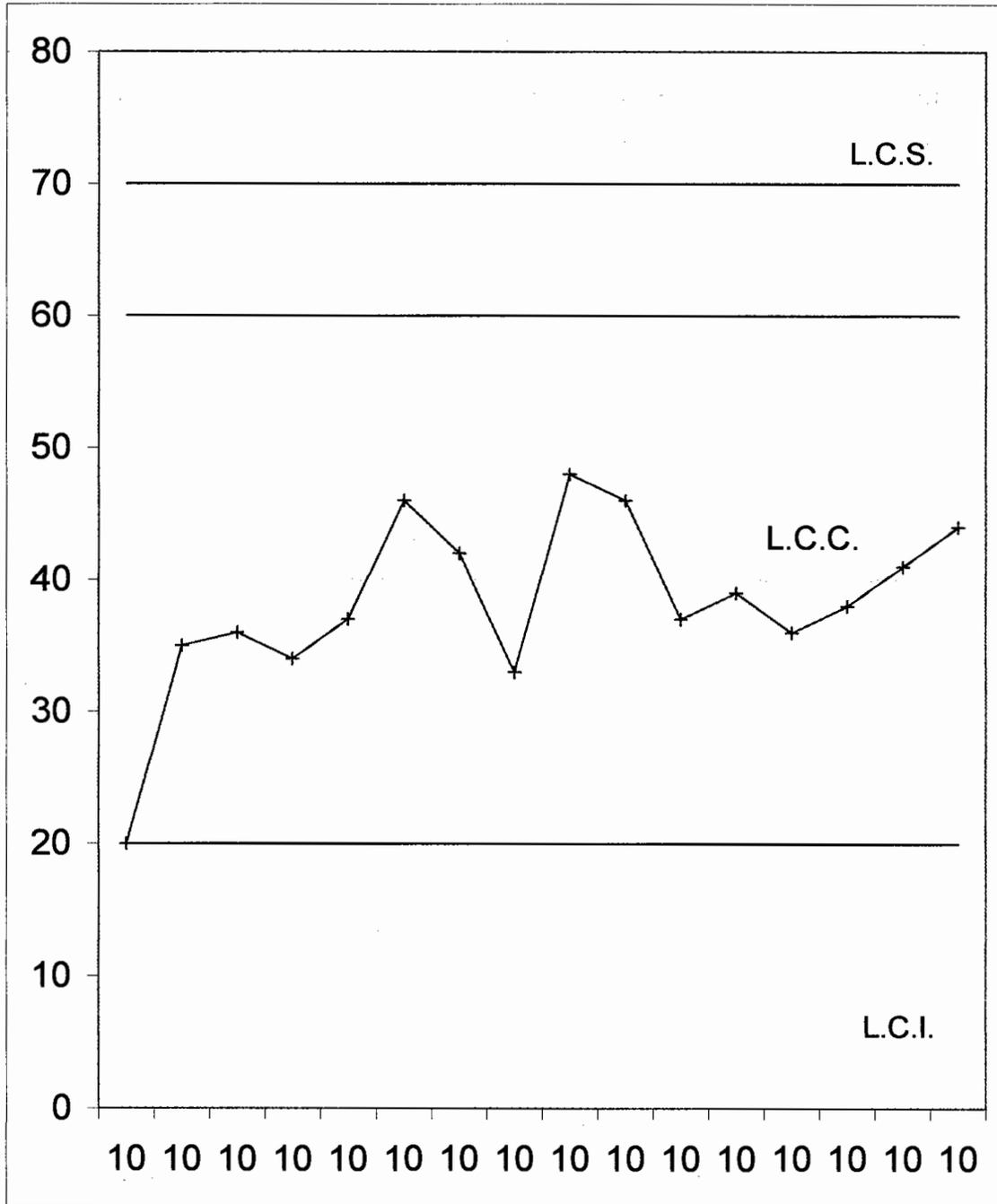
Desde el punto de vista probabilístico, la aplicación de la prueba 8 generará más falsas alarmas en las cartas p y np que en la carta de medias, sobre todo en combinaciones específicas de los valores de p y n. Por ello esta prueba debe aplicarse con más cuidado en estas cartas.

Cuando alguna de las ocho pruebas anteriores es positiva, entonces el proceso está fuera de control estadístico. Es decir, se ha detectado una causa especial de variabilidad, lo que se traduce en cambios significativos en la correspondiente característica: calidad promedio, variación, proporción de artículos defectuosos o número de defectos.

Cabe señalar que si el proceso está fuera de control estadístico no significa que no se pueda seguir produciendo con él, sino que el proceso está trabajando con variaciones debidas a alguna causa específica (material heterogéneo, cambios de operadores, diferencias significativas entre máquinas, desgaste o calentamiento de equipo). Será responsabilidad de quienes aplican la carta de control buscar la causa de variación o no hacer nada, en cuyo caso las cartas pierden mucho de su potencial.

Salirse de control estadístico es señal que un factor específico de variación se encuentre presente, por lo tanto debe investigarse cuál es, para prevenir su ocurrencia. El uso e interpretación adecuada de las cartas de control las convierte en una herramienta poderosa para lograr el conocimiento y la mejora de los procesos.

Figura 11. Falta de variabilidad en una carta de control



Fuente: Humberto Gutiérrez Pulido. **Calidad total y productividad.** México McGraw-Hill, 1997, 171p.

2.1.1. Tipos de gráficos de control

Son aplicables a variables o características de calidad de tipo continuo, que intuitivamente son aquellas que requieren un instrumento de medición para medirse como pesos, volúmenes, voltajes, longitudes, resistencias, temperaturas, humedad, etcétera. Las gráficas para variables tipo Shewhart más usuales son:

- Gráfica de promedios (\bar{X})
- Gráfica de rangos (R)
- Gráfica de desviaciones estándar (S)
- Gráfica de medidas individuales (X)

Estas formas distintas de llamarle a una carta de control se deben al tipo de variable (estadístico) que se gráfica en la carta: un promedio, un rango, etcétera, por medio del cual se tratará de controlar una característica importante de un producto o un proceso.

2.1.1.1. Gráfica de promedios (\bar{X})

La forma operativa de construir una gráfica \bar{X} inicia determinando la característica de calidad a estudiar, para hacer un estudio inicial del desempeño del proceso sobre el tiempo en cuanto a la característica de calidad, es necesario, primero estudiar una parte del proceso que reflejen el comportamiento del mismo, en un tiempo suficientemente representativo, por ejemplo tres días, una semana o un mes. Usualmente esto se logra midiendo la característica de calidad, de una cantidad pequeña de productos consecutivos (subgrupo de productos) cada determinado período y, en lugar de analizar las

mediciones individuales, se analizan las medias y los rangos de los subgrupos (o muestras).

La gráfica \bar{X} , analizará el comportamiento sobre el tiempo de la columna de medias, con lo cual se tendrá información sobre la tendencia central y sobre la variación entre las muestras. Para calcular los límites de control, en un estudio inicial como el que estamos haciendo, es necesario contar con las medidas y rangos de alrededor de 20 muestras (puntos).

Los tipos Shewhart están determinados por la media y la desviación estándar de la variable X , que se grafica en la carta de la siguiente manera:

$$\mu_x \pm 3\sigma_x$$

En el caso de la gráfica \bar{X} , la variable X que se grafica es la media de las muestras, por lo que una forma de estimar su media, μ_x , es por:

$$\mu_x = \mu_{\bar{X}} \approx \bar{X}$$

donde \bar{X} es la media de las medias de las muestras, mientras que la desviación estándar de las medias de las muestras está dada por:

$$\sigma_x = \sigma_{\bar{X}} = S/\sqrt{n}$$

Donde n es el tamaño de muestra y σ es la desviación estándar de la característica de calidad original. Éste es un hecho importante a diferenciar en las cartas \bar{X} : una cosa es la desviación estándar, σ , de la característica de calidad y otra la desviación estándar de las medias de los subgrupos, $\sigma_{\bar{X}} = \sigma/\sqrt{n}$. Esta última depende de la primera y del tamaño de la muestra.

En la mayoría de los estudios iniciales se desconoce σ , por eso es necesario estimarla a partir de los datos muestrales. Para ello, una alternativa sería calcular la desviación estándar, S , sin embargo, hacerlo de esta forma incluiría la variabilidad entre muestras y dentro de las muestras, y para la carta \bar{X} es más apropiado incluir sólo la variabilidad dentro de muestras.

Existe otra alternativa que sólo incluye la variabilidad dentro de muestras, y que consiste en estimar σ mediante la media de los rangos, \bar{R} , de la siguiente manera:

$$\sigma \approx \bar{R} / d_2$$

donde:

d_2 es una constante que depende del tamaño de la muestra. En la tabla se dan varios valores de d_2 para distintos valores de n . De esta manera, los límites de control para una carta de control \bar{X} , en un estudio inicial, se obtendrán de la siguiente manera:

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

$$LCC = \bar{X}$$

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

donde:

$$A_2 R \approx 3\sigma_x = 3(\sigma/\sqrt{n}) \approx 3((R/d_2) / \sqrt{n}) = (3/(d_2\sqrt{n})) * R$$

Aunque los límites de control de una carta de medias se deducen a partir del supuesto de normalidad, si la característica de calidad no sigue una distribución normal, la carta \bar{X} sigue teniendo un buen desempeño para detectar cambios significativos en la tendencia central de la característica de calidad, lo anterior debido al teorema central del límite. Al respecto existen varios estudios que han concluido la robustez a la suposición de normalidad. Un supuesto que

se hace en la interpretación de todas las cartas de control que aquí se verán, es que hay independencia entre los resultados de muestra a muestra.

2.1.1.2. Gráfica de rangos (R)

Este diagrama es utilizado para estudiar la variabilidad de una característica de calidad de un producto o un proceso, y en ella se analiza el comportamiento sobre el tiempo de los rangos de las muestras o subgrupos. Los límites de control para una gráfica R se obtienen a partir de la misma forma general: la media más/ menos tres veces la desviación estándar de la variable que se grafica en la carta.

La estimación de la media de los rangos, μ_R , se hace a través de \bar{R} , mientras que la estimación de la desviación estándar de los rangos, σ_R , se obtienen por:

$$\sigma_R = d_3\sigma \approx d_3 (\bar{R}/d_2)$$

donde d_3 es una constante que depende del tamaño de la muestra. De esta manera los límites de una carta R, en un estudio, se obtienen de la siguiente manera:

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

$$LCC = \bar{R}$$

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

donde las constantes D_3 y D_4 están tabuladas directamente en la tabla, para varios tamaños de muestra.

De esta manera, dado que la carta R ha mostrado que la variabilidad del peso de los costales es estable, y que la carta de medias no detectó ninguna situación o causa especial que haya afectado la tendencia central del proceso, entonces los límites de directamente en la línea de producción.

2.1.1.3. Gráficas de medidas individuales (X)

La carta de individuales es un diagrama para variables de tipo continuo que se podría ver como un caso particular de la gráfica X- R, cuando el tamaño de muestra es $n = 1$, pero por las diferencias en los procesos que se aplican la vamos a explicar aparte.

Existen muchos procesos o situaciones donde no tiene sentido práctico agrupar medidas para formar una muestra o subgrupo y poder instrumentar una gráfica X – R, por lo que la mejor alternativa para controlar estos procesos mediante una carta de control es usar un tamaño de muestra $n = 1$. Ejemplos de estas situaciones son los siguientes:

- a. Procesos muy lentos, en los que resulta inconveniente esperar otra medición para analizar el desempeño del proceso, como sería el caso de procesos químicos que trabajan por lotes.
- b. Procesos en los que las mediciones cercanas sólo difieren por el error de medición como temperatura.
- c. Se inspecciona de manera automática todas las unidades producidas
- d. Resulta costoso inspeccionar y medir más de un artículo.

En estos casos la mejor alternativa es usar una carta de individuales, donde cada medición particular de la característica de calidad que se obtiene se registra en una carta. Para estimar la variabilidad de estas mediciones se

acostumbra usar el rango móvil de dos observaciones consecutivas, por lo que, al graficar estos rangos, se obtiene una carta de rangos móviles. Aspectos como consumo de agua o energía también pueden evaluarse con este tipo de cartas.

2.1.2. Factores que influyen al control de calidad

La calidad de los productos y servicios y por ende los gráficos de control estadístico están influidos directamente en nueve áreas básicas, o lo que podría considerarse como las "9 eMes";

- a. Mercados (*Markets*)
- b. Costo (*Money*)
- c. Administración (*Management*)
- d. Personal (*Men*)
- e. Motivación (*Motivation*)
- f. Materiales (*Materials*)
- g. Máquinas (*Machines*)
- h. Métodos modernos de información (*Modern inf*)
- i. Requisitos crecientes del producto (*Mounthin product*)

En cada área, la industria se encuentra hoy sujeta a condiciones que actúan sobre la producción en una forma experimentada en periodos anteriores.

a) Mercados

El número de productos nuevos o modificados ofrecidos al mercado crece de una manera explosiva. Muchos de esos productos son el resultado de tecnologías nuevas, que abarcan no solamente al producto en sí, sino también a los materiales y métodos empleados en su manufactura. Los negocios de hoy

están identificando cuidadosamente los deseos y necesidades de los consumidores como una base para el desarrollo de productos nuevos. Se ha hecho creer al consumidor que se cuenta con productos que satisfacen casi todas las necesidades. Los compradores están exigiendo más y mejores productos para cubrir sus necesidades actuales. Los mercados se ensanchan en capacidad y se especializan, funcionalmente, en efectos y en servicios ofrecidos. Para un número creciente de compañías, los mercados son internacionales y aún mundiales. Como resultado, los negocios deben ser más flexibles y capaces de cambiar de dirección rápidamente.

b) Costo

El aumento en la competencia en muchos campos de acción, aunado a las fluctuaciones económicas mundiales, ha reducido los márgenes de ganancia. Al mismo tiempo, la automatización y la mecanización han obligado a desembolsos de consideración para equipos y procesos nuevos. El resultado del aumento en las inversiones, que se deben amortizar aumentando la productividad, ha provocado que cualquier pérdida importante de producción, debida a desperdicios y a reproceso, se convierta en un asunto sumamente serio. Los costos de la calidad, conjuntamente con los de mantenimiento y de mejoramiento se han remontado a alturas sin precedente. Este hecho ha enfocado la atención de algunas gerencias hacia el campo del costo de calidad como un "punto débil" ayudar a mejorar las utilidades, disminuyendo sus costos y pérdidas operativas.

c) Administración

La responsabilidad de la calidad se ha distribuido entre varios grupos especializados. En otros tiempos, el jefe de taller y el ingeniero del producto

eran únicos responsables de la calidad del producto. Ahora, la mercadotecnia, debido a su función de planeación del producto, debe establecer los requisitos de éste. Los ingenieros tienen la misión de diseñar un producto que satisfaga los requisitos. Producción debe establecer y perfeccionar los procesos que tengan la capacidad adecuada para elaborar el producto dentro de las especificaciones fijadas por los ingenieros. Control de calidad reglamentará las mediciones de la calidad durante el flujo del proceso que aseguren que el producto final cumpla con los requisitos de calidad. Aun la calidad de servicio, después de que el producto ha llegado a las manos del comprador, se ha constituido en una parte importante del “paquete del producto”. Esto ha aumentado la carga impuesta a la alta gerencia, particularmente, en vista de la dificultad siempre creciente de localizar responsabilidades por apartarse de los estándares de la calidad.

d) Personal

El crecimiento rápido de conocimientos técnicos y la creación de campos totalmente nuevos, tales como la industria electrónica, han creado gran demanda de personas con conocimientos especializados. La especialización se ha hecho necesaria porque los campos de conocimiento se han incrementado no sólo en número sino en amplitud. Aun cuando la especialización tiene sus ventajas, también tiene desventajas al quebrantar la responsabilidad en la calidad de ciertas piezas del producto. Al mismo tiempo, la situación ha creado una demanda de ingenieros capacitados en la elaboración de planes que comprendan todos estos campos de especialización y organización de sistemas, que aseguren los resultados que se desean. Los numerosos aspectos de los sistemas operativos de los negocios se han convertido en el foco de la administración moderna.

e) Motivación

La creciente complejidad de llevar un producto de calidad al mercado ha aumentado la importancia de la contribución de la calidad por parte de cada empleado. La investigación de la motivación humana ha mostrado que además de la recompensa en dinero, los trabajadores de hoy requieren de refuerzos con un sentido de logro en sus tareas y el reconocimiento positivo de que están contribuyendo personalmente al logro de las metas de la compañía. Esto ha llevado a una necesidad sin precedente de educación sobre la calidad y para mejorar la comunicación de conciencia de calidad.

f) Materiales

Debido a los costos de la producción y a las exigencias en cuanto a calidad, los ingenieros están usando los materiales dentro de límites más estrechos que antes y empleando algunos metales raros y aleaciones metálicas para aplicaciones especiales. El resultado ha sido, especificaciones más estrictas en los materiales y una mayor diversidad en éstos. Ya no sirven para la aceptación la simple inspección visual y la comprobación del espesor, por el contrario, se exigen mediciones físicas y químicas, rápidas y precisas, empleando máquinas especiales de laboratorio, tales como espectrofotómetro láser, aparatos ultrasónicos y equipo de maquinado de prueba.

g) Máquinas y mecanización

La exigencia dentro de las compañías de lograr reducciones de costos y mayor volumen de producción, para satisfacer al consumidor en mercados altamente competitivos, esto ha conducido al uso de equipo más y más complicado, que depende en muchos de la calidad de los materiales

empleados. Una calidad buena ha llegado a ser un factor crítico para que una máquina pueda estar trabajando sin interrupción para la mejor utilización de las instalaciones. Esto se cumple para cualquier tipo de equipo de fabricación, desde troqueladoras profundas hasta máquinas automáticas de sub-ensamble. A medida que las compañías transforman su trabajo haciéndolo más automático y más mecanizado a fin de reducir sus costos, se hace más crítica una buena calidad que efectivamente haga real la reducción en costos y eleve la utilización de hombre y máquinas a valores satisfactorios.

h) Métodos modernos de información

La rápida evolución de la tecnología computacional ha hecho posible la recolección, almacenamiento, recuperación y manipulación de la información en escala nunca antes imaginada. Esta nueva y poderosa tecnología de la información ha proporcionado los medios para un nivel de control sin precedente de máquinas y procesos durante la fabricación y de los productos y servicios aun después de que hayan llegado al consumidor. Los nuevos y constantemente mejorados métodos de procesamiento de datos han puesto a la disposición de la administración información mucho más útil, exacta, oportuna y predictiva sobre la cual basar las decisiones que guían el futuro de un negocio.

i) Requisitos crecientes del producto

Los avances en los diseños en ingeniería que exigen un control más estrecho en los procesos de fabricación han transformado a las “cosas insignificantes”, que no se tenían en cuenta en otros tiempos, en cosas de gran importancia potencial. El polvo en un local donde se haga el ensamblado de tubos electrónicos, vibraciones del piso, transmitidas a la herramienta de una

máquina de precisión o variaciones de temperatura, durante el ajuste de sistemas de navegación aeroespacial son riesgos en la producción moderna.

El aumento en la complejidad y los requerimientos de desempeño superior de todo producto han servido para hacer más grande la importancia de la confiabilidad y seguridad del producto. Debe ejercerse una vigilancia constante para evitar que factores, conocidos o desconocidos, se introduzcan en el proceso y disminuyan el grado de confiabilidad de los componentes o de todo el sistema. Solamente el ejercicio de tal vigilancia puede conducir a un diseño fundamental de confiabilidad.

Por lo anterior, nos hemos enterado de que cada uno de los factores que afectan la calidad está expuesto a cambios continuamente. Cambios que a su vez deben ser atendidos con modificaciones en los programas del control de la calidad dinámica.

2.1.3. Causas variables más comunes al azar

La que permanece día a día, lote a lote y que es parte del sistema. La materia prima, procesos y métodos, diseño, condiciones ambientales, administración de procesos, ergonomía, etc., estas serán el resultado de la acumulación y combinación de diferentes fuentes de variabilidad.

Las causas comunes son difíciles de identificar y eliminar, al ser inherentes al sistema; no obstante, representan a largo plazo la mayor oportunidad de mejora.

Para resolver todos los problemas de causas comunes, es necesario atender el problema general, no el particular; es necesario modificar el sistema,

ya que ambas se hacen solo con un plan que diagnostica las verdaderas causas de fondo.

2.1.4. Variación de vida a causa de condiciones especiales

No es parte del sistema de causas comunes esta variación, es causada por situaciones o circunstancias especiales que no están presentes permanentemente en el sistema.

Y de una falla ocasionada por el mal funcionamiento de una pieza en una máquina o el empleo de materiales no habituales. Las causas especiales por su naturaleza relativamente discreta, a menudo pueden ser identificadas y eliminadas si se cuenta con los conocimientos o condiciones para ello.

Un proceso que trabajó sólo con causas comunes de variación se dice que está en control estadístico (o es estable), independientemente que su variabilidad sea mucha o poca, pero es predecible en el futuro inmediato. En un proceso en control estadístico la calidad, la cantidad y los costos son predecibles.

Un proceso en el que están presentes causas especiales de variación se dice que está fuera de control estadístico (o es inestable). Este tipo de procesos es impredecible en el futuro inmediato, porque en cualquier momento pueden aparecer esas situaciones que tienen un efecto especial sobre la variabilidad.

Estos dos tipos de variabilidad llevan a cometer dos errores en la gestión cotidiana en las empresas. ERROR 1: reaccionar ante un cambio (efecto o problema) como si proviniese de una causa especial, cuando en realidad surge

de algo mucho más profundo en la empresa, como son las causas comunes de variación o el sistema mismo. ERROR 2: trata un efecto o cambio como si proviniera de causas comunes de variación, cuando en realidad se debe a una causa especial.

Cada uno de estos dos errores causa una pérdida. Se puede evitar uno u otro, pero no ambos. No es posible reducir a cero ambos errores. Lo mejor que se puede hacer es tratar de cometer rara vez ambos, y para ello, es necesario contar con un instrumento que distinga la mayoría de las veces, cuándo existe un cambio, un problema o una variación, ya que se debe a causas comunes y, cuándo a causas especiales. Este instrumento lo constituyen precisamente las cartas de control, ideadas para ese propósito por el Dr. Walter Shewhart en la segunda mitad del año veinte.

2.1.5. Límites de control del proceso

La ubicación de los límites de control en una carta es un aspecto fundamental, ya que si éstos se ubican demasiado lejos de la línea central, entonces será más difícil detectar los cambios en el proceso, mientras que si se ubican demasiado estrechos se incrementará el error tipo 1

Para calcular los límites de control se debe proceder de tal forma que, bajo condiciones de control estadístico, la variable que se gráfica en la carta tenga una alta probabilidad de caer dentro de tales límites. Por lo tanto, una forma de proceder es encontrar la distribución de probabilidades de la variable, estimar sus parámetros y ubicar los límites de tal forma que un alto porcentaje de la distribución esté dentro de ellos, esta forma de proceder se conoce como límites de probabilidad.

Una forma más sencilla y usual se obtiene a partir de la relación entre la media y la desviación estándar de una variable, que para el caso de una variable con distribución normal con media μ y desviación estándar S , y bajo condiciones de control estadístico se tiene que entre $\mu-3S$ y $\mu+3S$ se encuentra el 99.73% de los posibles valores que toma tal variable. En caso de que no se tenga distribución normal, pero se tenga una distribución unimodal y con forma no muy distinta a la normal, entonces se aplica la regla empírica o la extensión del teorema de Chebyshev, bajo estas condiciones, se presenta a continuación un modelo general para una carta de control.

Sea X la variable (o estadístico) que se va a graficar en la carta de control, y suponiendo que su media es μ_x y su desviación estándar S_x , entonces el límite de control superior (LCS), la línea central y límite de control inferior (LCI) están dados por:

$$\text{LCS} = \mu_x + 3S_x$$

$$\text{LCC} = \mu_x$$

$$\text{LCI} = \mu_x - 3S_x$$

Con estos límites, y bajo condiciones de control estadístico, se tendrá alta probabilidad de que los valores de X estén dentro de ellos. En particular, si X tiene distribución normal, tal probabilidad será de 0.9973, con lo que se espera que bajo condiciones de control sólo 27 puntos de 10,000 caigan fuera de los límites. Este tipo de carta de control fue originalmente propuesta por el Dr. Walter A. Shewhart, por lo que se les conoce como cartas de control de Shewhart.

La forma de estimar la media y la desviación estándar de X a partir de las observaciones del proceso, dependerá del tipo de variable que sea X , ya sea un promedio, un rango o un porcentaje.

Un aspecto importante a resaltar en la interpretación de una carta \bar{X} es el hecho de que sus límites de control no son equivalentes a las especificaciones o tolerancias de la característica de calidad; es más, no tienen ninguna relación, ya que los límites de control son obtenidos a partir de la variabilidad del proceso, y en la carta \bar{X} , representan la realidad en cuanto a la variabilidad de las medias de las muestras, en tanto que las especificaciones son valores deseados para las mediciones individuales de la característica de calidad.

Los límites de control en una carta \bar{X} , sirven para estudiar la realidad o variabilidad del proceso, vista a través de las medias, y no sirven para ver si se cumple con las especificaciones deseadas. Por ello no se les debe confundir, y mucho menos pretender graficar las especificaciones en una carta \bar{X} .

Las fórmulas que se emplean para el cálculo de los límites en las gráficas de control por variables de Shewhart sin estándar dado, son las siguientes:

Tabla III. Cuando el rango se usa como medida de dispersión

Promedio:	Límite inferior	=	$X - A2 R$
	Límite central	=	X
	Límite superior	=	$X + A2 R$
Rango:	Límite inferior	=	$D3 R$
	Límite central	=	R
	Límite superior	=	$D4 R$

Fuente: Propia.

Tabla IV. Cuando la desviación estándar se usa como medida de Dispersión.

Promedio:	Límite inferior	=	$X - A3 S$
	Límite central	=	X
	Límite superior	=	$X + A3 S$
Desviación Estándar	Límite inferior	=	$B3 S$
	Límite central	=	S
	Límite superior	=	$B4 S$

Fuente: Propia.

donde:

X = gran promedio R = rango medio S = desviación estándar de la muestra.

Las fórmulas que se emplean para el cálculo de los límites en las gráficas de control por variables de Shewhart con estándar dado, son las siguientes:

Tabla V. Cuando el rango se usa como medida de dispersión

Promedio:	Límite inferior	=	$X_o - A S_o$
	Límite central	=	X_o
	Límite superior	=	$X_o + A S_o$
Rango:	Límite inferior	=	$D_1 S_o$
	Límite central	=	R_o (o $d_2 S_o$)
	Límite superior	=	$D_2 S_o$

Fuente: Propia.

Tabla VI. Cuando la desviación estándar se usa como medida de dispersión

Promedio:	Límite inferior	=	$X_o - A S_o$
	Límite central	=	X_o
	Límite superior	=	$X_o + A S_o$
Desv. estándar	Límite inferior	=	$B_5 S_o$
	Límite central	=	s_o (o $c_4 S_o$)
	Límite superior	=	$B_6 S_o$

Fuente: Propia.

donde:

X_o = valor del promedio adoptado para calcular la línea central y los límites de la gráfica de control.

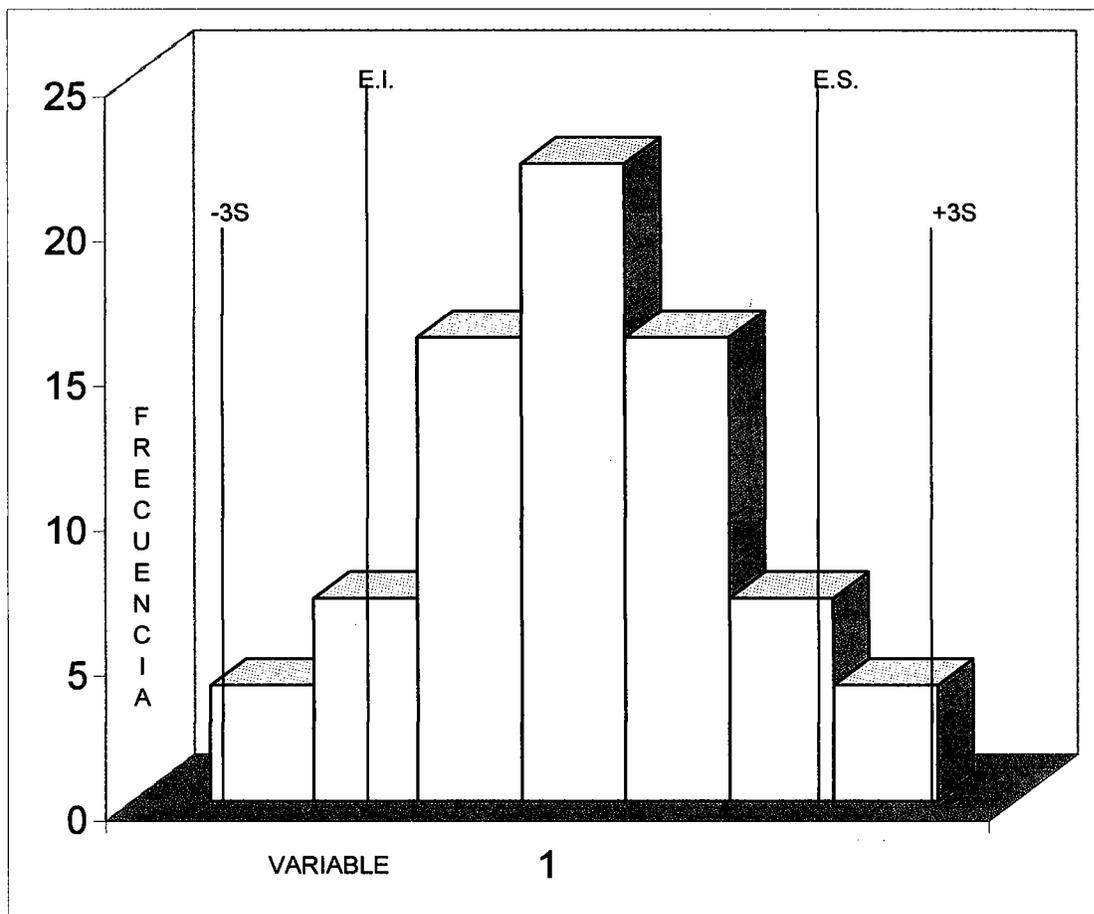
R_o = Valor del rango adoptado para calcular la línea central y los límites de la gráfica de control.

s_o = Valor de la desviación estándar de la muestra adoptada para calcular la línea central y los límites de la gráfica de control.

S_o = Valor de la desviación estándar del lote o de la población adoptado para calcular la línea central y los límites de control de la gráfica de control.

Para estudiar la capacidad del proceso para cumplir con especificaciones se utilizan los índices de capacidad o un histograma de las características en estudio. Como el que se muestra en la figura doce.

Figura 12. Histograma



Fuente: A.V. Geigenbaum. **Control total de la calidad**. 5ª ed. México CECSA, 1988. 109p.

En el histograma de la figura doce se ha añadido unas líneas verticales para las especificaciones y para los límites naturales del proceso (en $-3s$ y $+3s$). Estos últimos reflejan la realidad de la variación de la variable en estudio, y ha sido calculada estimando la desviación estándar, σ , de la variable mediante la media de los rangos, así, los límites naturales de variabilidad se calcularon de la forma siguiente:

$$mx \pm 3\sigma_x = \bar{X} \pm 3 (\bar{R}/d_2)$$

donde:

la variable X es la variable en estudio, y el valor de d_2 se toma de la tabla XII. Según el tamaño de la muestra que se tenga.

Con base en lo anterior, y en el contexto de un proceso que se estudia con una carta de control X-R, tenemos tres tipos de límites:

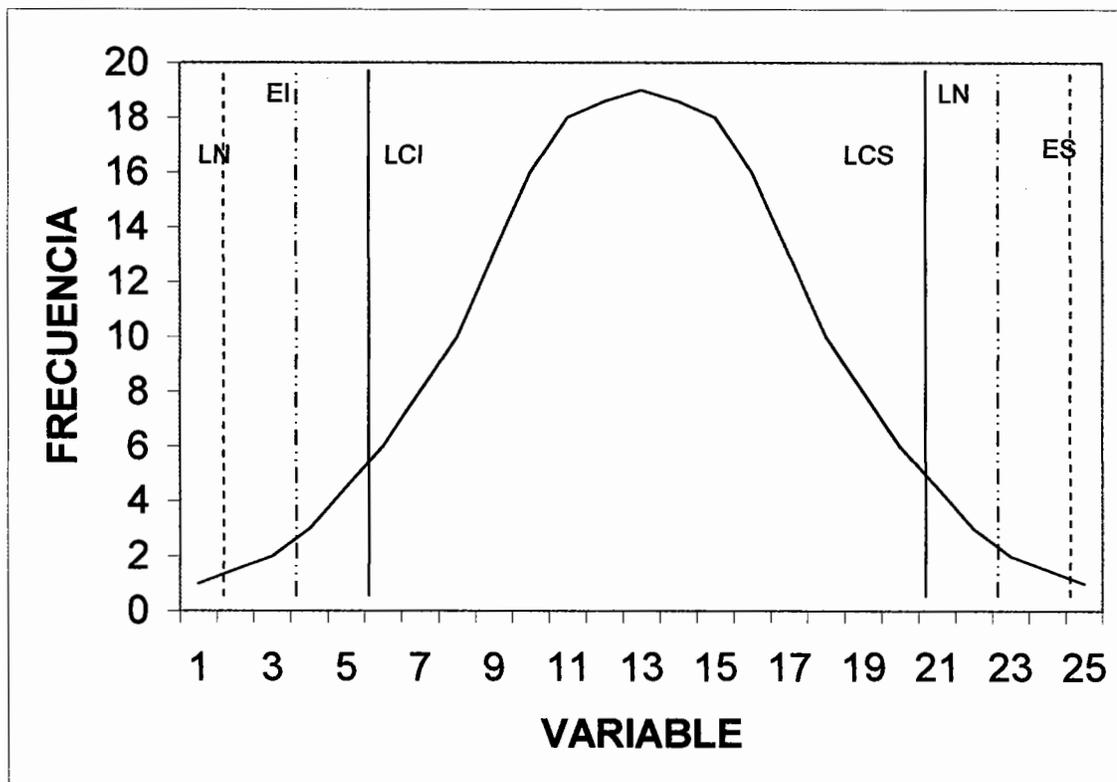
- a. Los límites de control de la carta X, que reflejan la variabilidad del proceso, vista ésta a través de las medias de las muestras.
- b. Las especificaciones (o límites de especificaciones), que representan la calidad o el nivel deseado para la característica de calidad. Estos se definen en el diseño del producto o del proceso, y se establecen de acuerdo con criterios de calidad.
- c. Los límites naturales del proceso, que representan el desempeño actual del proceso. Son la variabilidad de las mediciones individuales, y no el de la medias como en el caso de los límites de control de la carta X. La comparación de los límites naturales con los de especificaciones permitirá saber si se está produciendo la calidad deseada.

El cálculo específico de los límites de las gráficas de control será un asunto directo. Hay ocho etapas que deben seguirse para establecer un control de variables en esta base sin estándar dado:

- Selección de la característica que se deba controlar: longitud, área, dureza, etcétera.
- Selección de un número conveniente de muestras del producto que se trate y toma de los datos de la medición de la característica de calidad que se haya elegido. El número de muestras será variable, de acuerdo con la índole de cada proceso que se examine, pero como simple ilustración, se da el dato de un ejemplo formado por 25 muestras. Cada muestra debe contener cierto número de unidades individuales. El tamaño más efectivo que se ha determinado en diversas aplicaciones industriales ha sido el de cinco unidades. Las muestras se deben tomar a intervalos regulares (cada hora, cada día), y se van registrando los datos de cada una en el mismo orden en que sean seleccionadas y medidas.
- Calcular los valores del promedio y de la amplitud en cada una de las 25 muestras.
- Calcular el gran promedio $\bar{\bar{X}}$ de los 25 promedios de las muestras.
- Calcular la amplitud promedio \bar{R} de las 25 muestras.
- Calcular los límites de control, con los resultados de los promedios y las amplitudes de esta muestra general.

- Analizar los promedios y las amplitudes de cada muestra con relación a esos límites de control. Determinar si existen algunos factores que requieran una acción correctiva, antes de que esos límites de control sean revisados para su aprobación.
- Determinar si los límites de control resultan económicamente satisfactorios para el proceso.
- Emplear la gráfica de control durante la producción real, como base para controlar la característica de calidad de que se trate, y asegurarse de que el promedio del proceso y la dispersión, no presenta cambios significativos.

Figura 13. Los tres tipos de límites



Fuente : Humberto Gutiérrez Pulido. **Calidad total y productividad**. México, McGraw Hill, 1997. 154p.

2.1.6. Ventajas del uso adecuado del control estadístico

Algunas de las ventajas mencionadas aquí, son las mas relevantes en la industria, pero haciendo la salvedad de que existen muchas otras.

- a. Es un programa que integra a todas las personas que forman parte de una empresa, desde sus respectivos jefes, hasta los operadores, dándoles la oportunidad de participar directamente en la solución de problemas de sus áreas de trabajo.
- b. Las mediciones son realizadas y graficadas por el operario.
- c. Las fallas en el proceso pueden ser corregidas, debido a que da los elementos necesarios para realizar cualquier tipo de corrección.
- d. Indica el nivel de cumplimiento del proceso de manufactura.

2.1.7. Beneficios del uso adecuado de control estadístico

Algunos de los beneficios son:

- a. Reducir costos en desperdicio de material, (en material de proceso).
- b. Mejorar la uniformidad del producto y del proceso.
- c. Mejorar los indicadores de producción (productividad y eficiencia).
- d. Reduce el costo de inspección del producto, debido a que no se debe revisar el 100% del producto.
- e. Ayuda grandemente a mejorar el ambiente de trabajo.

2.1.8. Barreras de la implementación del control estadístico

- a. Falta de apoyo de la gerencia en cualquiera de sus niveles.
- b. Compromiso de un departamento únicamente.
- c. Compromiso a corto plazo, falta de persistencia.
- d. Implantación con poca planificación para el desarrollo del control de calidad estadístico (C.E.P.).
- e. Fallas en la contratación de un estadístico competente o en la realización de la capacitación del estadístico a los empleados.
- f. Medir el éxito y dirigir el programa basado en las ganancias a corto plazo.
- g. Fallas en solicitar la cooperación del nivel operativo.
- h. Dependencia excesiva de un control de calidad computarizado.
- i. Falta de presupuesto para realizar cambios significativos en el sistema: maquinaria nueva, capacitación, materia prima de mejor calidad.
- j. Falta de investigación de mercado; desconocimiento de lo que quiere el cliente.
- k. Falta de ensayo de materia prima para verificar su calidad, lo cual nos vendría a afectar el producto defectuoso.
- l. Falta de coordinación del programa.

3. ESTUDIO SITUACIONAL DE LA ESTACIÓN DE HORNEADO DEL ÁREA DE PRODUCCIÓN DE UNA PLANTA DE ROTOMOLDEO DE PRODUCTOS DE POLIETILENO.

3.1. Descripción del área de horneado de la producción de rotomoldeo

El proceso de moldeo rotacional es engañosamente simple, consiste en cargar un molde hueco con material plástico en forma de líquido o polvo, una vez que ha sido llenado se cierra y se sella el molde, luego se pone a rotar sobre sus ejes horizontal y vertical, el molde en rotación se mete a un horno donde es sometido a altas temperaturas, de tal manera que el material plástico alcanza la temperatura de fusión y se adhiere al molde, mientras el proceso de rotación continua.

Posteriormente el molde es colocado en una cámara de enfriamiento donde es rociado con aire, agua, o bien una llovizna combinada de ambos, cuando el molde se enfría, el material se solidifica tomando la forma del molde.

Finalmente, el molde es trasladado a la estación donde es abierto, el molde se vuelve a cargar y el proceso se repita tantas veces como se quiera.

El moldeo rotacional no debe confundirse con el vaciado por centrifugación, el cual lanza el material plástico a la periferia de la cavidad, mientras que en el moldeo rotacional el material plástico se mantiene en forma de pasta en la parte inferior del molde.

Conforme el molde rota sobre dos ejes, toda la superficie interna de la cavidad tienen contacto con esta pasta de material plástico líquido o en polvo, cuando la temperatura de la cavidad es lo suficientemente alta, el plástico se va

adhiriendo a las paredes internas. Conforme el molde continúe rotando, esta delgada capa de material plástico va aumentando gradualmente su espesor hasta que la pasta queda uniformemente repartida por toda la pared interior del molde.

Mientras el molde continúe rotando, la pasta de material plástico pasa una y otra vez por toda la superficie interna del molde. Este proceso se repite hasta que todo el material plástico ha sido depositado sobre dicha superficie interior de la cavidad.

Es fácil comprender que el proceso de moldeo rotacional es el ideal para producir formas esféricas como flotadores o pelotas.

El rotomoldeo es un proceso de contradicciones, es simple en concepto, pero complicado en ejecución, existe un número limitado de resinas plásticas que son moldeables, pero el número de formas posibles ilimitado. El tiempo de desarrollo de nuevos productos es corto, pero los ciclos de moldeo son largos, las máquinas y herramientas son de bajo costo, pero las partes moldeadas son de costo relativamente alto.

3.2. Medios de producción

Los elementos básicos de una máquina de rotomoldeo o los medios de producción son:

1. Dispositivo para montar el molde a la máquina
2. Un mecanismo para rotar biaxialmente el molde y poner todas las superficies internas de la cavidad en contacto repetitivo con el material plástico.

3. Un horno u otro medio de calentamiento para el molde y el subsecuente fundido del material plástico para permitir que cubra la superficie interna de la cavidad.
4. Una cámara de enfriado, u otro medio, para enfriar el molde y la parte plástica moldeada contenida en el interior del mismo, al punto en que esta se haya endurecido lo suficiente para mantener su forma.
5. La máquina también debe proporcionar un espacio abierto para retirar la parte moldeada de la cavidad y para la recarga del molde con material para el siguiente ciclo.
6. Un motor u otro mecanismo para mover los moldes entre las estaciones mencionadas arriba, así como dentro de las mismas.
7. La máquina moldeadora también debe incorporar controles adecuados para ajustar y mantener el tiempo, la temperatura y la velocidad de rotación en las varias etapas del ciclo de moldeo.

3.2.2. Maquinaria

Conocer la maquinaria que utiliza esta industria es útil para el diseñador porque le ayuda a definir el modelo adecuado en el que se producirá el producto desarrollado, al conocer sus ventajas y limitantes, por esta razón, se presenta una breve descripción de las máquinas desarrolladas exclusivamente para el rotomoldeo.

3.2.2.1. Máquina con riel o shuttle machine

Esta fue uno de los primeros modelos utilizados en el rotomoldeo, su principal característica es el sistema de rotación, en donde uno de los ejes cumple el giro de 360 grados y el otro simplemente genera un alabeo de 45 grados. Con estas variables no existen giros completos en un eje, por lo que es

muy difícil moldear piezas esféricas utilizando esta máquina, sin embargo, canoas, pipas tinacos y en general objetos que presentan proporciones alargadas, se moldean con excelentes resultados. Este modelo tiene integrado un quemador, por lo que no es necesario un horno ni una cámara de enfriamiento, consiguiendo de esta forma que todo el ciclo se realice en el mismo lugar.

3.2.2.2. Horno

Algunas cualidades necesarias que debe contener el horno para el rotomoldeo son:

- ❖ Brazo único con movimiento de engranajes dotado de dos soportes porta moldes;
- ❖ Sistema de calefacción a gas, gasóleo o eléctrico;
- ❖ Ciclos de cocción y operaciones de apertura/cierre puerta completamente automáticos;
- ❖ Termorregulador de precisión para la gestión de la temperatura dentro de la cámara de cocción;
- ❖ Empleo de dos moto variadores para la regulación independiente de la secundaria la rotación primaria;
- ❖ Sistema de enfriamiento compuesto por tanque de acero inoxidable de soporte porta moldes para inmersión en agua;
- ❖ Temporizador para la gestión automática de la duración del enfriamiento.

3.2.2.3. Carros de rotación biaxial

La relación de la rotación biaxial es proporcional al tamaño del molde a utilizar o el producto a fabricar.

3.2.2.3.1. Mecanismo de rotación del molde

El movimiento que presenta la rotación del molde es el giro sobre el eje del carro de rotomoldeo, este al girar 360 grados sobre su eje induce el material fundido hacia las paredes del molde para iniciar la formación del producto.

3.2.2.3.2. Mecanismo de rotación del carro

El movimiento que presenta la rotación del carro es el giro sobre el eje del carro, logrando girar transversalmente e incrementando la rotación del molde debido a la rotación biaxial, las relaciones de movimientos se presentaron anteriormente para conocimiento general.

3.2.3. Equipo de producción secundario

Las operaciones aplicadas en el producto, cuando este se encuentra ya completamente moldeado, y que sirven para definir todas sus características, son denominadas como operaciones secundarias. Estas pueden ser tan sencillas como eliminar la rebaba de la línea de partición o embalar el producto, o tan complicadas como maquinar, soldar, pintar, ensamblar, etiquetar, realizar pruebas técnicas, etc.

Estas operaciones son de gran utilidad por que ayudan a definir características que no pueden obtenerse al moldear el producto o a redefinir detalles obtenidos durante el mismo. Existen diversas formas para beneficiarse de estos procesos, por ejemplo, en muchos productos reducir costos de proceso al moldear dos piezas unidas para después separarlas reduce costos de producción.

El equipo necesario para ejecutar estas actividades son:

- Rebabeador
- Barreno
- Rauter
- Sierra circular
- Cuchillas
- Dremel
- Sierra de cardar
- Fresadora de superficie
- Lijadoras
- Aspiradores industriales

3.2.4. Operaciones secundarias en el proceso de rotomoldeo

Algunas partes plásticas moldeadas rotacionalmente salen del molde listas para usarse, sin embargo, en la mayoría de los casos, las partes requieren ciertas operaciones secundarias para prepararlas para su uso final.

Las operaciones secundarias, conocidas también como operaciones post moldeo, terminado y decorado, o simplemente secundarias pueden ser tan simples como eliminar la rebaba de la línea de separación o tan complicadas

como maquinar, soldar, pintar, ensamblar, etiquetar, probar y empacar para protegerlos.

En el desarrollo de un nuevo producto rotomoldeado, es importante recordar que:

1. El producto final requiere que se complete exitosamente cada paso en el procedimiento de manufactura hasta su terminación para que refleje las capacidades completas del proveedor.
2. Cada operación en el procedimiento de manufactura puede aumentar o disminuir la utilidad del producto y causar desecho excesivo o trabajo innecesario.
3. Las operaciones secundarias presentan al moldeador la oportunidad de negocios adicionales al abrirle la puerta para otro servicio.

3.2.4.1. Maquinado y corte

Habiendo minimizado la necesidad de tanto herraje y de operaciones secundarias, tanto como sea posible, el siguiente paso será el considerar los métodos disponibles para manejar las operaciones secundarias que no pueden ser evitadas. A continuación se presenta un repaso breve de las operaciones secundarias más frecuentemente usadas.

Contorneadores (Routers): Se han usado por muchos años, básicamente, en un robot multi eje, un router es controlado por una guía con excelente precisión y repetibilidad, el router numéricamente controlado podría ser usado para reducir el elemento humano, el contorno controlado por

computadora cuenta con muchas opciones deseables, sin embargo, en muchos casos, una cantidad pequeña de piezas a maquinar no justifica el alto costo inicial, a menos que el equipo se pueda utilizar en muchos proyectos diferentes.

Barrenado: el rotomoldeo es un proceso ideal para producir partes de plástico completamente cerradas. Pocos procesos plásticos pueden decir esto, sin embargo, las partes completamente cerradas no son muy útiles, a menos que se están produciendo productos como flotadores o pelotas. La mayoría de las piezas moldeadas requieren una abertura de algún tipo y es bastante normal maquinar aberturas en estas piezas o incluso quitar parte de la pieza que sale del molde, para obtener un producto útil. Los hoyos pequeños son generalmente barrenados usando brocas estándar, los hoyos mas grandes pueden requerir una sierra de hoyos o una herramienta especial de perforación. Ubicar hoyos a tolerancias estrictas puede hacerse mediante plantillas con agujeros que guíen la broca del taladro siempre en los mismos lugares. También puede ser tan simple como marcar el lugar exacto de los hoyos con pequeñas puntas en la cavidad del molde que dejan pequeñas hendiduras en las piezas de plástico repitiéndose siempre en el mismo lugar.

El barrenado de hoyos y el corte de cuerdas para roscas son dos operaciones secundarias con mucho en común. En ocasiones las cuerdas externas son maquinadas en postes moldeados cuerdas internas en hoyos barrenados o moldeados. Esto resulta especialmente cierto cuando se trata cuerdas finas con diámetro pequeño.

3.2.4.2. Acabados de rotomoldeo

Los acabados de producto de polietileno de rotomoldeo no son más que aquellas actividades para dar la presentación terminada del producto para el

consumidor final. La ejecución efectiva de las operaciones secundarias o de acabados requiere planeación cuidadosa, para planear efectivamente, un moldeador debe tener un entendimiento total del uso final y de los requerimientos funcionales del producto que se esta diseñando. La lista de verificaron de diseño es de utilidad para juntar y registrar este tipo de información antes de entregar el producto terminado a Bodega de materiales.

3.3. Cuadro de análisis comparativo de falla de carros de rotomoldeo

Se elaboró un análisis situacional del estado de las fallas de los carros de rotomoldeo en la Planta de Plástico obteniendo los siguientes resultados:

FALLA	ORIGEN
Rompimiento de cadenas de sistema	mecánico
Mala rotación de eje mayor	eléctrico
Mala rotación de eje menor	eléctrico
Desajuste en catarina de carro	mecánico
Mal alineado de llantas de carro	mecánico
Mal encendido de sistema	capacitación
Mal lubricación de carro	capacitación

Fuente: Propia.

3.4. Incidencia de fallas mecánicas en el proceso productivo

La información registrada su incidencia se analizará tomando por aparte cada uno de los puntos críticos o variables a controlar pero siguiendo un mismo formato de análisis para estandarizar el control estadístico para cualquier variable o punto crítico del proyecto, siendo este el siguiente:

PASO 1: recolectar datos de la variable o punto crítico en estudio y anotarlos en la hoja de registro de recolección de datos, se tomará las columnas igual a los carros y las filas igual a los días de la semana, de lo cual se asume que las muestras serán los carros y el tamaño de la muestra los días de la semana que siempre serán de 5.

PASO 2: calcular la media aritmética de cada muestra:

$$\bar{X}_i = \sum \text{observaciones} / 5$$

PASO 3: calcular el rango de la muestra:

$$R_i = \text{Dato mayor} - \text{Dato menor}$$

PASO 4: calcular la media de medias de la semana en estudio:

$$\bar{X} = \sum X_i / \# \text{muestras}$$

PASO 5: calcular el rango de rangos o sea la media de los rangos:

$$R = \sum R_i / \# \text{muestras}$$

PASO 6: calcular los límites de control de la media de medias:

$$\text{L.C.S.} = \bar{X} + A^2 * R$$

$$\text{L.C.C.} = \bar{X}$$

$$\text{L.C.I.} = \bar{X} - A^2 * R$$

PASO 7: calcular los límites de control del rango de rangos:

$$\text{L.C.S.} = R * D4$$

$$\text{L.C.C.} = R$$

$$\text{L.C.I.} = R * D3$$

Los valores A2, D3 y D4 son constantes para las gráficas de medias y rangos que se pueden observar en la parte de anexos.

PASO 8: realizar gráficas de medias y de rangos con los datos obtenidos de los pasos anteriores.

PASO 9: analizar resultado de las gráficas obtenidas según criterios descritos en capítulo y corregir o reducir los problemas que se presentasen, para ver resultados en la siguiente semana al aplicar los pasos descritos anteriormente.

3.4.1. Definición de variables críticas en la producción de rotomoldeo

Antes de diseñar el sistema de control, para el control de los carros de rotomoldeo de polietileno en proceso, es preciso identificar puntos críticos mecánicos dentro del proceso mismo.

Los criterios utilizados para identificar puntos mecánicos críticos a controlar se basan en el estudio del proceso; y a la información suministrada por un estudio efectuado hace algún tiempo en la empresa sobre las especificaciones para el prestar un servicio de calidad.

Los puntos críticos detectados y observados son los mostrados en el párrafo anterior y que se describen a continuación:

- a. Rompimiento de cadenas: las cadenas que transmiten el movimiento al eje mayor y menor del carro de rotomoldeo a menudo y con frecuencia se revientan afectando el tiempo productivo del turno en

- cuestión por lo que generan un aumento en el costo de mantenimiento y producto no conforme.
- b. Desajuste en la catarina del carro: debido al desgaste que sufre los dientes de las coronas van creando un juego o cabeceo del molde cuando este se encuentra en su respectivo proceso, creando un incremento en el tiempo de horneado o bien generando una inconformidad en el aspecto de uniformidad del grosor de la capa del producto de polietileno.
 - c. Mal alineación de llantas de carro: una vez el carro se encuentra en su proceso productivo, este se desplaza a lo largo de rieles que le dan la dirección de su movimiento, si las llantas se encuentran desajustadas o mal alineadas estas generan un rompimiento de la cadena de dirección, incrementando el tiempo de producción por producto o bien creando una no conformidad del producto terminado de polietileno.

3.4.2. Registro de variables críticas mecánicas de los carros

Es importante llevar un registro de todos los datos recabados al implementar el sistema de control del sistema.

El número de observaciones, los días y el tamaño de la muestra para cada punto crítico o variable a controlar fue elegido tratando de que estos fueran representativos, para el ensayo piloto.

Se elaborará un formato para el registro de los datos recolectados de los puntos críticos o variables a estudiar al aplicar el programa de control. Este formato esta subdividido para una recolección por semana, para un total de cinco

semanas y del cual se llevara un control mensual, pero que se deberá analizar por semana para evaluar y verificar el comportamiento de los carros según el punto crítico o variable a estudiar, para su respectiva mejora continua.

3.5. Análisis del mantenimiento actual de los carros de rotomoldeo

En la actualidad el costo de operar un equipo hasta que este falla (Mantenimiento Reactivo), es muy alto en términos de tiempo improductivo, partes de repuesto, mano de obra y costo de la reparación. Las técnicas de Mantenimiento Preventivo se basan en el cambio o reemplazo de partes en función de un intervalo de tiempo y en la mayoría de las veces las piezas son retiradas cuando aún tienen capacidad de seguir funcionando - Según Forbes Magazine; "Un 33% de las actividades de mantenimiento preventivo son desperdiciadas".

3.5.1. Programa de mantenimiento

En sistemas de los carros de rotomoldeo mecánicos operados bajo la protección de lubricantes líquidos, controlar cinco causas de falla plenamente reconocidas, puede llevar a la prolongación de la vida de los componentes en muchas ocasiones hasta de 10 veces con respecto a las condiciones de operación actuales. Estas cinco causas críticas a controlar son:

- Partículas
- Agua
- Temperatura
- Aire
- Combustible o compuestos químicos

Cualquier desviación de los parámetros de las causas de falla anteriores, dará como resultado deterioro del material del componente, seguido de una baja en el desempeño del equipo y finalizando con la pérdida total de los componentes o la funcionalidad del equipo.

Las condiciones de uso de los equipos que conducen a fallas (condicionales de falla), producen deterioro material (falla incipiente), que es la causa directa de la pérdida en el desempeño del equipo (falla operacional) y que finalmente resulta en la falta de funcionalidad del equipo

3.5.2. Mantenimientos correctivos

El mantenimiento correctivo de la Planta se pretende eliminar con la implementación del programa piloto del control de las variables críticas mecánicas de los carros de la planta de rotomoldeo, pero como plan de contingencia se debe de diseñar un estrategia para reaccionar inmediatamente cuando se presente algún fallo mecánico en plena producción.

3.5.3. Mantenimiento preventivo

El mantenimiento preventivo establece una técnica de detección temprana, monitoreando el cambio en la tendencia de los parámetros considerados como causa de falla, para tomar acciones que permitan al equipo regresar a las condiciones establecidas que le permitan desempeñarse adecuadamente por mas tiempo. Este programa lo definirá el jefe de producción en ayuda del supervisor del área de producción y mantenimiento.

3.5.4. Generación de argumentos basados en análisis anterior

A pesar que cuando el proceso productivo en general muestre consistencia y poca variabilidad en las fallas mecánicas de los carros de rotomoldeo, se deben tomar las siguientes acciones correctiva y preventivas, como soporte al sistema de control basándose en la aplicación de un mantenimiento proactivo, y aunque el proceso sea estable estadísticamente, si no se remedia el mal detectado, este se volverá crónico.

Las acciones de soporte a tomar para centrar el proceso productivo del control de las fallas críticas mecánicas de los carros de rotomoldeo son:

- a. Supervisar en planta directamente a los operadores.
- b. Poner más cuidado en el método de trabajo.
- c. Capacitar a los operadores.
- d. Continuar con controles estrechos sobre los promedios del proceso en cualquier punto crítico sea este mecánico, eléctrico o de capacitación.

Estas acciones de soporte al igual que las acciones secundarias se seleccionaron luego de realizar una sesión de lluvia de ideas de cómo mejorar el sistema de control de con los coordinadores de área así como con el jefe de producción.

Las acciones secundarias a tomar en cuenta son:

- a. Revisar y dar mantenimiento a la maquinaria y equipo secundario.
- b. Mejorar los métodos de trabajo y las condiciones en las estaciones de trabajo tanto operativas como de instalación.

c. Documentar a los operadores con información impresa: 

4. DISEÑO Y LOGÍSTICA DEL SISTEMA DE MEJORA Y CONTROL DE VARIABLES CRÍTICAS DE LOS CARROS DE ROTOMOLDEO.

4.1. Organización y delegación de las funciones de control estadístico

La responsabilidad de organizar y delegar las actividades de calidad recae sobre la alta gerencia de producción; esta debe crear un nuevo departamento o área que se ocupe de concretar el trabajo relacionado con la calidad del funcionamiento de los carros de rotomoldeo durante el proceso y contar con las siguientes actividades:

4.1.1. Asignación de actividades para un control de calidad

Esta área de trabajo asignada al Departamento de mantenimiento para el Control de Calidad del funcionamiento de los carros de rotomoldeo, deberá tener a su cargo las siguientes actividades:

- a. Determinar las políticas y metas de calidad del funcionamiento de los carros de rotomoldeo a corto y largo plazo.
- b. Planear y revisar el sistema de control de calidad del mantenimiento de los carros de rotomoldeo.
- c. Echar a andar el sistema de calidad del funcionamiento de los carros de rotomoldeo, comunicándolo a todos los operadores y documentando clara y específicamente toda la nueva estructura del control de calidad de la planta.

- d. Capacitar al personal en lo relacionado con el nuevo sistema.
- e. Diseñar y revisar la documentación para el muestreo y registro de datos.
- f. Supervisar la calidad del funcionamiento de los carros de rotomoldeo como plan piloto y luego implementarlo a todas las demás máquinas de la planta de rotomoldeo durante el proceso productivo.
- g. Mantener archivos de calidad del proceso productivo.
- h. Llevar archivos del mantenimiento del equipo de inspección y medición.

4.1.2. Definición de políticas de calidad

Las políticas de calidad a seguir y que deben establecerse como principio son las siguientes.

- a. El Departamento de Mantenimiento del Control de Calidad del funcionamiento de los carros de rotomoldeo debe ser independiente de la función de producción en el ámbito de la planta.
- b. Deben realizarse todas las tareas necesarias para lograr una calidad superior en los mantenimientos tanto a los carros de rotomoldeo como a las demás maquinarias de la planta de Rotomoldeo, pero cada tarea debe evaluarse para asegurar que la inversión tenga efecto tangible sobre la calidad.
- c. Deben definirse por escrito las responsabilidades específicas de calidad de todas las áreas de la empresa incluyendo la gerencia de producción.

- d. Las actividades de calidad deben hacer hincapié en la prevención del problema de calidad y no sólo en la detección y corrección de los mismos problemas mecánicos de los carros de rotomoldeo.
- e. La calidad y la confiabilidad deben definirse y medirse en términos cuantitativos.
- f. Todos los parámetros y pruebas de calidad deben reflejar las necesidades del proceso productivo reflejado en la baja de los costos productivos, las condiciones de uso y los requerimientos reglamentarios.
- g. Los costos totales de la empresa asociados con el logro de los objetivos de calidad deben obtenerse en forma periódica.
- h. Cada responsabilidad sobre las tareas de calidad definidas para un área funcional, debe tener un procedimiento escrito que describa cómo debe realizarse la tarea.

4.1.3. Actividades del jefe de producción del área de Rotomoldeo

El departamento de producción debe estar al mando de un Ingeniero Mecánico Industrial director entre otras actividades del control de calidad (que a su vez puede ser asignado al supervisor de mantenimiento o calidad), persona encargada de llevar a óptimas condiciones el nuevo sistema. Esta persona debe tener a su cargo (entre otras) las siguientes actividades:

- a. Revisar el proceso con el fin de localizar y prevenir dificultades relacionadas con la calidad del funcionamiento de los carros de rotomoldeo durante el desarrollo productivo.
- b. Determinar las estrategias y tácticas así como los controles de calidad a utilizar en el sistema de calidad estadístico.
- c. Recolectar, analizar y dar las acciones correctivas y preventivas que mejorarán la calidad del funcionamiento de los carros de rotomoldeo durante el proceso.
- d. Determinar la capacidad que tiene el proceso productivo de cumplir con las especificaciones de calidad.
- e. Llevar al día todos los registros de calidad y el análisis de los costos de la mala calidad y del control.

4.1.4. Actividades del supervisor del departamento del área de Rotomoldeo

Además del director del sistema a implementar, el departamento debe estar conformado por un inspector de calidad para cada variable a controlar.

Estos deberán tener las siguientes responsabilidades:

- a. Verificar que las unidades individuales del producto cumplan con las especificaciones.
- b. Vigilar para que las condiciones del proceso se mantengan dentro de los requerimientos especificados.

4.1.5. Actividades del mecánico de producción

El mecánico debe cumplir con las siguientes atribuciones:

- Completar los registros del sistema para la documentación de cualquier trabajo que efectúe.
- Utilizar la herramienta adecuada cada vez que ejecute un trabajo solicitado.
- Desarrollar una actitud proactiva para optimizar el tiempo de paro de producción por desperfectos mecánicos.
- Reportar cualquier incidente de las variables críticas mecánicas de los carros de rotomoldeo a controlar.

4.2. Pasos para la implementación del control estadístico de las variables críticas mecánicas de los carros de rotomoldeo

Para implementar el control estadístico de procesos en un sistema de control de calidad del funcionamiento de los carros de rotomoldeo se hacen necesarios los pasos o etapas que se detallan a continuación:

4.2.1. Definición de variables mecánicas a controlar

En esta primera actividad se definirá claramente qué variables se estudiarán estadísticamente para aplicarles el control estadístico de procesos en el funcionamiento de los carros de rotomoldeo, para lo cual deben tomarse en cuenta los siguientes aspectos:

1. La elección debe basarse en la alta relevancia que la característica tiene en la calidad del producto.

2. La variable debe ser mensurable numéricamente tal y como se produce en las condiciones reales de producción.
3. La variable controlada debe atender a una distribución estadística.

La definición de las variables debe ser mediante su descripción, su ubicación física, el aparato y las unidades de medición a utilizar.

4.2.2. Estudios de capacidad de operadores de los carros de rotomoldeo

Una vez definidas las variables cuantitativas que se controlarán, se procede a realizar un estudio estadístico sobre el nivel de variaciones que producen los operadores en el proceso. Es decir, se determina qué tan capaces son para producir o cumplir con determinadas especificaciones en la operación de los carros de rotomoldeo.

Para efectuar esto se recurre a un control de la media y rango de la variable en cuestión, las etapas del estudio se describen a continuación.

4.2.2.1. Aplicación de control sobre el mecanismo de carros

Es asegurar plenamente que las muestras que se utilicen para el estudio sean provenientes de una sola población y que la variable se encuentre bajo control. Para ello se realiza un muestreo representativo para calcular la media de medias y rangos y la desviación estándar de medias y rangos.

Con los datos obtenidos se elabora un histograma de frecuencias que muestre la dispersión de los datos y su comportamiento respecto a la curva normal.

Previo a efectuar el muestreo debe lograrse que las condiciones de las variables a estudiar se encuentren en su nivel óptimo, para lo cual se debe realizar un sondeo y revisión completa adecuadamente.

4.2.2.2. Cómo analizar los datos recolectados

El análisis de datos se realiza por medio de la elaboración de un gráfico de control de X y R, donde se puede observar si la población está o no bajo control. Cualquier punto que se salga de los límites 3σ indicará que el proceso no está bajo control.

Si el proceso está bajo control estadístico opera con menos variabilidad que un proceso con causas especiales. Un proceso que tienen causas especiales es inestable y la variación excesiva puede ocultar el efecto de los cambios que se han introducido para lograr el mejoramiento.

4.2.2.3. Cómo analizar las fuentes de variación o descalibre de piezas de los carros de rotomoldeo

En un proceso que no se encuentra bajo control deben buscarse todas las posibles fuentes de variación, esto puede ser mediante pruebas sencillas como ajustes del equipo o por medio de complejos experimentos controlados.

Para este análisis es muy útil el conocimiento que se tenga del proceso y la experiencia en su manejo.

4.3. Requerimientos para la implementación del control estadístico de variables

Es importante señalar, en esta etapa del estudio de los conceptos relacionados con el control estadístico de procesos, que existen tres elementos indispensables para su implementación, los cuales a continuación se detallan:

4.3.1. Capacitación como herramienta de prevención

Si se desea integrar el control estadístico de procesos, se debe contar con una persona relativamente experta en el manejo de éste para su coordinación. De no existir en la organización la persona adecuada, se puede capacitar o contratar a alguien.

Adicionalmente, se tendrá que capacitar al personal que ejecutará físicamente el control, ya sea que se utilicen personas específicas para esa función o sean los operadores del proceso quienes lo ejecuten.

En este punto se desea, fuertemente, sugerir que sean los operarios del proceso quienes ejecuten el control; con ello se desea manifestar que la persona que ejecuta el trabajo es responsable, no sólo de cantidad, sino también de la calidad.

El operador debe ser entrenado para tomar la muestra, efectuar la medición de la variable, hacer los cálculos necesarios, graficar los resultados e inclusive detener el proceso cuando sea necesario. Existen procesos que requieren la total concentración de los operarios en él, por lo que sería negativo pedirles que adicionalmente llevaran el control estadístico. Para estos casos, se debe proveer personal adicional.

4.3.1.1. Programa de capacitación a operadores de manejo de carros

Debido a que los carros de rotomoldeo son máquinas ya instaladas la capacitación del funcionamiento de los mismos podrá ser ejecutada o derramada por el supervisor de producción, tomando en cuenta aspectos del funcionamiento eléctrico, mecánico e hidráulico, o bien contactar al proveedor de la máquina para una capacitación de reforzamiento por parte de la casa matriz de la línea de los carros de rotomoldeo. El programa se desarrollará a lo largo de un período no menor a 60 horas de capacitación por tema, siendo los temas principales los tres antes mencionados.

4.3.1.2. Programa de capacitación a operadores de mantenimientos proactivos a carros de rotomoldeo

Debido a que los carros de rotomoldeo son máquinas ya instaladas la capacitación del mantenimiento de los mismos podrá ser ejecutada o derramada por el supervisor de mantenimiento, tomando en cuenta aspectos preventivos y correctivos, o bien contactar al proveedor de la máquina para una capacitación de reforzamiento por parte de la casa matriz de la línea de los carros de rotomoldeo del área de mantenimiento.

4.3.2. Herramental básico para el mantenimiento óptimo de los carros de rotomoldeo

La medición de las variables a controlar demandará generalmente algún tipo de instrumento especial, para lo cual debe contarse con la disposición presupuestaria para su adquisición y mantenimiento. Las mediciones serán tan

exactas como el instrumento de medición lo sea, por lo que se debe asegurar efectuar una buena inversión a largo plazo.

4.3.3. Gestión de apoyo gerencial

El elemento más importante y del cual depende en alto grado los dos anteriores, es la comprensión, conciencia y compromiso gerencial con el nuevo sistema de control.

En un proceso monitoreado con el control estadístico de procesos se debe contar con el respaldo de la gerencia para que en cualquier momento se pueda detener la producción; debe existir un compromiso sincero con el cumplimiento del nivel de calidad especificado. En otras palabras, se debe contar con la autoridad para ejecutar las acciones correctivas necesarias cuando el control estadístico de procesos lo indique.

Saber que algo anda mal en el proceso y no hacer nada al respecto es equivalente a desconocerlo.

4.4. Diseño del sistema de control de calidad de las variables mecánicas críticas de los carros de rotomoldeo

Para desempeñar eficientemente la tarea de producir con calidad un buen servicio es necesario forjar un plan de los cursos de acción.

Como se mencionó el control de calidad para producto en proceso ejerce la mayor influencia sobre el nivel de calidad del producto final, ya que se lleva dentro de la planta y en el momento de realizar la actividad de producción.

Un sistema de calidad está formado por una red de actividades técnicas y de procedimientos indispensables para poner en el mercado un producto que satisfaga determinados estándares de calidad.

Para todo esto es necesario establecer la metodología y seleccionar las herramientas estadísticas que apoyen y optimicen la labor del control que efectuará el sistema de calidad, dejando referencia escrita de las mismas.

A continuación se muestra la metodología que da la base para desarrollar el sistema de control de calidad basado en el control estadístico de procesos.

- **Prueba para variable núm. 1**

Variable a controlar: Rompimiento de cadenas de carros de rotomoldeo.

Ubicación física: la prueba se realizará en la sección de carga del molde de rotomoldeo con el operador de turno.

Aparato y unidad de medición: el flexo metro será el aparato de medición para conocer la elongación o contracción de la cadena del brazo del molde y carro, la unidad de medición será centímetros.

Prueba aplicable en: el proceso de producción en la estación de trabajo de carga del molde.

Método de muestreo: para efectos de muestreo se tomarán muestras de cinco observaciones con un intervalo de una hora entre cada muestra. Las

observaciones se tomarán al azar de las que se van acumulando en la estación de trabajo.

Material y equipo necesario: computadora y hoja de registro para gráficos de control.

Procedimiento:

- a. Efectuar la medición correspondiente de la información requerida
- b. Anotar los datos en la hoja de registro para gráficos de control.
- c. Efectuar los cálculos de medias y rangos para cada conjunto de cinco observaciones y luego graficar.

Encargado: Supervisor de turno.

Criterio de aceptación y rechazo: cada conjunto muestreado se clasificará como aceptado o rechazado de acuerdo a los siguientes criterios:

- a. El conjunto muestreado cuya media y rango, para la longitud de la cadena medida, se encuentren por encima de los límites de control inferiores y por debajo de los límites de control superiores respectivos, será aceptado.
- b. El conjunto muestreado cuya media o rango, para la longitud de la cadena medida, se encuentren por debajo de los límites de control inferiores o por encima de los límites de control superiores respectivos, será rechazado.

En el caso de obtener como resultado conjuntos aceptados, se procederá con el desarrollo normal del proceso productivo. En el momento de obtenerse

un conjunto rechazado se deberá notificar al Departamento de Producción para que este dicte las acciones a tomar.

El formato para la hoja de registro que se presenta en el siguiente capítulo en la implementación del programa piloto del sistema.

- **Prueba para variable núm. 2**

Variable a controlar: Desajuste de catarinas de carros de rotomoldeo.

Ubicación física: la prueba se realizará en la sección de carga del molde de rotomoldeo con el operador de turno.

Aparato y unidad de medición: el transportador será el aparato de medición para conocer los grados de movimiento que presenta la catarina del brazo del molde y carro, la unidad de medición será los grados.

Prueba aplicable en: el proceso de producción en la estación de trabajo de carga del molde.

Método de muestreo: para efectos de muestreo se tomarán muestras de cinco observaciones con un intervalo de una hora entre cada muestra. Las observaciones se tomarán al azar de las que se van acumulando en la estación de trabajo.

Material y equipo necesario: computadora y hoja de registro para gráficos de control.

Procedimiento

- a. Efectuar la medición correspondiente de la información requerida
- b. Anotar los datos en la hoja de registro para gráficos de control.
- c. Efectuar los cálculos de medias y rangos para cada conjunto de cinco observaciones y luego graficar.

Encargado: supervisor de turno.

Criterio de aceptación y rechazo: cada conjunto muestreado se clasificará como aceptado o rechazado de acuerdo a los siguientes criterios.

- a. El conjunto muestreado cuya media y rango, para la cantidad de grados de movimiento que presente la catarina, se encuentren por encima de los límites de control inferiores y por debajo de los límites de control superiores respectivos; será aceptado.
- b. El conjunto muestreado cuya media o rango, para la cantidad de grados de movimiento que presente la catarina, se encuentren por debajo de los límites de control inferiores o por encima de los límites de control superiores respectivos, será rechazado.

En el caso de obtener como resultado conjuntos aceptados, se procederá con el desarrollo normal del proceso productivo. En el momento de obtenerse un conjunto rechazado se deberá notificar al Departamento de Producción para que este dicte las acciones a tomar.

El formato para la hoja de registro es el que se muestra en el próximo capítulo.

- **Prueba para variable núm. 3**

Variable a controlar: Alineamiento de llantas de carros de rotomoldeo.

Ubicación física: la prueba se realizará en la sección de carga del molde de rotomoldeo con el operador de turno.

Aparato y unidad de medición: el transportador será el aparato de medición para conocer los grados de desalineamiento que presenta la llanta del carro del brazo del molde, la unidad de medición será los grados.

Prueba aplicable en: el proceso de producción en la estación de trabajo de carga del molde.

Método de muestreo: para efectos de muestreo se tomarán muestras de cinco observaciones con un intervalo de una hora entre cada muestra. Las observaciones se tomarán al azar de las que se van acumulando en la estación de trabajo.

Material y equipo necesario: computadora y hoja de registro para gráficos de control.

Procedimiento

- a. Efectuar la medición correspondiente de la información requerida
- b. Anotar los datos en la hoja de registro para gráficos de control.
- c. Efectuar los cálculos de medias y rangos para cada conjunto de cinco observaciones y luego graficar.

Encargado: supervisor de turno.

Criterio de aceptación y rechazo: cada conjunto muestreado se clasificará como aceptado o rechazado de acuerdo a los siguientes criterios.

- a. El conjunto muestreado cuya media y rango, para la cantidad de grados de movimiento que presente las llantas del carro, se encuentren por encima de los límites de control inferiores y por debajo de los límites de control superiores respectivos, será aceptado.
- b. El conjunto muestreado cuya media o rango, para la cantidad de grados de movimiento que presente las llantas del carro, se encuentren por debajo de los límites de control inferiores o por encima de los límites de control superiores respectivos, será rechazado.

En el caso de obtener como resultado conjuntos aceptados, se procederá con el desarrollo normal del proceso productivo. En el momento de obtenerse un conjunto rechazado se deberá notificar al Departamento de Producción para que éste dicte las acciones a tomar.

El formato para la hoja de registro es el que se muestra en el siguiente capítulo.

4.5. Costos de implementación y operación

Todos sistemas de control tienen un costo asociado. Para la implementación del control estadístico de procesos se deben presupuestar los siguientes rubros.

a. Sueldos :

Un director o supervisor de calidad experto, tres inspectores.

b. Equipo :

Básicamente son instrumentos de control de calibración como flexo metros, vernier, y transportadores.

c. Papelería :

Impresión y reproducción de formatos para recopilación y graficación de datos de acuerdo con las variables a controlar.

d. Tiempo :

Veinticuatro horas de capacitación para las personas que se relacionarán con el manejo del control estadístico de procesos.

La mayoría de industrias nacionales es posible absorber los costos mencionados utilizando los presupuestos regulares, la organización, equipamiento y personal existente. Lo que respecta a salarios y gastos directos e indirectos se tendrá que realizar un estudio económico para contabilizar los gastos en números reales y presentarlos a la gerencia para su aprobación, lo que respecta en este proyecto solo se formulan los rubros a utilizar pero no se especulara contablemente ya que eso depende del departamento de recursos humanos y proveeduría.

5. PROGRAMA PILOTO DEL SISTEMA DE CONTROL DE VARIABLES CRÍTICAS EN EL PROCESO DE ROTOMOLDEO DE LOS CARROS DE PRODUCCIÓN.

5.1. Control y seguimiento de programas de mantenimiento

El encargado de ejecutar el control y seguimiento de los programas de mantenimiento es el supervisor del área. Para lo cual deberá apoyarse en sus encargados de áreas como en los técnicos.

5.1.1. Cuadro de verificación de actividades o *check list*

El presente cuadro es para uso y apoyo de los mecánicos cuando terminen de ejecutar cualquier trabajo asignado por sus superiores, este tipo de documentos va orientado a la documentación de ISO 9000 que en un futuro se pueda implementar, dando este un seguimiento a las fallas eliminadas.

Industria de Rotomoldeo
Hoja 1 de: _____
Mecánico: _____
Trabajo efectuado: _____

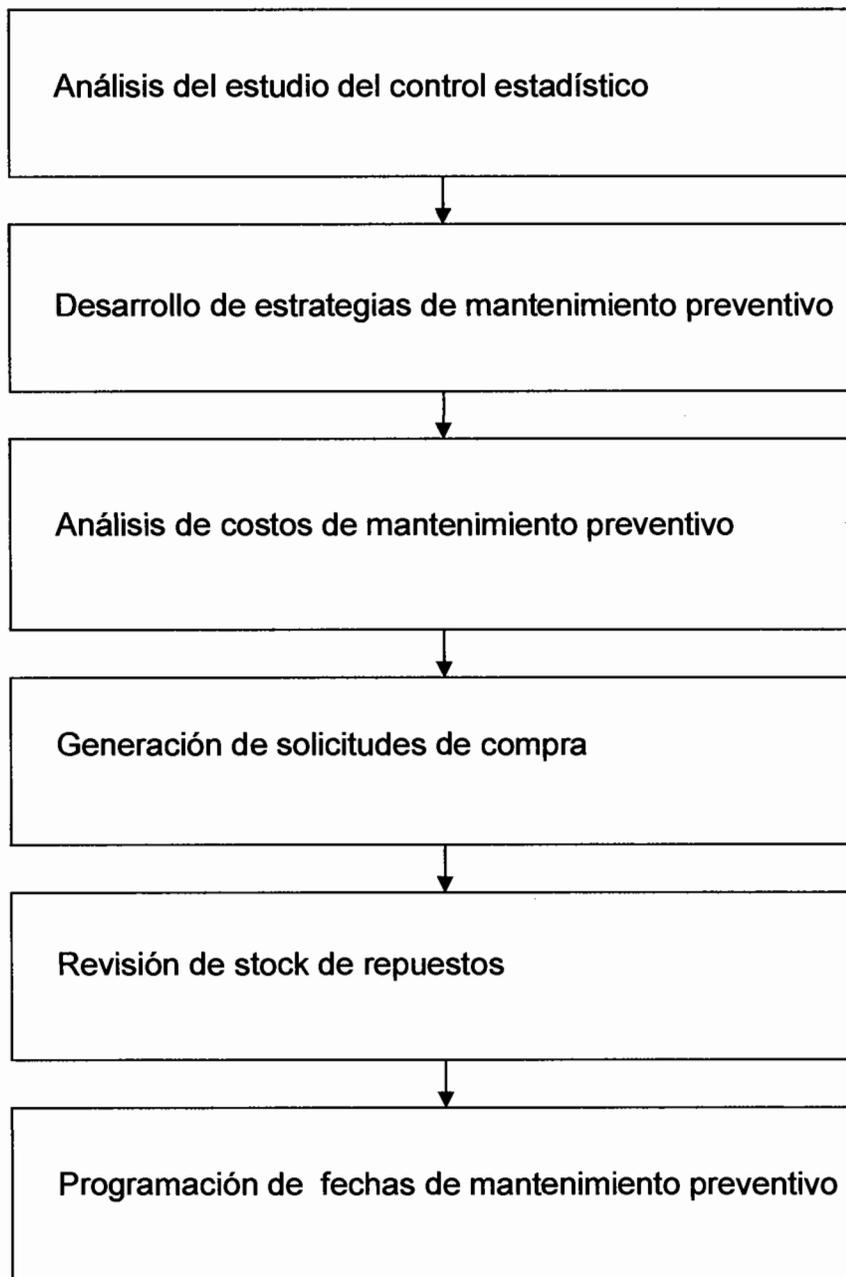
Observaciones: _____

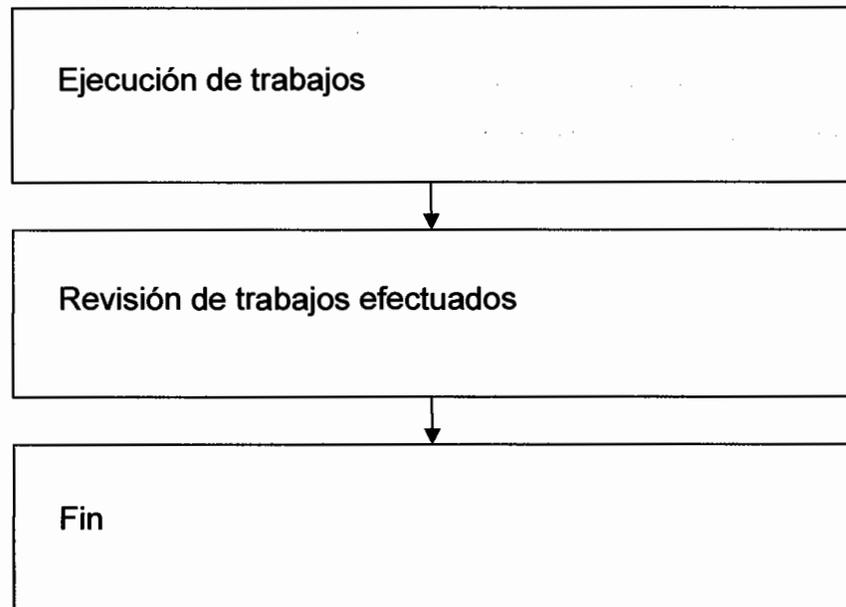
Supervisor: _____

Fuente: Propia.

5.1.2. Diagrama de seguimiento de programa de mantenimiento

El siguiente diagrama muestra el seguimiento de las actividades a desarrollarse en el programa de mantenimiento empleado por la planta de rotomoldeo en estudio, las actividades son las siguientes:





Fuente: Propia.

5.1.3. Costos de repuestos

Los costos de los repuestos es un aspecto de suma relevancia debido a que la empresa debe estar dispuesta a invertir tanto en la compra de repuestos como para mantener un stock mínimo para lograr un abastecimiento adecuado en los mantenimientos programados.

Básicamente este punto es de mención más no de desarrollo en este estudio, debido a que el encargado de este análisis es tanto bodega de repuestos como el departamento de suministros.

5.1.4. Análisis de implementación de programa de mantenimiento

El análisis de implementación se desarrollo específicamente en el capitulo IV por lo que únicamente se hará mención de los puntos mas críticos de la implementación que son los que se describen en el inciso 5.2.

5.2. Control de variables críticas mecánicas predefinidas

Las tres variables definidas con anterioridad para el estudio de control estadístico de las variables de rotomoldeo son de suma importancia para prestar un servicio eficiente y eficaz en el departamento de Mantenimiento a Producción, por lo que se controlaran estadísticamente para lograr una producción estable y brindar un servicio de calidad y para ello se definieron las tres variables criticas a control para lograr un servicio de alta calidad al departamento de producción por parte del área de mantenimiento.

5.3. Metodología del plan piloto del sistema de control estadístico

El desarrollo del ensayo piloto se llevó a cabo de la siguiente manera:

- a. Se seleccionó los operadores que se iban a observar para la producción de llamadas de ciertos días.
- b. Se realizó el muestreo correspondiente para cada día de producción del servicio.
- c. Se anotaron los datos en la hoja de registro para gráficos de control.
- d. Se realizaron los cálculos para el análisis final.

Estas tres variables son de suma importancia para prestar un servicio eficiente y eficaz en el departamento de Mantenimiento a Producción, por lo

que se controlaran estadísticamente para lograr una producción estable y brindar un servicio de calidad.

Antes de emprender con el programa piloto, se les explicó a los operadores de la rotomoldeadora que iban a estar bajo control estadístico y se les capacitó sobre los parámetros que deberían cumplir al producir los productos de polietileno rotomoldeados.

Así mismo, se les brindó un curso rápido de S.G.C. y de empatía para lograr un mismo nivel de conocimiento y de conciencia en todos los operadores. Teniendo para esto la participación de impartir los cursos unos profesionales en el ramo, para no caer en improvisaciones por parte del supervisor de turno y lograr el cometido del mismo, el tiempo invertido para estos cursos fue prácticamente compensado por los logros a obtener y se impartió en dos días en su horario de trabajo en grupos designados por los supervisores.

5.3.1. Prueba por realizar

Para realizar estas pruebas se tomó en cuenta la metodología de control descrita en el capítulo anterior para controlar la variable en cuestión.

Las tres pruebas se realizarán simultáneamente para llevar un mejor control de todas las variables y observarlas al mismo tiempo para ahorrar tiempo y costos.

Para efectuar las mediciones se utilizó los datos registrados en los reportes de producción de los operadores.

5.3.2. Recolección de datos

La recolección de datos se basó en la planificación de la programación de los mantenimientos correctivos documentados por los mecánicos cada vez que estos ejecutaban algún trabajo asignado. Por tal razón se presenta en este estudio los datos ya procesados y no así las tablas generadas en el estudio de campo.

5.3.3. Planteamiento de hipótesis

De acuerdo con los resultados obtenidos en el análisis del proceso, se plantearon las siguientes hipótesis:

Hipótesis nula para variable número 1: Rompimiento de cadenas de carros de rotomoldeo.

$H^0: \mu = \mu^0 = \text{Max. } 20$ rompimientos de cadenas de carro de rotomoldeo por mes.

La cantidad máxima de rompimientos de cadenas de carro de rotomoldeo inspeccionadas no sobrepasa a la cantidad de especificación. A un nivel de significación de $\alpha = 5\%$.

Hipótesis alterna para variable número 1:

$H^1: \mu \neq \mu^0 \neq \text{Max. } 20$ reportes de rompimientos de cadenas de carro de rotomoldeo por mes.

La cantidad máxima de reportes de rompimiento de cadenas del carro de rotomoldeo inspeccionadas sobrepasa a la cantidad de especificación. A un nivel de significación de $\alpha = 5\%$.

El nivel de significación α es el error Tipo I, es decir, la probabilidad de rechazar la hipótesis nula cuando se debió aceptar.

Hipótesis nula para variable número 2: Desajuste de catarinas de carros de rotomoldeo.

$H^0: \mu = \mu^0$ = El operador reporta desajuste de catarinas de carros de rotomoldeo por turno.

La cantidad mínima de 06 reportes por mes de desajuste de catarinas no sobrepasa a la cantidad de especificación. A un nivel de significación de $\alpha = 5\%$.

Hipótesis nula para variable núm.2: Desajuste de catarinas de carros de rotomoldeo.

$H^0: \mu = \mu^0$ = El operador reporta desajuste de catarinas de carros de rotomoldeo por turno.

La cantidad mínima de 06 reportes por mes de desajuste de catarinas sobrepasa a la cantidad de especificación. A un nivel de significación de $\alpha = 5\%$.

Hipótesis nula para variable núm. 3: Alineamiento de llantas de carros de rotomoldeo.

$H^0: \mu = \mu^0 =$ Tiempo de alineamiento de llantas de carros de rotomoldeo máximo promedio por cambio de llanta por el operador debe ser de 26 minutos.

El tiempo de alineamiento de llantas de carros de rotomoldeo máximo promedio por cambio de llanta por el operador no sobrepasa el tiempo promedio de cambio de la especificación. A un nivel de significación de $\alpha = 5\%$.

Hipótesis nula para variable número 3: Alineamiento de llantas de carros de rotomoldeo.

$H^0: \mu = \mu^0 =$ Tiempo de alineamiento de llantas de carros de rotomoldeo máximo promedio por cambio de llanta por el operador debe ser de 26 minutos.

El tiempo de alineamiento de llantas de carros de rotomoldeo máximo promedio por cambio de llanta por el operador sobrepasa el tiempo promedio de cambio de la especificación. A un nivel de significación de $\alpha = 5\%$.

El nivel de significación α es el error tipo I; es decir, la probabilidad de rechazar la hipótesis nula cuando se debió aceptar.

5.3.4. Resultados experimentales

Se deben calcular la media y rangos para los límites de control de las gráficas de medias y rangos. Los cálculos se resumen a continuación:

$$\bar{X}_i = \frac{\sum \text{observaciones}}{\text{número de observaciones}}$$

$$R_i = (\text{observación mayor}) - (\text{observación menor})$$

Tabla VII. Cálculos para obtener media de medias y media de rangos para variable número 1

Muestras	Σ medias	Media de medias	Σ rangos	Media de rangos
1	207	20.7	131	13.1
2	184.4	18.4	136	13.6
3	186.4	18.6	116	11.6
4	205.8	20.5	131	13.1
5	183	18.3	122	12.2

Fuente: Propia.

Tabla VIII. Cálculos para obtener media de medias y media de rangos para variable número 2

Muestras	Σ medias	Media de medias	Σ rangos	Media de rangos
1	82.85	8.28	20.37	2.03
2	78.86	7.88	41.74	4.17
3	84.48	8.44	28.02	2.80
4	81.87	8.18	18.77	1.87
5	82.76	8.27	23.30	2.33

Fuente: Propia.

Tabla IX. Cálculos para obtener media de medias y media de rangos para variable núm. 3

Muestras	Σ medias	Media de medias	Σ rangos	Media de rangos
1	285	28.5	45	4.5
2	275	27.5	39	3.9
3	277	27.7	57	5.7
4	296	29.6	46	4.6
5	266	26.6	27	2.7

Fuente: Propia.

Límites de control para gráfico de medias

$$\text{Límite de control superior} = \bar{\bar{X}} + (A^2 * R)$$

$$\text{Límite de control medio} = \bar{\bar{X}}$$

$$\text{Límite de control inferior} = \bar{\bar{X}} - (A^2 * R)$$

Límites de control para gráfico de rangos

$$\text{Límite de control superior} = D4 * R^-$$

$$\text{Límite de control medio} = R^-$$

$$\text{Límite de control inferior} = D3 * R^-$$

Las constantes A2, D3 y D4 se muestran en la tabla I de los anexos.

Las gráficas y comentarios resultantes para cada semana o muestra se detallan a continuación, así también, para el mes 1 se dará a conocer la cantidad de variación de los datos en la muestra a través de una distribución de frecuencias y de un resumen gráfico de los datos (histograma).

Distribución de frecuencias variable núm. 1 para muestra 1

$$\text{Rango: } R = \text{dato mayor} - \text{dato menor} = 39 - 9 = 30 \text{ reportes}$$

$$\text{Número de clase: } K = 1 + 3.3(\log N) = 1 + 3.3(\log 50) = 6.607$$

$$\text{Intervalo: } I = R / K = 30 / 6.607 = 4.54$$

Ahora se procederá a construir la tabla de frecuencias de los valores de la muestra 1, para lo cual vamos a definir las variables utilizadas en la misma.

La = Límites aparentes

Fa = Frecuencia acumulada

Lr = Límites reales

Xi = Número de clase

F = Frecuencia

Fr% = Frecuencia relativa %

Tabla X. Frecuencias de los valores de la variable número 1 de la muestra 1

La	Lr	F	Fa	Xi	Fr%
9 - 13	8.5 - 13.5	6	6	11	12
14 - 18	13.5 - 18.5	14	20	16	28
19 - 23	18.5 - 23.5	15	35	21	30
24 - 28	23.5 - 28.5	10	45	26	20
29 - 33	28.8 - 33.5	2	47	31	4
34 - 39	33.5 - 39.5	3	50	36.5	6

Fuente: Propia.

Distribución de frecuencias variable núm. 2 para muestra 1

Rango: $R = \text{dato mayor} - \text{dato menor} = 1065 - 626 = 439$ reportes

Número de clase: $K = 1 + 3.3(\log N) = 1 + 3.3(\log 50) = 6.607$

Intervalo: $I = R / K = 439 / 6.607 = 66.44$

Tabla XI. Frecuencias de los valores de la variable número 2 de la muestra 1

La	Lr	F	Fa	Xi	Fr%
626 - 692	625.5 - 692.5	1	1	659	2
693 - 759	692.5 - 759.5	11	12	726	22
760 - 826	759.5 - 826.5	18	30	793	36
827 - 893	826.5 - 893.5	6	36	860	12
894 - 960	893.5 - 960.5	10	46	927	20
961 - 1027	960.5 - 1027.5	3	49	994	6
1028 - 1094	1027.5 - 1094.5	1	50	1061	2

Fuente: Propia.

Distribución de frecuencias variable núm. 3 para muestra 1

Rango: $R = \text{dato mayor} - \text{dato menor} = 33 - 23 = 10 \text{ minutos}$

Número de clase: $K = 1 + 3.3 (\log N) = 1 + 3.3 (\log 50) = 6.607$

Intervalo: $I = R / K = 10 / 6.607 = 1.51$

Tabla XII. Frecuencias de los valores de la variable núm. 3 de la muestra 1

La	Lr	F	Fa	Xi	Fr%
23 - 24	22.5 - 24.5	3	3	23.5	6
25 - 26	24.5 - 26.5	12	15	24.5	24
27 - 28	26.5 - 28.5	7	22	25.5	14
29 - 30	28.5 - 30.5	18	40	26.5	36
31 - 32	30.5 - 32.5	9	49	27.5	18
33 - 34	32.5 - 34.5	1	50	33.5	2

Fuente: Propia.

Los histogramas reflejan, por su forma irregular, que existe un comportamiento anormal en el proceso para estos puntos críticos, se puede advertir que los valores individuales de las variables en estudio, tienden a presentarse en su mayoría por arriba del valor de especificación, pero (ya que hay una fase de mejora), se espera que eso cambie en los siguientes días llegando a centrarse más en dicho valor.

Ahora se procederá a calcular los límites para medias y para rangos de las tres variables en observación de las cinco muestras, así como su respectiva gráfica de cada una de ellas.

Cálculos de límites de control para la variable núm. 1

Límites para medias:

$$\text{L.C.S.} = 20.7 + (0.577) (13.1) = 28.25 \approx 28 \text{ reportes.}$$

$$\text{L.C.C.} = 20 \text{ reportes}$$

$$\text{L.C.I.} = 20.7 - (0.577) (13.1) = 13.14 \approx 13 \text{ reportes}$$

Límites para rangos:

$$\text{L.C.S.} = (2.114) (13.1) = 27.69 \approx 28 \text{ reportes.}$$

$$\text{L.C.C.} = 13 \text{ reportes.}$$

$$\text{L.C.I.} = (0) (13.1) = 0 \text{ reportes.}$$

Cálculos de límites de control para la variable núm. 1 del mes 2

Límites para medias:

$$\text{L.C.S.} = 18.4 + (0.577) (13.6) = 26.24 \approx 26 \text{ reportes.}$$

$$\text{L.C.C.} = 18 \text{ reportes.}$$

$$\text{L.C.I.} = 18.4 - (0.577) (13.6) = 10.55 \approx 10 \text{ reportes.}$$

Límites para rangos:

$$\text{L.C.S.} = (2.114) (13.6) = 28.75 \approx 29 \text{ reportes.}$$

$$\text{L.C.C.} = 13 \text{ reportes.}$$

$$\text{L.C.I.} = (0) (13.1) = 0 \text{ reportes.}$$

Cálculos de límites de control para la variable número 1 del mes 3

Límites para medias:

$$\text{L.C.S.} = 18.6 + (0.577) (11.6) = 25.29 \approx 25 \text{ reportes.}$$

$$\text{L.C.C.} = 18 \text{ reportes.}$$

$$\text{L.C.I.} = 18.6 - (0.577) (11.6) = 11.99 \approx 12 \text{ reportes.}$$

Límites para rangos:

$$\text{L.C.S.} = (2.114) (11.6) = 24.52 \approx 24 \text{ reportes.}$$

$$\text{L.C.C.} = 11 \text{ reportes.}$$

$$\text{L.C.I.} = (0) (11.6) = 0 \text{ reportes.}$$

Cálculos de límites de control para la variable núm. 1 del mes 4

Límites para medias:

$$\text{L.C.S.} = 20.5 + (0.577) (13.1) = 28.05 \approx 28 \text{ reportes.}$$

$$\text{L.C.C.} = 20 \text{ reportes.}$$

$$\text{L.C.I.} = 20.5 - (0.577) (13.1) = 12.94 \approx 13 \text{ reportes}$$

Límites para rangos:

$$\text{L.C.S.} = (2.114) (13.1) = 27.69 \approx 28 \text{ reportes.}$$

$$\text{L.C.C.} = 13 \text{ reportes.}$$

$$\text{L.C.I.} = (0) (13.1) = 0 \text{ reportes.}$$

Cálculos de límites de control para la variable núm. 1 del mes 5

Límites para medias:

$$\text{L.C.S.} = 18.3 + (0.577) (12.2) = 25.33 \approx 25 \text{ reportes.}$$

$$\text{L.C.C.} = 18.3 \text{ reportes.}$$

$$\text{L.C.I.} = 18.3 - (0.577) (12.2) = 11.26 \approx 11 \text{ reportes.}$$

Límites para rangos:

$$\text{L.C.S.} = (2.114) (12.2) = 25.79 \approx 26 \text{ reportes.}$$

$$\text{L.C.C.} = 12 \text{ reportes.}$$

$$\text{L.C.I.} = (0) (12.2) = 0 \text{ reportes.}$$

De las gráficas de la variable núm. 1, anteriormente elaboradas se concluye lo siguiente:

Mes uno: el punto nueve, sale del límite superior de control, lo cual indica que el supervisor tendrá que hacer una acción correctiva al motivo o asunto de este reporte. El punto ocho, también sale de los límites, pero solo será necesaria una revisión, para que mejore su rendimiento.

Mes dos: ningún punto sale de los límites de control establecidos, pero existe una tendencia remota en el punto diez, que tendrá que tomar en cuenta.

Mes tres: el punto diez, sale del límite de control, lo cual indica que el supervisor tendrá que hacer una acción correctiva. Los punto siete y seis, tienen una tendencia remota, que el supervisor tendrá que tomar en cuenta para análisis futuros.

Mes cuatro: no se observa algún cambio significativo en ninguna de las dos clases de graficas.

Cálculos de límites de control para la variable número 2 (Desajuste de catarinas de carros de rotomoldeo), mes 1

Límites para medias:

$$\text{L.C.S.} = 828.5 + (0.577) (203.7) = 946.03 \approx 9.46 \text{ reportes.}$$

$$\text{L.C.C.} = 8.28 \text{ reportes.}$$

$$\text{L.C.I.} = 828.5 - (0.577) (203.7) = 710.96 \approx 7.10 \text{ reportes.}$$

Límites para rangos:

$$\text{L.C.S.} = (2.114) (203.7) = 430.62 \approx 4.30 \text{ reportes.}$$

$$\text{L.C.C.} = 2.03 \text{ reportes.}$$

$$\text{L.C.I.} = (0) (203.7) = 0 \text{ reportes}$$

Cálculos de límites de control para la variable núm. 2 (Desajuste de catarinas de carros de rotomoldeo), mes 2

Límites para medias:

$$\text{L.C.S.} = 788.6 + (0.577) (417.4) = 1029.43 \approx 10.29 \text{ reportes.}$$

$$\text{L.C.C.} = 7.88 \text{ reportes.}$$

$$\text{L.C.I.} = 788.6 - (0.577) (417.4) = 547.76 \approx 5.47 \text{ reportes.}$$

Límites para rangos:

$$\text{L.C.S.} = (2.114) (417.4) = 882.38 \approx 8.82 \text{ reportes.}$$

$$\text{L.C.C.} = 4.17 \text{ reportes.}$$

$$\text{L.C.I.} = (0) (417.4) = 0 \text{ reportes.}$$

Cálculos de límites de control para la variable número 2 (Desajuste de catarinas de carros de rotomoldeo), del mes 3

Límites para medias:

$$\text{L.C.S.} = 844.8 + (0.577) (280.2) = 1006.47 \approx 10.06 \text{ reportes.}$$

$$\text{L.C.C.} = 8.44 \text{ reportes.}$$

$$\text{L.C.I.} = 844.8 - (0.577) (280.2) = 683.12 \approx 6.83 \text{ reportes.}$$

Límites para rangos:

$$\text{L.C.S.} = (2.114) (280.2) = 592.34 \approx 5.92 \text{ reportes.}$$

$$\text{L.C.C.} = 2.80 \text{ reportes.}$$

$$\text{L.C.I.} = (0) (280.2) = 0 \text{ reportes.}$$

Cálculos de límites de control para la variable núm. 2 (Desajuste de catarinas de carros de rotomoldeo), mes 4

Límites para medias:

$$\text{L.C.S.} = 818.7 + (0.577) (187.7) = 927.00 \approx 9.27 \text{ reportes.}$$

$$\text{L.C.C.} = 8.18 \text{ reportes.}$$

$$\text{L.C.I.} = 818.7 - (0.577) (187.7) = 710.39 \approx 7.10 \text{ reportes.}$$

Límites para rangos:

$$L.C.S. = (2.114) (187.7) = 396.79 \approx 3.96 \text{ reportes.}$$

$$L.C.C. = 1.87 \text{ reportes.}$$

$$L.C.I. = (0) (187.7) = 0 \text{ reportes.}$$

Cálculos de límites de control para la variable núm. 2 (Desajuste de catarinas de carros de rotomoldeo), mes 5

Límites para medias:

$$L.C.S. = 827.6 + (0.577) (233) = 962.10 \approx 9.62 \text{ reportes.}$$

$$L.C.C. = 8.27 \text{ reportes.}$$

$$L.C.I. = 827.6 - (0.577) (233) = 693.15 \approx 6.93 \text{ reportes.}$$

De las graficas de la variable número 2 anteriormente elaboradas se nota lo siguiente:

Mes uno: en la gráfica de medias se nota un buen nivel de producción pero tenemos que estar pendientes con los puntos nueve y ocho ya que tienden a llegar al límite de control con los cual se les hablará para que esto no suceda, en la gráfica de rangos vemos que no hay cambios abruptos por lo cual nuestro proceso es uniforme.

Mes dos: en la gráfica de medias al igual que la anterior ningún punto sale de los límites de control inferior únicamente los mismos puntos reinciden en su tendencia por lo cual habrá que prestar cierta atención sobre ellos durante la siguiente semana, en nuestra gráfica de rangos no hay cambios algunos y por lo tanto es uniforme nuestro proceso.

Mes tres : en la gráfica de medias como era de esperarse el punto nueve sale del límite de control por lo que habrá que hacerle una acción correctiva inmediata y el punto ocho mejora pero hay que estar pendiente del punto diez por su tendencia a salir, por lo que respecta a la gráfica de rangos, el proceso sigue uniforme.

Mes cuatro: en la gráfica de medias los puntos ocho y nueve otra vez presentan una tendencia a bajar la producción y hay que tomar cartas en el asunto, en la gráfica de rangos el proceso sigue uniforme.

Mes cinco: en la gráfica de medias se nota que el punto nueve sale del límite de control inferior por lo que habrá que pasar un reporte al coordinador de área y a recursos humanos recomendando un cambio de pieza o reparación de la misma.

Cálculos de límites de control para la variable número 3 (Alineamiento de llantas de carros de rotomoldeo), mes 1

Límites para medias:

$$\text{L.C.S.} = 28.5 + (0.577) (4.5) = 31.09 \text{ min}$$

$$\text{L.C.C.} = 28.5 \text{ min}$$

$$\text{L.C.I.} = 28.5 - (0.577) (4.5) = 25.90 \text{ min.}$$

Límites para rangos:

$$\text{L.C.S.} = (2.114) (4.5) = 9.51 \text{ min}$$

$$\text{L.C.C.} = 4.5 \text{ min}$$

$$\text{L.C.I.} = (0) (4.5) = 0 \text{ min}$$

Cálculos de límites de control para la variable número 3 (Alineamiento de llantas de carros de rotomoldeo), mes 2

Límites para medias:

$$\text{L.C.S.} = 27.5 + (0.577) (3.9) = 29.75 \text{ min}$$

$$\text{L.C.C.} = 27.5 \text{ min}$$

$$\text{L.C.I.} = 27.5 - (0.577) (3.9) = 25.24 \text{ min}$$

Límites para rangos:

$$\text{L.C.S.} = (2.114) (3.9) = 8.24 \text{ min}$$

$$\text{L.C.C.} = 3.9 \text{ min}$$

$$\text{L.C.I.} = (0) (3.9) = 0 \text{ min}$$

Cálculos de límites de control para la variable número 3 (Alineamiento de llantas de carros de rotomoldeo), mes 3

Límites para medias:

$$\text{L.C.S.} = 27.7 + (0.577) (5.7) = 30.98 \text{ min}$$

$$\text{L.C.C.} = 27.7 \text{ min}$$

$$\text{L.C.I.} = 27.7 - (0.577) (5.7) = 24.41 \text{ min}$$

Límites para rangos:

$$\text{L.C.S.} = (2.114) (5.7) = 12.04 \text{ min}$$

$$\text{L.C.C.} = 5.7 \text{ min}$$

$$\text{L.C.I.} = (0) (5.7) = 0 \text{ min}$$

Cálculos de límites de control para la variable número 3 (Alineamiento de llantas de carros de rotomoldeo), mes 4

Límites para medias:

$$\text{L.C.S.} = 29.6 + (0.577) (4.6) = 32.25 \text{ min}$$

$$\text{L.C.C.} = 29.6 \text{ min}$$

$$\text{L.C.I.} = 29.6 - (0.577) (4.6) = 26.94 \text{ min}$$

Límites para rangos:

$$\text{L.C.S.} = (2.114) (4.6) = 9.72 \text{ min}$$

$$\text{L.C.C.} = 4.6 \text{ min}$$

$$\text{L.C.I.} = (0) (4.6) = 0 \text{ min}$$

Cálculos de límites de control para la variable número 3 (Alineamiento de llantas de carros de rotomoldeo), mes 5

Límites para medias:

$$\text{L.C.S.} = 26.6 + (0.577) (2.7) = 28.15 \text{ min}$$

$$\text{L.C.C.} = 26.6 \text{ min}$$

$$\text{L.C.I.} = 26.6 - (0.577) (2.7) = 25.04 \text{ min}$$

Límites para rangos:

$$\text{L.C.S.} = (2.114) (2.7) = 5.70 \text{ min}$$

$$\text{L.C.C.} = 2.7 \text{ min}$$

$$\text{L.C.I.} = (0) (2.7) = 0 \text{ min}$$

De las gráficas de la variable número tres anteriormente elaboradas se observó lo siguiente:

Mes uno: en la gráfica de medias se toma nota que los puntos dos y nueve tienden a llegar al límite de control por lo que es necesario hablar con los mecánicos, para hacerles referencia sobre lo acontecido y que se observará mas detenidamente su desarrollo laboral, en lo que respecta a la gráfica de rangos nos dice que el proceso es uniforme por que ningún punto se sale de los límites de control.

Mes dos: en la gráfica de medias vemos que los puntos ocho, nueve y diez se salieron de los límites de control establecidos por lo que será necesario una acción correctiva para notificar al supervisor de área el comportamiento de los mismos y hacer énfasis que al punto nueve, ya se le había hecho un mantenimiento la semana anterior, lo que respecta a la gráfica de rangos nos sigue mostrando uniformidad en el proceso.

Mes tres: observamos en la gráfica de medias que los puntos nueve y diez salen del límite de control, lo cual amerita una acción correctiva y especificar que si el punto número nueve sigue incidiendo una vez más se notificará a mantenimiento para que tomen medidas de hecho, en la gráfica de rangos únicamente nos indica que esta uniforme el proceso.

Mes cuatro : en la gráfica de medias se observa que el punto nueve no reincide y los puntos ocho y dos salen de los límites de control, por lo cual se mantiene el mantenimiento proactivo de cada uno, la gráfica de rangos no indica cambio alguno.

Mes cinco: comprende el análisis de los días sábados y en la gráfica de medias notamos que los puntos dos y cuatro tienden a salir de los límites de control con lo cual sólo se hará una observación oral a cada uno, la gráfica de rangos no indica cambio alguno.

5.4 Análisis de resultados experimentales

Se puede observar que el proceso se encuentra en estado de control estadístico, es decir, opera sin variación debido a causas aleatorias (ningún valor se sale de los límites de control).

Es importante ahora, probar la hipótesis establecida anteriormente. Para ello, se utiliza el siguiente estadístico de prueba para una distribución normal.

Estadístico de prueba:

$$Z = (X - \mu) / (\sigma / \sqrt{n}) \text{ donde:}$$

Z = un valor de área bajo la curva normal.

X = Valor promedio muestral

μ = valor medio de especificación

σ = desviación estándar para valores individuales

n = tamaño de la muestra.

Como los límites de especificación por lo general se aplican a valores individuales, los límites de control no se pueden comparar a estos; por lo tanto se debe convertir R a la desviación estándar para valores individuales. La siguiente relación se cumple para encontrar una estimación de σ sí y sólo sí, un proceso se encuentra en control estadístico:

Donde:

d^2 es un factor para la estimación de σ (ver tabla)

Entonces:

Para variable número 1:

$$\sigma = 12.2 / 2.326 = 5.24$$

$$Z = (18.3 - 20) / (5.24 / \sqrt{50}) = -2.29$$

Para variable número 2:

$$\sigma = 233 / 2.326 = 100.17$$

$$Z = (827.6 - 600) / (100.17 / \sqrt{50}) = 16.06$$

Para variable número 3:

$$\sigma = 2.7 / 2.326 = 1.16$$

$$Z = (26.6 - 26) / (1.16 / \sqrt{50}) = 3.65$$

La región de aceptación para un $\alpha = 5\%$, está determinada por los valores de Z entre (-1.96 y +1.96).

Como el valor de Z no se encuentra dentro de la región de aceptación se rechaza la hipótesis nula, aceptando la hipótesis alternativa de las tres variables. Por lo que se tiene suficiente evidencia para afirmar que las tres variables varían respecto al rango de especificación y se debe continuar con las acciones correctivas.

Como ya se conoce la desviación estándar para valores individuales se pueden establecer ahora los nuevos límites para la capacidad potencial del proceso.

Capacidad potencial del proceso = $\pm 3\sigma$

Para variable número 1:

Capacidad potencial del proceso = $\pm (3 * 5.24) = 15.72$

Para variable número 2:

Capacidad potencial del proceso = $\pm (3 * 100.17) = \pm 300.51$

Para variable número 3. :

Capacidad potencial del proceso = $\pm (3 * 1.16) = \pm 3.48$

Así, los nuevos límites del proceso serán:

Para variable número 1:

Límite superior = $18.3 + 15.72 = 34.02 = 34$ llamadas no codificadas

Límite medio = $18.3 = 18.3 = 18$ llamadas no codificadas

Límite inferior = $18.3 - 15.72 = 2.58 = 3$ llamadas no codificadas

Para variable número 2:

Límite superior = $827.6 + 300.51 = 1128.11 = 1128$ llamadas recibidas

Límite medio = $827.6 = 827$ llamadas recibidas

Límite inferior = $827.6 - 300.51 = 527.9 = 528$ llamadas recibidas

Para variable número 3:

Límite superior = $26.6 + 26 = 52.6 = 52$ seg.

Límite medio = $26.6 = 26$ seg.

Límite inferior = $26.6 - 26 = 0.6$ seg.

5.5. Desarrollo de estrategia de retroalimentación de sistema desarrollado

Como se ha podido observar, las gráficas de control son un concepto poderoso, pero su uso debe mantenerse en perspectiva. El propósito final del proceso de manufactura es hacer un producto adecuado para el uso, no un producto que simplemente cumpla con los límites de control. Una vez logrado el control estadístico, las gráficas que se usan deben sustituirse por puntos de verificación (inspección por muestreo periódico) y el esfuerzo debe dirigirse a otras características que necesiten mejorar.

En el análisis anterior no se obtuvo ningún dato fuera de los límites de control al final de la toma de datos en el semana cinco a excepción en la variable número dos con el punto nueve pero que se actuó como se indicó anteriormente y no es significativo para el global, es decir, no habían causas de variación identificables, pero de acuerdo a los resultados obtenidos en la prueba

de hipótesis, existe una diferencia estadística significativa entre el resultado de la muestra y el valor central establecido es decir, el proceso se encuentra bajo control estadístico pero no cumple con la especificación, por lo que se deben tomar acciones correctivas como: a) verificar que los teleoperadores no estén platicando entre ellos en horario de atención. b) revisar que no estén recibiendo llamadas personales.

Por otra parte, es importante dar a conocer la forma en que deben interpretarse las gráficas al momento en que se obtengan datos fuera de los límites de control.

Las X fuera de los límites de control son señal de un cambio general que afecta todas las piezas posteriores al primer subgrupo fuera de los límites. El registro que se guarda durante la recolección de datos, la operación del proceso y la experiencia del trabajador, deben estudiarse para descubrir la variable que pudo haber causado que saliera de los límites de control. Las causas comunes pueden ser: un cambio de numeración, el personal, la maquinaria, o desgaste personal.

Las R fuera de los límites de control indican que la uniformidad del proceso ha cambiado. Las causas pueden ser un cambio en el personal, un aumento en la variabilidad de la red telefónica, etc.

Una sola R fuera de control puede ser causada por un cambio en el proceso, ocurrido mientras se tomaba la muestra del subgrupo.

5.5.1. Barreras generadas por implementación de sistema desarrollado

Algunas de las barreras generadas por implementación de sistema desarrollado en este plan piloto son:

- Bajo presupuesto asignado al programa de mantenimiento
- Falsificación de reportes de mantenimiento por parte de mecánicos
- Resultados obtenidos a largo plazo
- Resistencia al cambio por parte de personal de producción como de mantenimiento.

CONCLUSIONES

1. A medida que se implementen mejoras estructurales que modifiquen el proceso de mantenimiento o se adquieran nuevos y mejores equipos y herramientas, tanto de producción como de mantenimiento, la calidad en el servicio prestado se verá modificada, por lo que se debe considerar las técnicas estadísticas de control de calidad para el departamento.
2. Para conseguir el adecuado diseño de un sistema de control de calidad estadístico fue necesario evaluar las condiciones actuales. También fue necesario establecer la metodología y seleccionar las herramientas estadísticas que apoyen y optimicen la labor de control que efectuará el sistema de calidad. Por eso el uso de modelos de gráficos de control por variables como control estadístico de la calidad de la producción es la mejor opción para este tipo de proyectos.
3. Es necesario, para la obtención de la calidad, una amplia variedad de actividades o elementos de trabajo, esto implica un compromiso total por parte de todos los personeros de la empresa. La alta gerencia debe ser la principal involucrada, ya que el liderazgo que ésta proyecte inculcará en otros la idea de hacer la parte que les corresponde y hacerla bien desde la primera vez.
4. Cuando se logre la estandarización del proceso de mantenimiento de todo el personal, se tendrá una sola forma de Identificar, analizar y proponer soluciones a problemas reportados de los carros de

rotomoldeo, mismos que al implementar las medidas correctivas y preventivas necesarias optimizarán los recursos utilizados.

5. Alcanzar una mejora continua del sistema de control de calidad estadístico de los carros de rotomoldeo, enfocado en el mantenimiento de los mismos, conlleva el desarrollo de un proyecto específico, el cual debe seguir cuatro pasos o fases esenciales; en la primera se debe definir el proyecto, en la segunda analizar el problema, en la tercera verificar y evaluar resultados y en la cuarta normalizar los métodos, para lograr el cometido de la retroalimentación para mejorar los canales de comunicación entre supervisor y operadores.
6. Aun volviendo más eficiente la producción, manteniéndola estable, el proceso más consistente y esté funcionando sin causas de variación identificables, el uso de los gráficos de control como parte de un control permanente será de suma importancia para detectar futuras causas de variación y factores que modifiquen el funcionamiento de los carros de rotomoldeo, en cualquier momento.

RECOMENDACIONES

1. Es importante realizar estudios frecuentemente, que abarquen al equipo, las máquinas y herramientas como al personal del departamento que prestan el servicio, que muestren tabuladamente el buen o mal nivel de calidad que se este reflejando dentro del departamento, ya que esto permitirá ampliar el sistema de control de calidad o bien re-estructurarlo si ese fuera el caso.
2. Se deben establecer y conservar registros que comprueben que el servicio será inspeccionado. Estos registros deben reflejar claramente si los teleoperadores han superado o no las inspecciones de acuerdo con los criterios de aceptación definidos, asegurándose que cualquier operador cumpla con las políticas establecidas dentro del departamento
3. El sistema de control de calidad debe ser revisado por lo menos una vez cada seis meses, con el propósito de verificar y evaluar el estado en que se encuentra y su modificación a las nuevas políticas y objetivos de calidad.
4. Realizar encuestas periódicas a todo el personal o consumidores, con el objeto de identificar el grado de aceptación del servicio y determinar que tipo de mejoras se deben implementar dentro del proceso de fabricación, para contar con un servicio más orientado a las necesidades del mercado.

5. Capacitar tanto a los supervisores como a los coordinadores de área en el ámbito de gráficos de control, para lograr que el análisis de los mismos reflejen un criterio correcto y unificado por parte de los supervisores y coordinadores.

6. Analizar nuevamente los registros de los reportes de mantenimiento de los operadores de semestres pasados, respecto al control de calidad estadístico del departamento, para rectificar e identificar fallas del sistema de control, para tomar las decisiones correctivas respectivas, de manera de aplicar una retroalimentación a nivel del supervisor.

BIBLIOGRAFÍA

Juran, Joseph; Gryna, Frank . **Análisis y planeación de la calidad.** Trad. Marcia Gonzáles Osuna. 3ª edición México, McGraw-Hill, 1995. 633pp.

Acle Tomasini, Alfredo. **Planeación estratégica de la calidad.** 3ª edición Mexico, Grijalbo, 1990. 302pp.

Walton, Mary. **Cómo administrar con el método Deming.** Trad. Wulfers de Rosas, Gisela. Bogota, Noria, 1988. 291pp.

Gutierrez Pulido, Humberto. **Calidad total y productividad.** 2ª edición Mexico, McGraw-Hill, 2005. 421pp.

APÉNDICE

Norma de vocabulario (COGUANOR NCR 66 005:96)

Generalidades de norma COGUANOR NCR 66 005:96

Muchos términos de uso cotidiano se emplean en el campo de la calidad con un significado específico o más restringido respecto del conjunto de definiciones del diccionario, por razones como las siguientes:

- a. La adopción de una terminología de la calidad por diferentes sectores comerciales e industriales para satisfacer sus necesidades específicas percibidas.
- b. La introducción de una multiplicidad de términos por los profesionales de la calidad en los diferentes sectores industriales y económicos.

El objeto de esta norma es clasificar, definir y normalizar los términos fundamentales relacionados con los conceptos de la calidad, tal y como se aplican a todos los campos, para la elaboración y utilización de las normas relativas a la calidad y para la comprensión mutua en las comunicaciones internacionales.

Términos generales

- Entidad: aquello que puede ser descrito y considerado individualmente. Una entidad puede ser, por ejemplo una actividad o

un proceso, un producto, una organización, un sistema o una persona o cualquier combinación de ellos.

- **Proceso:** conjunto de recursos y actividades relacionadas entre sí que transforman elementos de entrada en elementos de salida. Estos recursos pueden incluir el personal, las finanzas, las instalaciones, los equipos, las técnicas y los métodos.
- **Procedimiento:** manera específica de realizar una actividad. Cuando un procedimiento está documentado, (por ejemplo, los procedimientos de un sistema de calidad) es frecuente usar el término “procedimiento escrito o procedimiento documentado”.
- **Producto:** resultado de actividades o de procesos. Un producto puede incluir servicio, materiales, materiales procesados, programas de computación o una combinación de éstos; puede ser tangible (por ejemplo, componentes o materiales procesados) o intangible (por ejemplo, conocimientos o conceptos) o una combinación de éstos; puede ser intencional (por ejemplo, lo que se ofrece al cliente) o no intencional (por ejemplo, un contaminante o efectos no deseados).
- **Servicio:** resultado generado por actividades en la interacción entre el proveedor y el cliente y por actividades internas del proveedor, con el fin de responder a las necesidades del cliente.
- **Organización:** compañía, sociedad, firma, empresa o institución, o parte de éstas, de responsabilidad limitada u otra, pública o privada, que posee su propia estructura funcional y administrativa.

- Cliente: el receptor de un producto suministrado por el proveedor. En una situación contractual, el cliente se denomina “comprador”. El cliente puede ser, por ejemplo, el consumidor final, el usuario, el beneficiario o el comprador.
- Proveedor: organización que provee un producto al cliente. En una situación contractual, el proveedor puede ser denominado “contratista”. El proveedor puede ser, por ejemplo, el productor, el distribuidor, el importador, el ensamblador o la organización de servicio.

Términos relacionados con la calidad

- Calidad: la totalidad de las características de una entidad que le confieren la aptitud para satisfacer necesidades explícitas e implícitas.
- Grado: categoría o rango asignado a entidades que tienen el mismo uso funcional pero diferentes requisitos para la calidad.
- Requisitos para la calidad: expresión de las necesidades o su traducción en un conjunto de requisitos, establecidos en términos cuantitativos o cualitativos para las características de una entidad, para permitir su realización y examen.
- Seguridad: el estado en el cual el riesgo de lesión a las personas o de daño a los materiales, está limitado a un nivel aceptable. La seguridad es uno de los aspectos de la calidad.

- Conformidad: cumplimiento con los requisitos especificados.
- No conformidad: incumplimiento de un requisito especificado.
- Defecto: incumplimiento de un requisito o de una expectativa razonable, relacionados a un uso previsto, incluidos los requisitos relativos a la seguridad.
- Calificado (A): condición dada a una entidad cuando se ha demostrado que es capaz de cumplir con los requisitos especificados.
- Inspección: actividades tales como medir, examinar, ensayar o calibrar una o más características de una entidad y comparar los resultados con los requisitos especificados, con el fin de establecer si se obtiene la conformidad para cada una de estas características.
- Auto-inspección: inspección efectuada al trabajo por la misma persona que lo ha ejecutado, de acuerdo con las reglas especificadas.
- Verificación: confirmación mediante examen y aporte de evidencia objetiva que se han cumplido los requisitos especificados.

Términos relacionados con el sistema de la calidad

- Política de la calidad: las directrices y los objetivos generales de una organización concernientes a la calidad, expresados formalmente por el más alto nivel de la dirección. La política de la calidad es un elemento de la política general y es aprobada por el más alto nivel de la dirección.

- **Administración de la calidad:** conjunto de actividades de la función general de administración que determinan la política de la calidad, los objetivos y las responsabilidades, y se llevan a cabo por medios tales como la planificación de la calidad, el control de la calidad, el aseguramiento de la calidad y el mejoramiento de la calidad en el marco del sistema de calidad.
- **Planificación de la calidad:** actividades que establecen los objetivos y los requisitos para la calidad; así como, los requisitos para la aplicación de los elementos del sistema de calidad.
- **Control de la calidad:** técnicas y actividades de carácter operativo, utilizadas para satisfacer los requisitos para la calidad.
- **Aseguramiento de la calidad:** conjunto de actividades preestablecidas y sistemáticas, aplicadas en el marco del sistema de la calidad, y que se ha demostrado, son necesarias para dar confianza adecuada que una entidad satisficará los requisitos para la calidad.
- **Sistema de la calidad:** estructura organizacional, procedimiento, procesos y recursos necesarios para llevar a cabo la administración de la calidad.
- **Administración total de la calidad:** forma de administración de una organización, centrada en la calidad, basada en la participación de todos sus miembros, y que persigue el éxito a largo plazo a través de la satisfacción del cliente y beneficios para todos los miembros de la organización y para la sociedad.

- **Mejoramiento de la calidad:** acciones emprendidas en toda la organización con el fin de incrementar la eficacia y la eficiencia de las actividades y de los procesos para brindar beneficios adicionales a la organización y a sus clientes.
- **Manual de la calidad:** documento que establece la política de la calidad y que describe el sistema de la calidad de una organización.
- **Plan de calidad:** documento que establece las prácticas, los medios y secuencias de las actividades ligadas a la calidad, específicas de un producto, proyecto o contrato particular.
- **Especificación:** documento que establece requisitos.
- **Registro:** documento que provee evidencia objetiva de las actividades efectuadas o de los resultados obtenidos.
- **Trazabilidad:** aptitud para rastrear la historia, la utilización o la localización de una entidad por medio de identificaciones registradas.

Términos relacionados con las herramientas y las técnicas

- **Ciclo de la calidad:** modelo conceptual de actividades interrelacionadas que influyen sobre la calidad en las diferentes etapas, desde la identificación de las necesidades hasta la evaluación.

- **Costos relativos a la calidad:** costos en que se incurre para asegurar una calidad satisfactoria y dar confianza de ello, así como las pérdidas sufridas cuando no se obtiene la calidad satisfactoria.
- **Pérdidas relativas a la calidad:** pérdidas ocasionadas por no aprovechar el potencial de los recursos en los procesos y las actividades.
- **Evaluación de la calidad:** examen sistemático con el fin de determinar en que medida una entidad es capaz de satisfacer los requisitos especificados.
- **Supervisión de la calidad:** seguimiento y verificación continuos del estatus de una entidad y análisis de los registros con el fin de asegurar que se cumplen los requisitos especificados.
- **Auditoría de la calidad:** examen sistemático e independiente con el fin de determinar si las actividades y los resultados relativos a la calidad satisfacen las disposiciones preestablecidas, y si estas disposiciones son aplicadas en forma efectiva y son apropiadas para alcanzar los objetivos.
- **Acción preventiva:** acción tomada para eliminar las causas de una potencial no conformidad, de un defecto y de cualquier otra situación indeseable, con el fin de evitar que se produzca.
- **Acción correctiva:** acción tomada para eliminar las causas de una no conformidad, de un defecto o de cualquier otra situación indeseable existente, para evitar que vuelva a ocurrir.

- **Tratamiento de una no conformidad:** acción a tomar a una entidad no conforme, con el objeto de resolver la no conformidad.
- **Reparación:** acción tomada sobre un producto no conforme de modo que satisfaga los requisitos de uso previstos, aunque no cumpla con los requisitos especificados originalmente.
- **Reproceso:** acción tomada sobre un producto no conforme de modo que satisfaga los requisitos especificados.

ANEXOS

Tabla XIII. Factores para la construcción de cartas de control

Tamaño de la muestra, n	Carta X	Carta R		Estimación
	A2	D3	D4	d2
2	1.88	0	3.267	1.128
3	1.023	0	2.575	1.693
4	0.729	0	2.282	2.059
5	0.577	0	2.115	2.326
6	0.483	0	2.004	2.534
7	0.419	0.076	1.924	2.704
8	0.373	0.136	1.864	2.847
9	0.337	0.184	1.816	2.97
10	0.308	0.223	1.777	3.078
11	0.285	0.256	1.744	3.173
12	0.266	0.283	1.717	3.258
13	0.249	0.307	1.693	3.336
14	0.235	0.328	1.672	3.407
15	0.223	0.347	1.653	3.472
16	0.212	0.363	1.637	3.532
17	0.203	0.378	1.622	3.588
18	0.194	0.391	1.608	3.64
19	0.187	0.403	1.597	3.689
20	0.18	0.415	1.585	3.735
25	0.153	0.459	1.541	3.931

Fuente: Humberto Gutierrez Pulido. **Calidad total y productividad.** McGraw-Hill, 1997.