

**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE CIENCIA E INGENIERÍA DE LOS MATERIALES
LICENCIATURA EN INGENIERÍA EN MATERIALES CON ÉNFASIS EN
PROCESOS INDUSTRIALES
PROYECTO DE GRADUACIÓN**

MEDTECH COSTA RICA, S.A.

**ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA EL ESTABLECIMIENTO DE UN CONTROL
PREVENTIVO DE PROCESOS EN EL ÁREA DE MOLDEO Y CREACIÓN DE
CURVAS DE SECADO DIFERENTES RESINAS TERMOPLÁSTICAS**

REALIZADO POR:

LISIDIA MURILLO ROJAS.

PROFESOR ASESOR:

DR. BENITO STRADI GRANADOS.

ASESOR INDUSTRIAL:

ING. ANDRÉS GARCÍA RODRÍGUEZ.

NOVIEMBRE, 2007

**CONSTANCIA DE DEFENSA PUBLICA DEL
PROYECTO FINAL DE GRADUACIÓN**

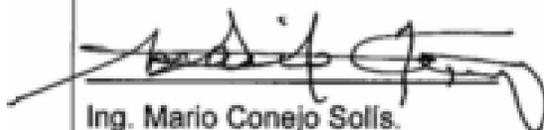
El presente Proyecto Final de Graduación titulado "Análisis Estadístico para el Establecimiento de un Control Predictivo de Procesos en el Área de Moldeo y Creación de Curvas de Secado de Diferentes Resinas Termoplásticas" y realizado en la empresa "Medtech Costa Rica, S.A.", durante el II Semestre del 2007, ha sido defendido, ante el Tribunal Examinador integrado por los profesores Ing. Mario Conejo Solís e Ing. José Alberto Ramírez Picado; como requisito para optar al grado de Licenciatura en Ciencia e Ingeniería de los Materiales, del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

La orientación y supervisión del proyecto desarrollado por el estudiante, estuvo a cargo del profesor asesor Dr. Benito Stradi Granados.

Este documento y su defensa ante el Tribunal Examinador han sido declarados:

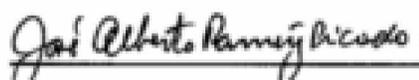
Públicos

Confidenciales



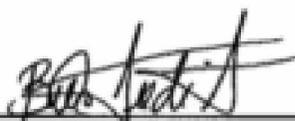
Ing. Mario Conejo Solís.

Profesor Evaluador



Ing. José Alberto Ramírez Picado.

Profesor Evaluador



Dr. Benito Stradi Granados

Profesor Guía



Sta. Lisidia Murillo Rojas

Estudiante

Cartago, 26 de Noviembre del 2007

AGRADECIMIENTO

Quisiera agradecer a todas las personas que de una u otra manera han ayudado a la realización de este proyecto de graduación, pero que sobre todo me han ayudado en mi formación académica y personal. En especial quiero agradecer a:

- Personal de Medtech Costa Rica, S.A.: Por todo el apoyo brindado durante estos meses de trabajo y por el buen trato hacia mi persona.
- Ingeniero Andrés García Rodríguez: Por brindarme esta valiosa oportunidad. Por todo el apoyo dado durante estos meses de trabajo y el interés mostrado en la realización de este proyecto, por sus valiosas colaboraciones, pero sobre todo su interés hacia mi aprendizaje.
- Personal de la Escuela de Ciencia e Ingeniería de los Materiales: Por todo el apoyo y ayuda brindada durante estos 5 años de formación académica.
- Doctor Benito Stradi Granados: Por su excelente trabajo como profesor guía, por su gran ayuda siempre desinteresada y su disposición hacia la realización de este trabajo.
- Profesores Mario Conejo Solís y José Alberto Ramírez Picado: Por la ayuda brindada como profesores lectores y sus valiosas observaciones.
- Familia y amigos: Por su ayuda y amor siempre incondicional. Por el apoyo dado durante tantos años y por regalarme siempre tantas sonrisas.

A todos solo me queda decirles que no tengo palabras para agradecerles, pero que sinceramente muchísimas gracias.

DEDICATORIA

A mi mamá, por ser siempre el impulso y motivo para superarme cada día, por todo su amor, entrega y por tenerme presente en cada una de sus oraciones.

A mi papá, que desde el cielo siempre ha estado conmigo y que sé nunca me ha dejado de ayudar.

A mis hermanos y sobrina, porque sin ellos no podría ser quien soy y por todo el amor que siempre me dan.

A Osva, por darme tanto amor y por encargarse de poner una sonrisa siempre en mi cara. Por ser más que mi novio mi amigo incondicional.

A Dios, por bendecirme y escucharme en todo momento.

A todos gracias...

*“Allí donde habla el corazón
es de mala educación que la
razón lo contradiga”.*

Milan Kundera

ÍNDICE GENERAL

	Página
Acta de Entrega del Informe Final.....	ii
Agradecimiento.....	iii
Dedicatoria.....	iv
Epígrafe.....	v
Índice General.....	vi
Índice de Tablas.....	ix
Índice de Figuras.....	x
Resumen.....	xi
I. INTRODUCCIÓN.....	1
A. Identificación de la empresa.....	2
1. Visión/Misión de la empresa	2
1.1. Visión.....	2
1.2. Misión	2
2. Antecedentes Históricos	2
3. Ubicación Geográfica.....	3
4. Estructura Organizativa	4
5. Número de Empleados	5
6. Tipos de Productos.....	7
7. Mercados de Exportación	7
8. Descripción General del Proceso Productivo.....	8
B. Justificación del Estudio	8
C. Objetivos del Proyecto.....	10
1. Objetivo General	10
2. Objetivos Específicos.....	10
D. Alcances y Limitaciones del Estudio	10
1. Alcances	10
2. Limitaciones.....	11

II. MARCO TEÓRICO	13
III. METODOLOGÍA	29
A. Descripción General.....	30
B. Procedimiento Secuencial.....	30
IV. DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL	34
A. Introducción.....	35
B. Descripción Detallada del Proceso Productivo.....	37
C. Condiciones de Trabajo.....	37
V. CONCLUSIONES DE LA SITUACIÓN ACTUAL	57
VI. SOLUCIONES AL PROBLEMA PLANTEADO	63
VII. IMPLEMENTACIÓN DE SOLUCIONES	75
VIII. ANÁLISIS DE RESULTADOS	81
IX. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	90
X. BIBLIOGRAFÍA	94
APÉNDICES	96
APÉNDICE A.....	97
APÉNDICE.....	98
APÉNDICE C.....	102
APÉNDICE D.....	107
APÉNDICE E.....	108
APÉNDICE F.....	123
APÉNDICE G.....	124
APÉNDICE H.....	128
APÉNDICE I.....	130
APÉNDICE J.....	132
APÉNDICE K.....	133
APÉNDICE L.....	138
APÉNDICE M.....	141
APÉNDICE N.....	144
APÉNDICE O.....	156
APÉNDICE P.....	157

APÉNDICE Q.....	158
APÉNDICE R.....	159
ANEXOS	289
ANEXO 1.....	290
ANEXO 2.....	291
ANEXO 3.....	296

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1.....	22
Tabla 4.1.....	36
Tabla 4.2.....	39
Tabla 4.3.....	43
Tabla 4.4.....	43
Tabla 4.5.....	45
Tabla 4.6.....	51
Tabla 4.7.....	54
Tabla 4.8.....	55
Tabla 4.9.....	55
Tabla 5.1.....	58
Tabla 5.2.....	60
Tabla 5.3.....	61
Tabla 6.1.....	67
Tabla 6.2.....	70
Tabla 6.3.....	72
Tabla 7.1.....	75
Tabla 7.2.....	77
Tabla 7.3.....	79

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1.....	4
Figura 1.2.....	5
Figura 2.1.....	15
Figura 2.2.....	18
Figura 2.3.....	19
Figura 3.1.....	33

RESUMEN

Murillo, Lisidia. Setiembre, 2007. Análisis Estadístico para la Implementación de un Sistema de Control Predictivo de Procesos en el Área de Moldeo y Establecimiento de Curvas de Secado de Diferentes Resinas Termoplásticas. Tecnológico de Costa Rica. Profesor Asesor: Dr. Benito Stradi Granados.

Este proyecto es desarrollado en la empresa Med Tech Costa Rica S.A, ubicada en la Zona Franca Metropolitana en Barreal de Heredia. Esta es una empresa dedicada a la fabricación de producto médico, brindado servicio de subcontratación a otras industrias médicas, especializándose en las áreas de inyección de plástico y ensamble de productos.

Los objetivos principales de este proyecto son realizar el análisis estadístico para implementar un sistema de control predictivo de procesos en el área de moldeo, para reducir los costos por inspecciones actuales, y establecer las curvas de secado de polímeros para los diferentes equipos con que cuenta la empresa en este momento.

En el diagnóstico de la situación actual se pudo determinar que Med Tech Costa Rica S.A. presenta costos por tiempos muertos, debido a las inspecciones de calidad al arranque de producción de 1456 dólares mensuales, además tiene costos por consumo energético de secado de materiales poliméricos de hasta 4500 colones por resina, los cuales son costos que se pueden reducir significativamente con el desarrollo de este proyecto.

La propuesta de solución para estos dos problemas consiste primeramente en establecer correlaciones factoriales entre las variables que influyen en el proceso de inyección y las dimensiones que se obtienen de la pieza, para así poder determinar con anterioridad si una pieza bajo un rango de operación de ciertas variables cumplirá con las dimensiones requeridas y así asegurar su calidad, disminuyendo los costos de las inspecciones que se realizan. Como segunda solución, establecer las curvas de secado de los equipos existentes, para disminuir los tiempos de secado que se tienen actualmente. Ambas soluciones orientadas a disminuir los costos que estas generan.

Con el desarrollo del proyecto se lograron encontrar las ecuaciones de regresiones lineales que relacionan las variables del proceso con las dimensiones críticas de la pieza, además se lograron establecer curvas de secado de las resinas poliméricas, que permiten reducciones en los tiempos de secado de hasta un 83%. Ambas soluciones permiten reducciones de costos con su aplicación.

I. INTRODUCCIÓN

A. Identificación de la Empresa

1. Visión/Misión de la Empresa

1.1. Visión

La visión de Medtech Costa Rica, S.A. es: “Ser el principal proveedor de servicios de diseño, ingeniería y manufactura para la Industria Médica”.

1.2. Misión

La misión que tiene propuesta esta empresa es: “Es nuestra meta operar la compañía en el mejor interés, a largo plazo, de nuestros clientes, nuestros empleados, nuestros suplidores y nuestros accionistas. Nosotros pondremos todo nuestro esfuerzo en alcanzar los más altos niveles de desempeño en la aplicación de la ética gerencial, lo mejor de la tecnología, trabajo en equipo y entusiasmo en cumplir con las necesidades de nuestro mercado y exceder los requerimientos de nuestros clientes”.

2. Antecedentes Históricos

MedTech Costa Rica es parte de MedTech Group Inc, empresa ubicada en New Jersey, Estados Unidos.

MedTech Group es una compañía relativamente joven y en crecimiento, involucrada en proveer servicios a compañías de Manufactura de Dispositivos Medicos.

George Blank, presidente y dueño de la empresa, inició la compañía en 1979, en New Jersey, Estados Unidos. Inicialmente se contaba con cuatro moldeadoras de inyección, ocupando un área de 1,115 metros cuadrados. Las operaciones en New Jersey han crecido, contando en la actualidad con 175 empleados y 28 máquinas moldeadoras por inyección, con un área de 4,656

metros. Además, la capacidad de la compañía se ha expandido a impresión y ensamble de productos de nuestros clientes.

Las diferentes plantas de la empresa iniciaron operaciones en el siguiente orden:

- Medtech Group, Inc: Ubicada en South Plainfield, New Jersey en 1979.
- Medtech Plastics: Ubicada en Vega Baja, Puerto Rico en 1990.
- Medtech Precision Molds: Situada en Middlesex, New Jersey en el 2000.
- Medtech Automation: Localizada en West Haven, CT en el 2002.
- Medtech Costa Rica, S.A: Localizada en Barreal de Heredia, Costa Rica en el 2004.

3. Ubicación Geográfica

Medtech Group cuenta con cinco plantas, ubicadas de la siguiente manera:

- Casa Matriz Medtech Group, Inc: Situada en South Plainfield, New Jersey. Esta planta se dedica a brindar el servicio de moldeo por inyección y ensamble de productos médicos.
- Medtech Automation: Ubicada en West Haven, New Jersey. Esta planta se dedica a automatización de operaciones de ensamble.
- Medtech Plastics PR, Inc: Esta planta está situada en Vega Baja, Puerto Rico. Esta planta brinda el servicio de inyección de plásticos y ensamble de productos médicos.
- Medtech Precision Molds: Ubicada en Middlesex, New Jersey, brinda servicios en diseño y fabricación de moldes para inyección de plásticos.
- Medtech Costa Rica, S.A: Esta planta está ubicada en la Zona Franca Metropolitana, en Barreal de Heredia. Aquí se ofrecen servicios de inyección de plásticos y ensamble para productos médicos.

En la figura 1.1 se muestra una imagen de las instalaciones de Medtech en Costa Rica.



Figura 1.1.: Instalaciones de Medtech Costa Rica, S.A. Fuente: Medtech Costa Rica, S.A.

4. Estructura Organizativa

Medtech Costa Rica, S.A. cuenta con la estructura organizativa general que se muestra en la Figura 1.2. En esta figura se puede observar que la empresa cuenta actualmente con un total de cinco departamentos principales, siendo el departamento de Ingeniería junto con los departamentos de Materiales y Calidad los encargados del desarrollo y verificación de la calidad de los productos, tanto en el área de ensamble como en el área de moldeo por inyección.

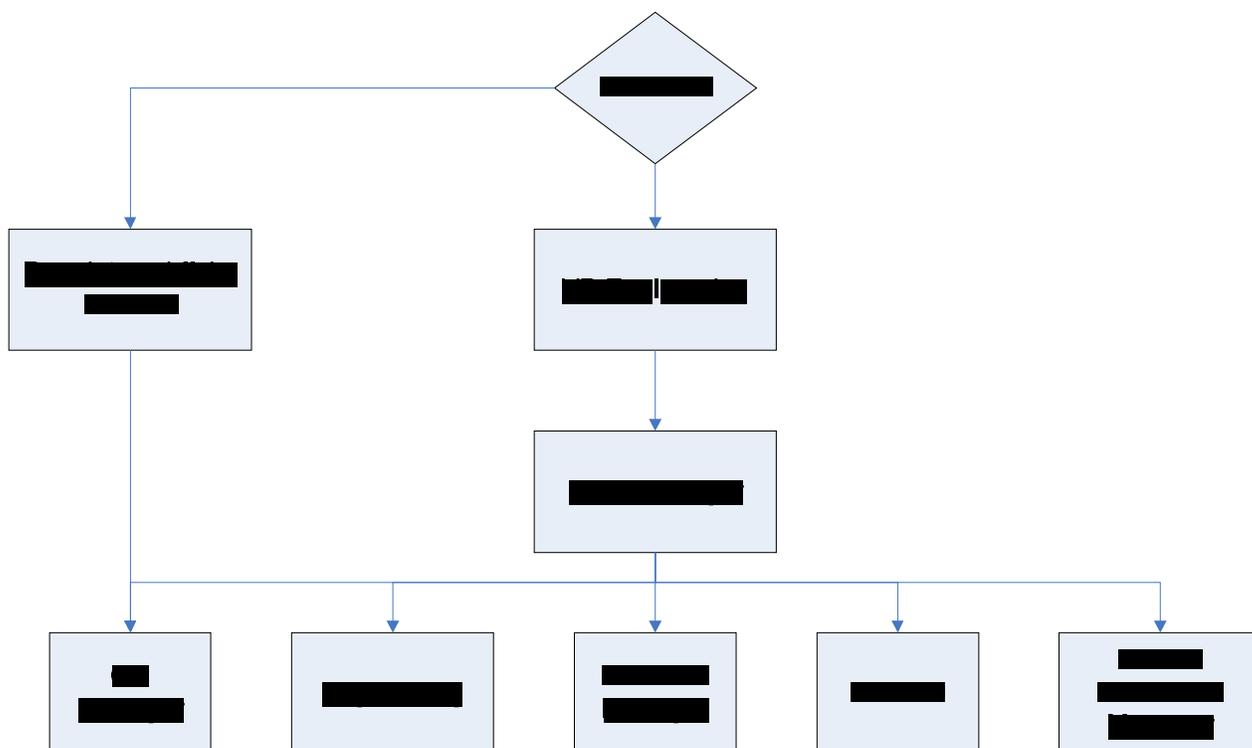


Figura 1.2.: Organigrama General de la Estructura Organizativa de Medtech Costa Rica, S.A.

El proyecto desarrollado se realizó en el departamento de Ingeniería, específicamente en el área de Moldeo por Inyección. En esta área se cuenta actualmente con colaboradores con las funciones de operarios, supervisores e ingenieros, de los cuales dos se dedican a la parte de desarrollo de proyectos y un ingeniero dedicado a la manufactura del área de moldeo.

5. Número de Empleados

Medtech Costa Rica, S.A. cuenta actualmente con un total de 75 empleados, los cuales están divididos de la siguiente forma:

- Operarios de Ensamble: 10 colaboradores, los cuales realizan funciones de ensamble de productos médicos.

- Supervisor de Ensamble: 1 ingeniero a cargo de supervisar los operarios del área de ensamble.
- Operarios de Moldeo: 24 operarios, encargados de vigilar las máquinas de moldeo y printer, repartidos en 3 turnos diarios.
- Supervisores de Moldeo: 3 supervisores, encargados cada uno de supervisar la labor de los operarios durante su respectivo turno cada uno.
- Supervisor de Producción: 1 ingeniero encargado de supervisar la producción tanto del área de ensamble como moldeo.
- Supervisores de Calidad: 6 supervisores, los cuales son encargados de revisar los lotes tanto de ensamble como de moldeo y aprobarlos o rechazarlos.
- Técnicos del Taller de Moldes: 3 técnicos encargados de dar mantenimiento a los moldes del área de inyección de plástico.
- Materialistas: 3 operarios encargados del manejo de resinas al área de moldeo y entrega de materiales para el área de ensamble.
- Bodega: 3 operarios encargados del despacho y recibimiento de materiales.
- Técnico de Mantenimiento: 1 operario encargado de dar mantenimiento a los diferentes equipos con que cuenta la empresa.
- Técnico de Cambio de Moldes: 1 operario encargado de realizar cambios de molde y el ajuste de estos.
- Operarios de Limpieza: 3 operarios encargados de la limpieza de las instalaciones.
- Departamento de Ingeniería: 3 ingenieros, de los cuales dos se dedican al desarrollo de proyectos en las áreas de ensamble y moldeo.
- Departamento de Materiales: 3 colaboradores encargados de compras y despacho de materiales.
- Departamento de Calidad: 3 colaboradores encargados de supervisar y corroborar los diferentes controles de calidad en las áreas de moldeo y ensamble.
- Departamento de Contabilidad: 3 colaboradores encargados de la contabilidad de la empresa.

- Departamento de Mantenimiento: 1 ingeniero encargado de supervisar el mantenimiento y las facilidades de la empresa.
- Departamento de Recursos Humanos: 2 colaboradores en funciones de contratación y supervisión del rendimiento de los empleados y de recepción.
- Gerencia General: El gerente general encargo de supervisar cada uno de los departamentos de la empresa.

6. Tipos de Productos

Medtech Costa Rica, S.A. es una empresa que no cuenta con productos propios, sino que ofrece los servicios de inyección de plásticos y ensamble de productos a otras empresas del sector médico, por lo tanto esta empresa se puede catalogar como una empresa de servicios de manufactura de equipo médico bajo contrato.

En el área de moldeo se ofrece el servicio de inyección de plástico, contando la empresa actualmente con 14 inyectoras, además de servicio de mantenimiento y reparación de moldes.

En el área de ensamble se realizan todas las operaciones de ensamble de los diferentes productos, contando con diferentes equipos para realizar todos los procedimientos necesarios.

7. Mercados de Exportación

Al ser esta empresa del tipo de servicios no exporta directamente hacia otros mercados, sino que las empresas que subcontratan los servicios de Medtech Costa Rica, S.A. son las encargadas de comercializar sus productos.

8. Descripción General del Proceso Productivo

El proceso productivo en Medtech Costa Rica, S.A. consta de dos áreas o secciones principales.

Las áreas principales son el área de moldeo por inyección y el área de ensamble. En la primer área se realizan las operaciones necesarias para poder realizar la inyección de las diferentes piezas, como: secado de las resinas poliméricas, ajuste y mantenimiento de los moldes, ajuste de los parámetros de las máquinas inyectoras, control de calidad y empaque. En la segunda área se realizan los ensambles parciales o totales de las piezas, así como las pruebas e inspecciones que aseguren la calidad del producto.

Las áreas de moldeo por inyección y ensamble son reguladas por el Departamento de Calidad, el cual se encarga de realizar las inspecciones de calidad que aseguren que los productos cumplan con las especificaciones requeridas.

B. Justificación del Estudio

Medtech Costa Rica S.A. es una empresa dedicada a ofrecer el servicio de inyección de plásticos y ensamble a empresas que producen productos médicos.

En el proceso de inyección de plásticos se realizan inspecciones por parte del departamento de calidad para asegurar que el producto cumpla con los requerimientos del cliente, de estas, la inspección en el arranque de producción (start up) es una de las cuales requiere de mayor tiempo muerto, ya que en esta se realiza una inspección dimensional y visual de cierta cantidad de piezas, para que así el departamento de calidad de la aprobación al departamento de producción para que se inicie la inyección de la pieza de manera constante. En el tiempo que se realiza esta inspección, la inyectora no puede producir, desperdiándose la capacidad de la máquina en producción, representando esto

un costo muy grande para la empresa de aproximadamente 17000 dólares anuales¹.

También para iniciar el proceso de inyección de plásticos se requiere de un proceso de secado de las resinas poliméricas que se van a utilizar, este proceso depende del polímero con que se va a trabajar pero también depende del equipo que se utiliza. En este momento en Medtech se cuenta con dos diferentes tipos de equipos de secado, los cuales presentan una diferencia de hasta dos horas en el tiempo de secado de una misma resina, representando esto un costo mayor por consumo energético de los equipos.

Al ser Medtech una empresa que ofrece sus servicios a otras compañías de producto médico es muy importante para esta ofrecer productos de calidad con los costos más bajos posibles. Con la implementación del mismo, se puede asegurar la calidad de las piezas inyectadas y eliminar el tiempo muerto de arranque de producción en las inyectoras, así como eliminar los excesos de tiempo en el secado de las resinas poliméricas. Esto da como resultado una disminución en los costos.

⁽¹⁾ Ver anexo 1 sobre desglose de costos por tiempos muertos para el mes de agosto.

C. Objetivos del Proyecto

1. Objetivo General

Reducir el costo del control de la calidad del producto mediante la implementación de un control predictivo del proceso y establecer curvas de secado de resinas poliméricas en los tipos de equipos de secado disponibles.

2. Objetivos Específicos

1. Definir las variables del proceso de moldeo por inyección a monitorear durante el proceso de producción.
2. Estudio del proceso de moldeo por inyección a través de referencias bibliográficas.
3. Correlación factorial 3^n de datos del proceso de moldeo por inyección en función de las dimensiones críticas de cada producto según especificación.
4. Análisis de las opciones de muestreo para su eventual aplicación en el análisis y disposición del producto.
5. Establecer el plan de muestreo a utilizar durante el establecimiento análisis del control predictivo del proceso.
6. Establecer las diferentes curvas de secado para las tecnologías usadas.
7. Definir las diferencias entre el uso de cada uno de los diferentes equipos de secado.

D. Alcances y Limitaciones del Estudio

1. Alcances

El proyecto es importante en la empresa Medtech Costa Rica S.A., porque puede reducir los costos de inspecciones de calidad, los costos por tiempos

muestras por arranque de producción y los costos de consumo energético por exceso de secado de las resinas.

El proyecto inicia con un análisis de la situación actual de la empresa, en donde se establecen las variables a medir en el proceso de muestreo y los costos que se tienen actualmente por tiempos muertos en producción, inspecciones de calidad y variación en el aparente aprovechamiento de los equipos de secado de resinas.

El proyecto desarrolla las correlaciones lineales entre la pieza a obtener y las variables que intervienen en el proceso. Esto permite predecir la variabilidad de una pieza, y por consiguiente su aceptación, sin necesidad de un muestreo formal. Conociendo y controlando las variables de operación del proceso (presión pico de llenado, temperatura de la masa fundida y cojín), se puede anticipar la calidad de una pieza o su falta basado en las condiciones de operación. Esto a su vez resulta en una reducción del número de inspecciones de calidad.

Las curvas de secado de los diferentes equipos para las diferentes resinas también contribuyen al conocimiento del equipo para así dar un mayor aprovechamiento de los equipos existentes, reduciendo los costos por consumo energético de estos equipos.

2. Limitaciones

Este proyecto tiene como limitaciones principales que al ser Medtech una empresa que brinda los servicios a otras compañías de productos médicos se aplicará esta iniciativa solo a un molde de las piezas inyectadas que se producen actualmente, además para el caso de secado de resinas, se establecerán las curvas de secado para aquellas resinas que se están utilizando actualmente.

Este proyecto puede tener fases posteriores para la implementación del mismo a otras piezas y resinas poliméricas no analizadas. Por lo tanto, este

proyecto servirá como base para implementarlo en futuras piezas a producir y otras resinas a utilizar por parte de la empresa.

II. MARCO TEÓRICO

1. Proceso de Moldeo por Inyección

El proceso de Moldeo por Inyección consiste en inyectar un polímero en estado fundido en un molde cerrado a presión. En ese molde el material se solidifica, comenzando a cristalizar en polímeros semicristalinos. La pieza o parte final se obtiene al abrir el molde y sacar de la cavidad la pieza moldeada.

1.1 Equipo Utilizado

El equipo utilizado para realizar el moldeo por inyección consta básicamente de las inyectoras y el molde.

La función principal de la unidad de inyección o inyectora es la de fundir, mezclar e inyectar el polímero. Para lograr esto se utilizan husillos de diferentes características según el polímero que se desea fundir.

La unidad de inyección es en origen una máquina de extrusión con un solo husillo, teniendo el cañón calentadores o resistencias y sensores para mantener una temperatura programada constante. La profundidad entre el canal y el husillo o tornillo cilíndrico disminuye gradualmente desde la zona de alimentación hasta la zona de dosificación. De esta manera, la presión en el barril aumenta gradualmente. El esfuerzo mecánico, de corte y la compresión añaden calor al sistema y funden el polímero más eficientemente que si hubiera únicamente calor.

La cámara de reserva es donde se acumula el polímero fundido para ser inyectado. Esta cámara actúa como la de un pistón. Toda la unidad se comporta como un émbolo que empuja el material. Debido a esto, una parte del husillo termina por subutilizarse, por lo que se recomiendan cañones largos para procesos de mezclado eficiente.

La unidad de cierre es una prensa hidráulica o mecánica, con una fuerza de cierre que contrarresta la fuerza ejercida por el polímero fundido al ser inyectado

en el molde. Si la fuerza de cierre es insuficiente, el material escapará por la unión del molde, causando así que la pieza final tenga defectos llamados rebabas.

La figura 2.1 muestra un esquema general de una inyectora, en donde se pueden observar las partes principales.

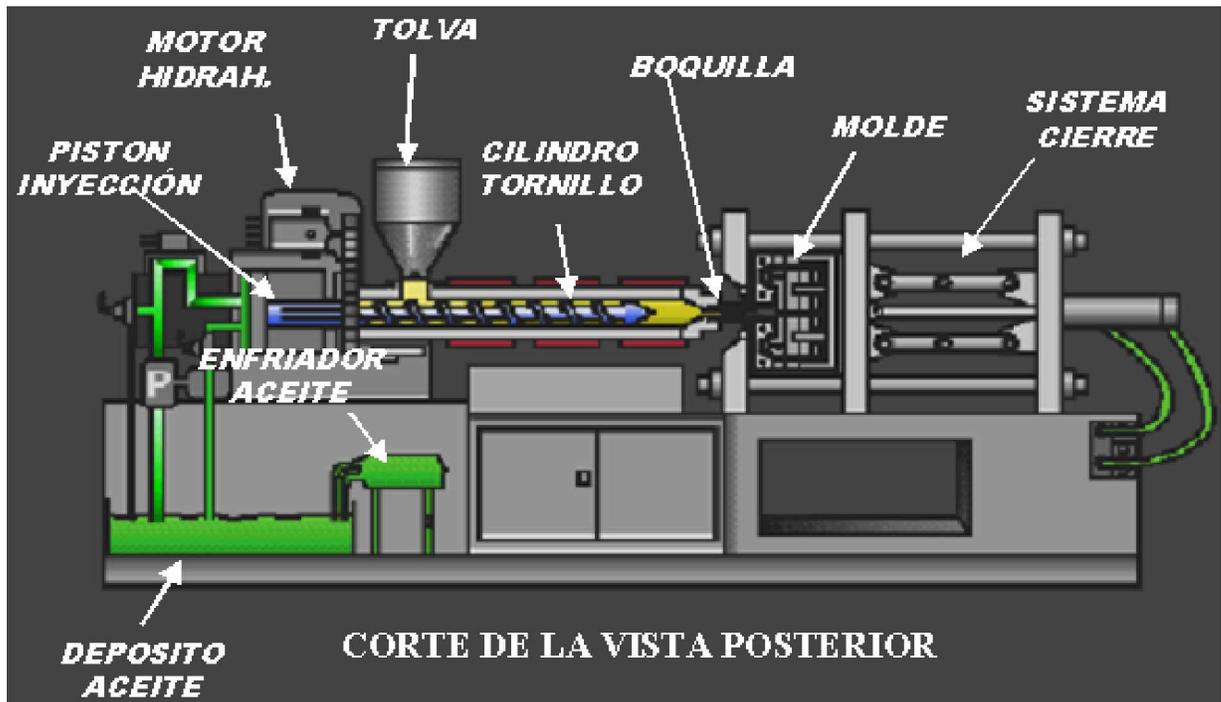


Figura 2.1.: Esquema general de una inyectora hidráulica. Fuente: http://es.wikipedia.org/wiki/Moldeo_por_inyecci%C3%B3n.

El molde es el que contiene el espacio donde se genera la pieza, siendo este una pieza intercambiable que se atornilla en la unidad de cierre.

Las principales partes del molde son:

- Cavity: Es el volumen en el cual la pieza será moldeada.
- Canales o Ductos: Son conductos a través de los cuales el polímero fundido fluye debido a la presión de inyección. El canal de alimentación se llena a través de la *boquilla*, los siguientes canales son los denominados *bebederos* y finalmente se encuentra la *compuerta*.

- **Canales de Enfriamiento:** Son canales por los cuales circula agua para regular la temperatura del molde. Su diseño es complejo y específico para cada pieza y molde. Un correcto enfriamiento es indispensable para obtener piezas de calidad uniforme.
- **Barras Expulsoras:** Estas barras expulsan la pieza moldeada fuera de la cavidad al abrir el molde.

1.2 Principales Fases del Proceso de Inyección de Plásticos

El ciclo de moldeo por inyección consta básicamente de las siguientes etapas o pasos principales:

- **Molde cerrado y vacío:** La unidad de inyección carga material y se llena de polímero fundido.
- Se inyecta el polímero abriéndose la válvula y, con el husillo que actúa como un pistón, se hace pasar el material a través de la boquilla hacia las cavidades del molde.
- La presión se mantiene constante para lograr que la pieza tenga las dimensiones adecuadas, pues al enfriarse tiende a contraerse.
- La presión se elimina, la válvula se cierra y el husillo gira para cargar material; al girar también retrocede.
- La pieza en el molde termina de enfriarse, la prensa libera la presión y el molde se abre; las barras expulsan la parte moldeada fuera de la cavidad.
- La unidad de cierre vuelve a cerrar el molde y el ciclo puede reiniciarse.

1.3 Principales Parámetros o Variables que Intervienen en el Proceso de Moldeo Por Inyección

Los principales parámetros que intervienen en el proceso de son los siguientes:

1. *Primera Presión de Inyección o Presión Inicial:* Esta, según Beaumont (2002), tiene un rango entre 50 a 250 MPa (7251.75 a 36258.75 psi).

Esta se da debido a los esfuerzos perpendiculares que se generan entre la resina y las paredes del molde y es la presión requerida para vencer las resistencias que el material fundido produce a lo largo de su trayectoria, desde el cilindro de plastificación hasta el molde. Esta presión corresponde a la fase de llenado del molde, con esta se pretende llenar la cavidad de 90 a 95%, para después terminar de llenar la pieza con la segunda presión y una velocidad más baja.

2. *Segunda Presión de Inyección o Presión de Conmutación:* Tiene como objetivo el mantener bajo presión el material fundido que se solidifica y se contrae en la cavidad del molde, para así completar el llenado y así compensar la contracción, introduciendo un poco más de material fundido en el molde.
3. *Temperatura de la Masa Fundida (polímero):* Esta está en el rango de 120 a 350 °C (248-662 °F), esto según Beaumont (2002). La temperatura del barril de inyección es mantenida por resistencias eléctricas.
4. *Temperatura del Molde:* Esta temperatura se debe mantener en el rango de 0 a 150 °C (32-302 °F). Los fluidos para la transferencia de calor se mantendrán circulando en el molde para mantener la temperatura en la superficie de la cavidad de este.
5. *Espesor del Cojín:* Son los milímetros de material que deben permanecer constantes en la punta del husillo, para garantizar una repetitividad en el proceso.
6. *Tiempo de Inyección:* Es el tiempo en el que se lleva a cabo el llenado de las cavidades del molde.
7. *Tiempo de Ciclo:* Es el tiempo en el que se llevan a cabo las etapas del proceso de inyección, comprende el tiempo de cierre, inyección, post-presión, enfriamiento, plastificación, apertura del molde y expulsión.

Sin embargo de los parámetros mencionados y según lo que comenta Vilela (2002), en su tesis de graduación en la Universidad Do Minho, el principal parámetro que interviene en el proceso de inyección es la presión de inyección, o primera presión de inyección, la cual se ha considerado el parámetro más

importante para establecer una correlación con las dimensiones y el peso de la parte moldeada y se considera una huella digital del proceso.

La figura 2.2 demuestra una evolución típica de la presión dentro de la impresión del molde y de sus características principales.

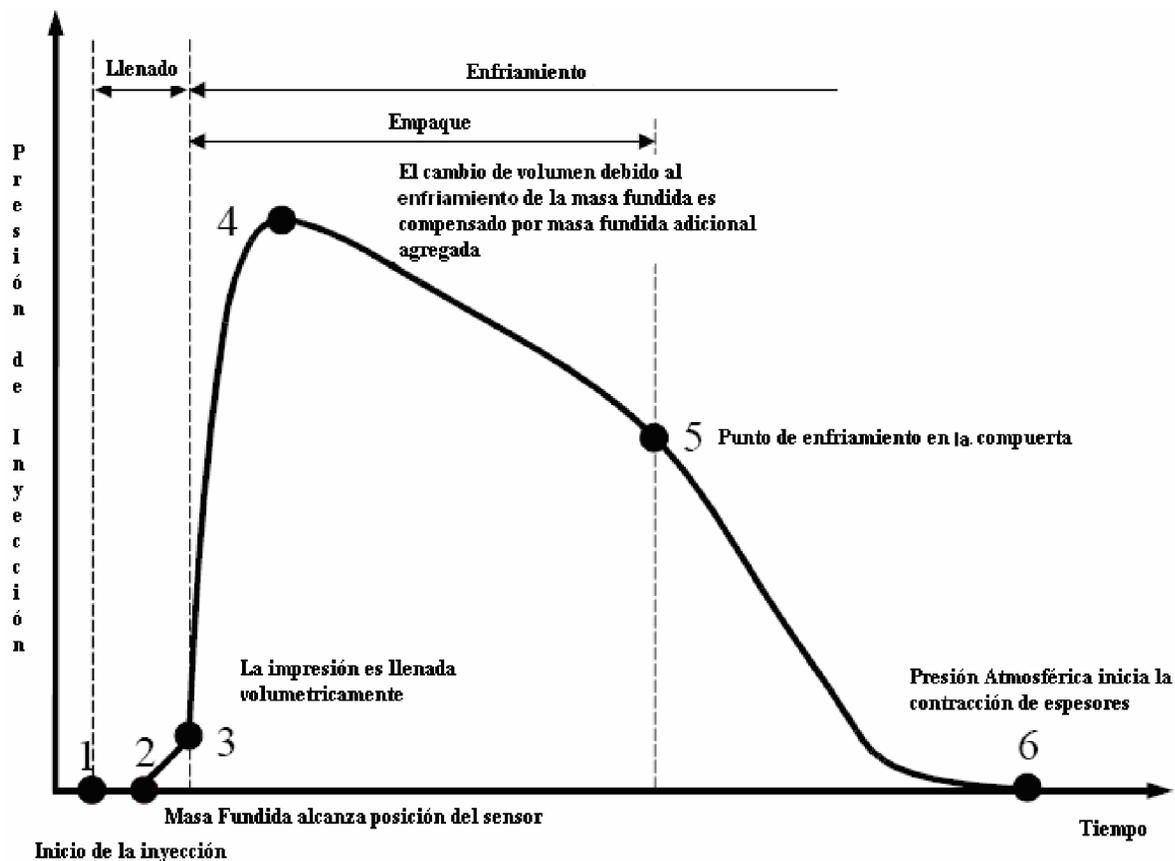


Figura 2.2.: Evolución de la Presión Típica de Inyección en el Molde. Fuente:

Vilela, A (2002).

Además, como menciona Vilela (2002), cambios en parámetros como temperatura, caudal, presión de empaque y tiempo causan cambios en el perfil de presión mostrado en la figura anterior. La figura 2.3 muestra el efecto de estos factores en la evolución del perfil de la presión de inyección.

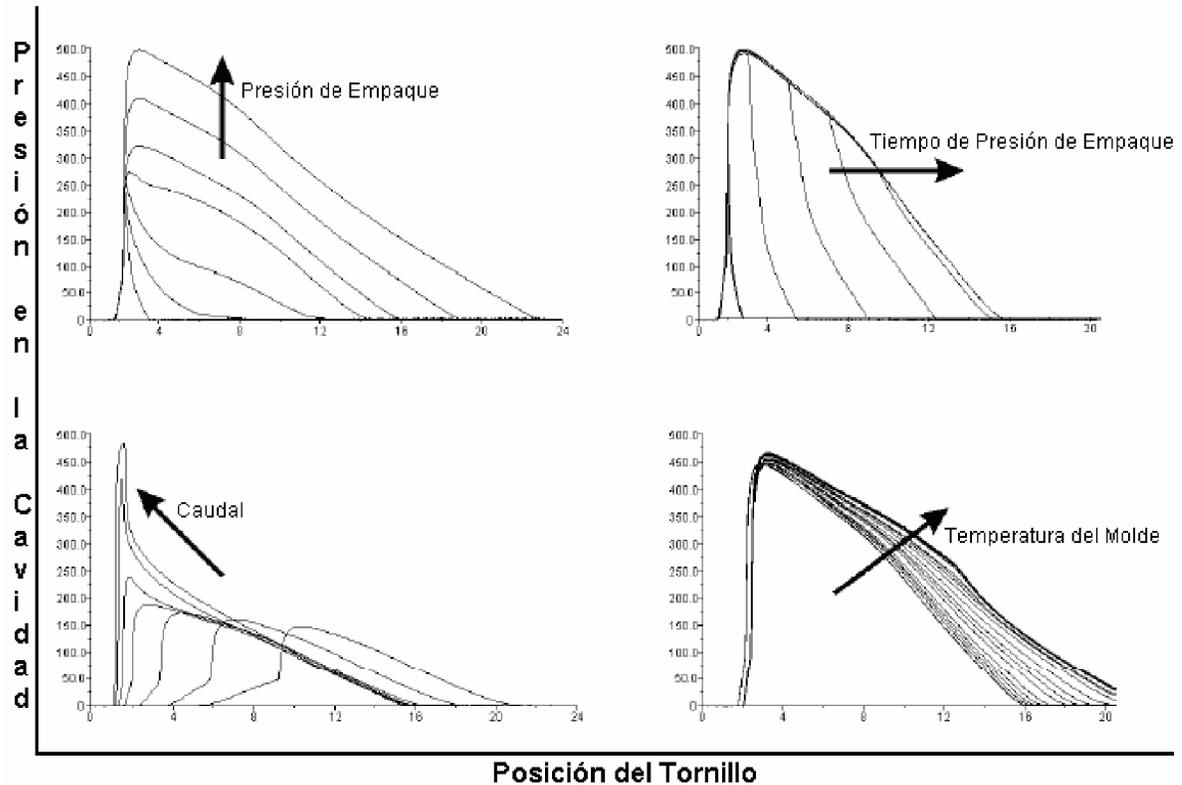


Figura 2.3.: Influencia de algunas variables en la evolución del perfil de presión dentro de la cavidad. Fuente: Vilela, A (2002).

En la Figura 2.3. se puede observar que un aumento en la presión de empaque, tiempo de presión de empaque y temperatura del molde provocan un descenso en la presión de inyección más lento y una presión de empaque mayor, mientras que un aumento en el caudal de inyección provoca un descenso brusco de la presión de inyección y una presión de empaque mayor.

2. *Diseño de Experimentos*

Como lo expone Montgomery (1991) un experimento diseñado es una prueba o series de pruebas en las cuales se inducen cambios programados en las variables de entrada de un proceso o sistema, de manera que sea posible observar e identificar las causas de los cambios en la respuesta de salida.

El proceso o sistema en estudio puede visualizarse como una combinación de máquinas, métodos, personas y otros recursos que transforman una entrada en una salida que tiene una o más respuestas observables, tal como se muestra en la figura 2.4.

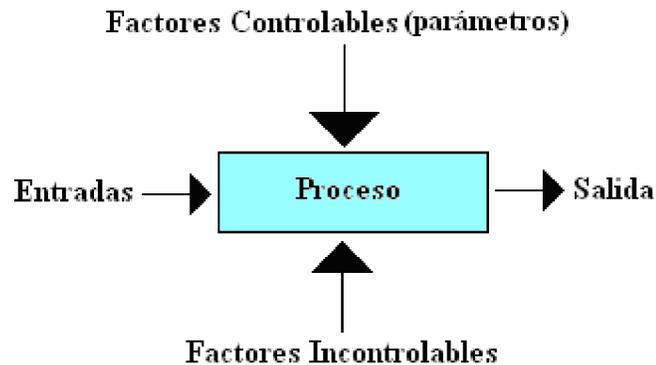


Figura 2.4.: Modelo General de un Proceso o Sistema. Fuente: Montgomery (1991).

Entre los objetivos del experimento están:

- Determinar cuáles variables tienen mayor influencia en la respuesta.
- Determinar el rango de los factores controlables que influyen en la salida, de modo que la salida tenga casi siempre un valor cercano al valor nominal deseado.

El diseño de experimentos se utiliza para determinar el número de experimentos necesarios para dar una correlación estadísticamente válida entre acción y efecto. Esto conlleva a un mejor conocimiento del proceso y se esperaría:

- Mejoras en el rendimiento del proceso.
- Menor variabilidad.
- Menor tiempo de implementación de cambios.
- Menores costos globales y mayor eficiencia.

2.1 Principios Básicos

El diseño estadístico de experimentos es el proceso de planear un experimento para obtener datos apropiados, que pueden ser analizados mediante métodos estadísticos. La metodología estadística es un el único enfoque objetivo para analizar un problema que involucre datos sujetos a errores experimentales. Hay dos aspectos en los problemas experimentales: el diseño del experimento y el análisis estadístico de los datos.

Los principios básicos del diseño estadístico de de experimentos son:

- **Obtención de Replicas:** Da como resultado:
 1. Permite obtener una estimación del error experimental.
 2. Permite calcular una estimación más precisa del efecto de un factor en el experimento.
- **Aleatorización:** El hecho de que tanto la asignación del material experimental como el orden en que se realizan las pruebas individuales o ensayos se determinen aleatoriamente.

2.2 Etapas o Directrices para el Diseño de Experimentos

Las principales etapas en el diseño de experimentos son las siguientes:

1. Comprensión y planteamiento del problema.
2. Elección de factores y niveles: El diseñador debe elegir:
 - Factores que variarán en el experimento.
 - Los intervalos de variación.
 - Niveles específicos del experimento.
 - Forma en que se controlan los factores.
 - Cómo se medirán los factores.

3. Selección de la Variable Respuesta: De esta depende que la información sea útil acerca del proceso en estudio.
4. Elección del Diseño Experimental: Este debe tomar en cuenta:
 - Tamaño de la muestra y número de repeticiones.
 - Orden adecuado para los ensayos experimentales.
 - Determinar si hay implicado bloqueo u otras restricciones de aleatorización.
5. Realización del Experimento: Es vital vigilar el proceso para prevenir errores sistemáticos.
6. Análisis de Datos: Deben emplearse métodos estadísticos para analizar los resultados obtenidos.
7. Conclusiones y Recomendaciones: Es conveniente el uso de gráficos y deben hacerse corridas de seguimiento y pruebas de confirmación para validar las conclusiones del experimento.

2.3 Diseños Factoriales

Son experimentos en donde se tiene “a” niveles del factor “A”, “b” niveles del factor “B”, “c” niveles del factor “C” y así sucesivamente, arreglados en un experimento factorial. En general habrá un total de $abc \dots n$ observaciones si hay “n” réplicas del experimento completo. Para este tipo, deben recopilarse al menos dos réplicas ($n \geq 2$) para poder determinar la suma de cuadrados del error si todas las posibles iteraciones en el modelo son incluidas.

2.3.1 Diseño Factorial 3^3

Este es un diseño experimental en el que se cuenta con tres factores para determinar la influencia que estos tienen en determinado proceso y para cada factor se cuenta con tres niveles o especificaciones: un nivel alto, un intermedio o nominal y un nivel bajo.

Para un diseño de tres factores se tiene que la suma de los cuadrados para este método, según Montgomery (1991), se muestra a continuación:

$$SS_T = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c \sum_{l=1}^n y_{ijkl}^2 - \frac{y^2}{3abc} \quad (\text{Ecuación 1})$$

La suma de los cuadrados de los efectos principales se calcula así:

$$SS_A = \sum_{i=1}^a \frac{y_i^2}{3bc} - \frac{y^2}{3abc} \quad (\text{Ecuación 2})$$

$$SS_B = \sum_{j=1}^b \frac{y_j^2}{3ac} - \frac{y^2}{3abc} \quad (\text{Ecuación 3})$$

$$SS_C = \sum_{k=1}^c \frac{y_k^2}{3ab} - \frac{y^2}{3abc} \quad (\text{Ecuación 4})$$

La Tabla 2.1 muestra el análisis de variancia para un diseño factorial de tres factores.

Tabla 2.1: Tabla de Análisis de Variancia para el Modelo Trifactorial de Efectos Fijos. Fuente: Montgomery (1991).

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Media de Cuadrados	Valor Esperado de Media de Cuadrados	F ₀
A	SS _A	a - 1	MS _A	$\sigma^2 + \frac{bcn \sum \tau_i^2}{a-1}$	$F_0 = \frac{MS_A}{MS_E}$
B	SS _B	b - 1	MS _B	$\sigma^2 + \frac{acn \sum \beta_j^2}{b-1}$	$F_0 = \frac{MS_B}{MS_E}$
C	SS _C	c - 1	MS _C	$\sigma^2 + \frac{abn \sum \gamma_k^2}{c-1}$	$F_0 = \frac{MS_C}{MS_E}$

AB	SS_{AB}	$(a - 1)(b - 1)$	MS_{AB}	$\sigma^2 + \frac{cn \sum \sum (\tau\beta)_{ij}^2}{(a-1)(b-1)}$	$F_0 = \frac{MS_{AB}}{MS_E}$
AC	SS_{AC}	$(a - 1)(c - 1)$	MS_{AC}	$\sigma^2 + \frac{bn \sum \sum (\tau\gamma)_{ik}^2}{(a-1)(c-1)}$	$F_0 = \frac{MS_{AC}}{MS_E}$
BC	SS_{BC}	$(b - 1)(c - 1)$	MS_{BC}	$\sigma^2 + \frac{an \sum \sum (\beta\gamma)_{jk}^2}{(b-1)(c-1)}$	$F_0 = \frac{MS_{BC}}{MS_E}$
ABC	SS_{ABC}	$(a - 1)(b - 1)(c - 1)$	MS_{ABC}	$\sigma^2 + \frac{n \sum \sum \sum (\tau\beta\gamma)_{ijk}^2}{(a-1)(b-1)(c-1)}$	$F_0 = \frac{MS_{ABC}}{MS_E}$
Error Total	SS_E SS_T	$abc(n - 1)$ $abcn - 1$	MS_E	σ^2	

La suma de los cuadrados de la interacción entre efectos se encuentra mediante las siguientes ecuaciones:

$$SS_{AB} = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \frac{y_{ij}^2}{cn} - SS_A - SS_B = SS_{Subtotales(AB)} - SS_A - SS_B \text{ (Ecuación 5)}$$

$$SS_{AC} = \sum_{i=1}^a \sum_{k=1}^c \frac{y_{ik}^2}{bn} - SS_A - SS_C = SS_{Subtotales(AC)} - SS_A - SS_C \text{ (Ecuación 6)}$$

$$SS_{BC} = \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c \frac{y_{jk}^2}{an} - SS_B - SS_C = SS_{Subtotales} - SS_B - SS_C \text{ (Ecuación 7)}$$

La suma de los cuadrados de la interacción de tres factores se determina mediante:

$$SS_{ABC} = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c \frac{y_{ijk}^2}{n} - \frac{y_{...}^2}{abcn} - SS_A - SS_B - SS_C - SS_{AB} - SS_{AC} - SS_{BC}$$

(Ecuación 8)

$$SS_{ABC} = SS_{Subtotales(ABC)} - SS_A - SS_B - SS_C - SS_{AB} - SS_{AC} - SS_{BC} \quad (\text{Ecuación 9})$$

La suma de cuadrados del error es:

$$SS_E = SS_T - SS_{Subtotales(ABC)} \quad (\text{Ecuación 10})$$

Con la Tabla de análisis de varianza se puede llevar a cabo un análisis de los tres factores en estudio, para así determinar la influencia de cada uno de estos en la variable respuesta.

3. Planes de Muestreo

La inspección de materias primas, productos semiterminados o productos terminados es parte importante del aseguramiento de la calidad. Cuando el propósito de la inspección es la aceptación o el rechazo de un producto, con base en la conformidad respecto a un estándar, el tipo de procedimiento de inspección que se utiliza se llama muestreo por aceptación.

La primera clasificación de los planes de muestreo para aceptación podría ser la distinción entre planes de muestreo por atributos y planes de muestreo por variables dependiendo del tipo de característica de calidad que se mida. Las variables son características de calidad que se miden en una escala numérica y los atributos son características de calidad que se expresan en forma de aceptable o no aceptable.

Existe otra clasificación para los diferentes tipos de muestreo, como lo propone Gutiérrez (2004), la cual es:

1. *Muestreo Simple:* Es un procedimiento en el que extrae una muestra aleatoria de “n” unidades de una corrida o lote original y se inspeccionan sobre las bases de aceptación o rechazo para encontrar “c” o menos unidades defectuosas.
2. *Muestreo Doble:* Un plan de muestreo doble tiene dos fases, en la primera fase se selecciona una muestra inicial y se toma una decisión basada en la información de esta muestra. Esta decisión puede llevar a tres alternativas: aceptar el lote, rechazar el lote o tomar una segunda muestra. Si se toma la segunda muestra se está en una segunda fase, y se combina la información de ambas muestras para decidir sobre la aceptación o el rechazo del lote.
3. *Muestreo Múltiple:* Un plan de muestreo múltiple es una extensión del concepto de muestreo doble a varias fases en el que pueden necesitarse más de dos muestras para llegar a una decisión acerca de la suerte del lote. Los tamaños muestrales suelen ser menores que en un muestreo simple o doble.
4. *Muestreo Secuencial:* Un plan de muestreo secuencial es una extensión del muestreo múltiple a un número elevado de fases (teóricamente infinito) en el que se van seleccionando artículos de uno en uno del lote y, según la inspección de cada unidad, se toma una decisión para aceptar o rechazar el lote o bien seleccionar otro artículo para seguir inspeccionando.

3.1 Principales Conceptos

Los siguientes son los principales parámetros o conceptos que se deben de conocer para establecer un correcto plan de muestreo:

- N: Tamaño de lote.
- n: Tamaño de la muestra.
- c: Número de aceptación.

- AQL: Acceptance Quality Level, este representa el nivel de calidad aceptado. Es el máximo número de defectos por cada cien unidades que se puede considerar como satisfactorio para la media del proceso.
- Inspección: Proceso de medición, examen, comprobación y otra forma de comparación de la unidad del producto con las especificaciones.
- Unidad del producto: Objeto que se examina a fin de determinar su clasificación como defectuoso o no defectuoso o bien para contarle el número de defectos.
- Muestra: Una o más unidades del producto que se tomen al azar de un lote o de una producción unitaria para inspeccionar. El número de unidades del producto dentro de la muestra se denomina tamaño de la muestra.

4. *Curvas de Secado de Resinas Poliméricas*

El secado de resinas poliméricas consiste, de manera general, en eliminar el exceso de humedad de las resinas, para que estas puedan ser utilizadas en un posterior proceso.

Las resinas a las cuales se les debe eliminar el exceso de humedad para poder ser utilizadas en el proceso de moldeo por inyección son aquellas que presentan comportamiento higroscópico, o sea, que tienden a absorber humedad.

Algunas de las resinas poliméricas que tienden a absorber humedad son: el nylon, el policarbonato, el ABS, los copoliéster, entre otras.

El proceso de secado de resinas consiste en hacer pasar una corriente de aire, generalmente a cierta temperatura, sobre la resina para que, junto con un material desecante, se elimine el exceso de humedad de esta. Este proceso debe de ser controlado mediante la realización de pruebas de humedad, en donde se determinará el momento en que la resina tiene el porcentaje de humedad requerido.

Las curvas de secado de resinas poliméricas consisten en crear curvas en donde se relacione porcentaje de humedad vs tiempo de secado. Estas sirven para establecer el comportamiento del equipo de secado, en cuanto a capacidad para eliminar la humedad de una resina, además para establecer tiempos de secado de resinas en un equipo específico.

El comportamiento típico de una resina en un proceso de secado es que a mayor tiempo de secado menor humedad, se obtenga, esto se cumple cuando el equipo de secado o secador esté en óptimas condiciones.

Las pruebas para determinar el porcentaje de humedad de una resina se pueden hacer utilizando analizadores de humedad de halógeno.

Los analizadores de humedad de halógeno, como se explica en el catálogo del analizador de humedad de halógeno de Mettler Toledo, sirven para determinar el contenido de humedad de prácticamente cualquier sustancia, así como el calentamiento uniforme de la superficie de la muestra.

El equipo de analizador de humedad de halógeno trabaja según el principio termogravimétrico, el cual consiste en los siguientes pasos:

1. Al inicio de la medición el analizador de humedad determina el peso de la muestra.
2. La muestra se calienta rápidamente con la unidad de calentamiento halógeno integrado.
3. La humedad se evapora.
4. Durante la desecación el equipo calcula continuamente el peso de la muestra y la pérdida de humedad.
5. El resultado final será el contenido de humedad o el de materia seca de la muestra.

III. METODOLOGÍA

A. Descripción General

Este proyecto consistió, de manera general, en dos etapas de desarrollo.

La primera etapa se enfocó en el análisis estadístico para el establecimiento de un modelo predictivo del proceso de moldeo por inyección para una pieza que actualmente está produciendo la empresa. Para el desarrollo de esta etapa se inició con un estudio del proceso de moldeo por inyección, estableciendo las variables del proceso a monitorear, los rangos de operación para estas variables, el plan de muestreo de las piezas producidas con sus respectivas variables de operación y para finalmente establecer las relaciones funcionales factoriales entre las dimensiones de la pieza y las condiciones de operación de la inyectora.

La segunda etapa del desarrollo de este proyecto consistió en el establecimiento de curvas de secado de resinas termoplásticas, su análisis y el establecimiento de diferencias entre los diferentes equipos de secado con que cuenta actualmente la empresa.

Ambas etapas se desarrollaron con el fin de proponer posibles reducciones de costos, primeramente la reducción de costos del control de calidad del producto antes y después de la implementación del sistema predictivo del proceso en las maquinas de moldeo por inyección, y la reducción de costos por aparente mal aprovechamiento de los equipos de secado de resinas poliméricas.

B. Procedimiento Secuencial

1. Definición de las variables del proceso de inyección a monitorear durante el proceso de producción:

1.1 Búsqueda de información bibliográfica sobre las principales variables que influyen en el proceso de inyección de plásticos.

1.2 Estudio de los rangos de operación de las variables seleccionadas en el actual proceso de inyección, esto dependiendo del molde de inyección a utilizar.

2. Establecimiento del diseño de experimentos a utilizar para el monitoreo de variables en el proceso de inyección y las piezas obtenidas:
 - 2.1 Estudio y definición de un diseño de experimentos que permita realizar el análisis de la influencia de las variables involucradas en el proceso de inyección.
3. Establecimiento del plan de muestreo a utilizar durante el establecimiento del control predictivo del proceso:
 - 3.1 Análisis de las diferentes opciones de muestreo a nivel bibliográfico y que puede ser aplicado en las inyectoras de la empresa.
 - 3.2 Determinación de los parámetros necesarios para que el plan de muestreo sea confiable y representativo.
4. Correlación factorial de los datos del proceso de inyección en función de las dimensiones críticas del producto.
 - 4.1 Toma de muestras de la pieza a analizar y de los parámetros de operación de la máquina inyectora.
 - 4.2 Toma de datos de las dimensiones críticas de la pieza.
 - 4.3 Establecimiento de la correlación factorial.
5. Estimación de las posibles reducciones de costos con la implementación del control predictivo del proceso en las inyectoras.
6. Establecimiento de las curvas de secado para los diferentes equipos disponibles:
 - 5.1 Determinación de los porcentajes de humedad de los diferentes materiales en el tiempo en los diversos equipos utilizados en Medtech Costa Rica S.A.

5.2 Creación de curvas de secado de porcentaje de humedad vs. Tiempo para las diferentes resinas poliméricas.

5.3 Indicación de posibles reducciones de costos.

La figura 3.1 muestra un esquema general del desarrollo de la metodología para el proyecto realizado.

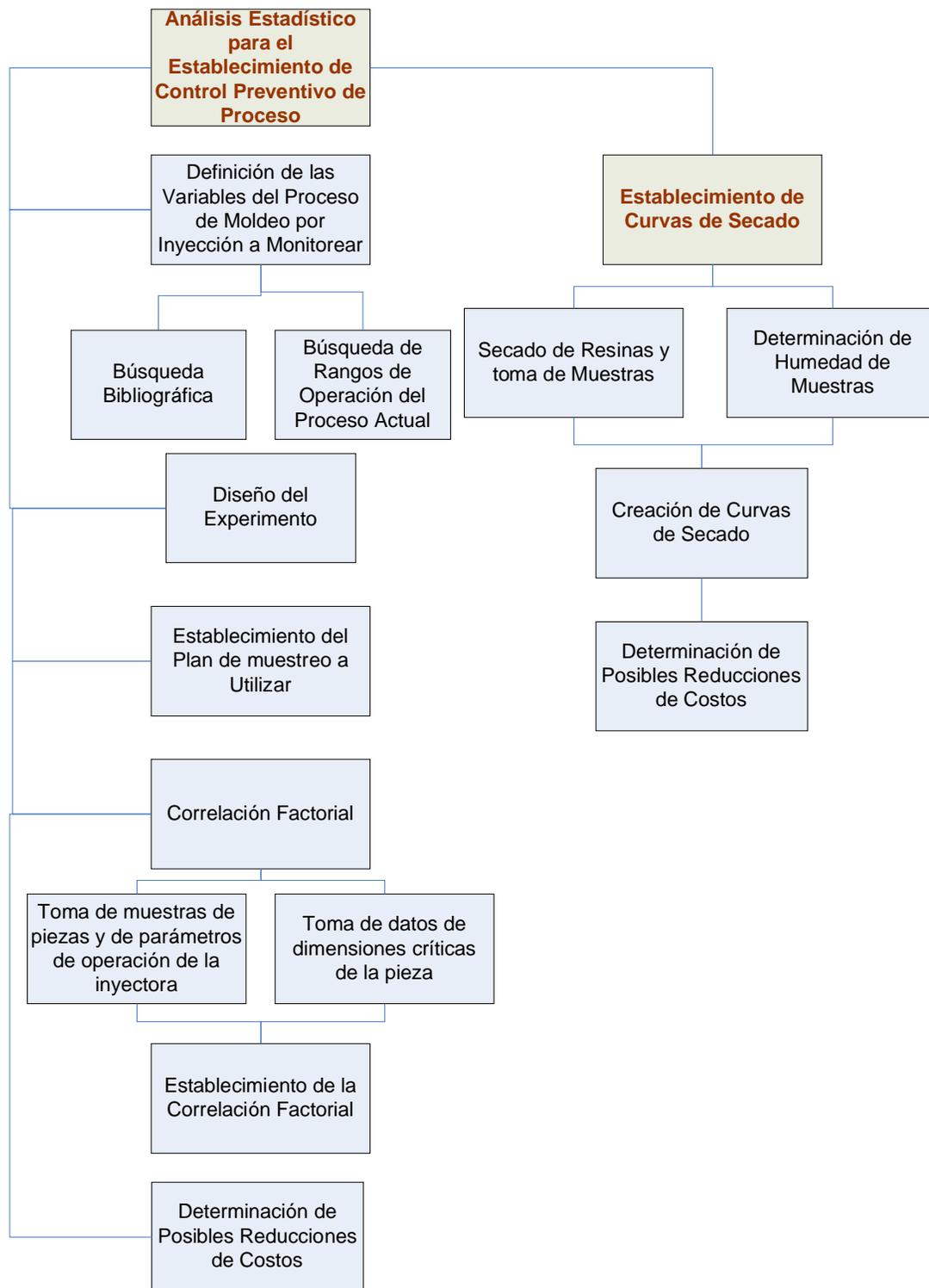


Figura 3.1.: Esquema General del Desarrollo de la Metodología.

IV. DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL

A. Introducción

El departamento o área donde se desarrollo el proyecto es el área de Moldeo por Inyección.

Esta es un área encargada de moldear piezas por medio del proceso de inyección de plásticos.

El proceso de inyección realizado en Medtech Costa Rica, S.A. consiste en diferentes etapas o pasos.

La primera etapa consiste en el recibimiento e inspección de las materias primas (resinas poliméricas), dicho proceso se conoce como "Incoming". En este se hace una revisión de las resinas para asegurarse que estas cumplan con los requerimientos necesarios: número de lote y tipo de resina.

Luego de realizado el "incoming" de las resinas se procede a trasladarlas al departamento de materiales, donde el personal de esta área es el encargado de proveer las resinas para producción. Anterior a esto, los colaboradores de este departamento deben de realizar el proceso de secado de las resinas en los respectivos equipos de secado (Dryers) con que cuenta la empresa, para lo cual se debe de tener en consideración el tipo de resina, si requiere o no un secado previo a la inyección, las temperaturas y el tiempo de secado.

Otra etapa importante para realizar el proceso de inyección es la preparación de los moldes, realizada en el Taller de Moldes. Los moldes utilizados en Medtech no son propiedad de la empresa, sino de las empresas a las cuales esta compañía ofrece los servicios de subcontratación. Sin embargo, Medtech ofrece los servicios de mantenimiento y reparación de los moldes, por lo tanto, previo al inicio del proceso de inyección, los moldes reciben un mantenimiento preventivo, que consiste básicamente en la limpieza del molde y el alineamiento de este. Luego de realizado este proceso, el molde es entregado al técnico de

cambio de moldes (Set Up), para que este realice el proceso de instalación del molde en la inyectora respectiva.

Luego de que el molde ha sido instalado en la inyectora a utilizar se procede a introducir los parámetros de operación de la máquina. Estos parámetros han sido establecidos con anterioridad mediante un proceso de validación, en donde se establecen los límites inferiores y superiores de funcionamiento de la máquina, así como los valores nominales.

Al contar la máquina inyectora con el respectivo molde a inyectar, la materia prima a utilizar y los parámetros correctamente establecidos se procede a iniciar con el proceso de inyección de la pieza requerida. Primeramente se inicia con una corrida inicial para extraer muestras que serán analizadas por el departamento de calidad, dicha inspección se conoce como "Start Up". En esta inspección se procede a realizar una medición de las dimensiones críticas de la pieza para establecer si esta está cumpliendo con los requerimientos y así dar un visto bueno para que se continúe con el proceso de inyección.

Finalizada la inspección de "Start Up" se inicia con la producción de la pieza requerida, para lo cual el departamento de calidad realiza inspecciones periódicas, llamadas "Daily", con estas se corrobora que la pieza en producción esté cumpliendo con los requerimientos necesarios.

Durante la producción de las piezas el departamento de moldeo cuenta con operarios encargados de la recolección de estas, contarlas y empacarlas, para que finalmente sean trasladadas al departamento de bodega, donde posteriormente serán enviadas a los respectivos clientes.

B. Descripción Detallada del Proceso Productivo

El proceso de Moldeo por Inyección consiste, básicamente, en inyectar un polímero en estado fundido, bajo presión, en un molde cerrado, en donde se reproduce la cavidad de la pieza que se desea obtener.

En Medtech Costa Rica, S.A. para iniciar el proceso de moldeo por inyección es necesario, primeramente, la preparación de la resina con la que se va a trabajar; para esto, se debe de considerar si esta requiere de un secado (si presenta comportamiento higroscópico) o no. Si se trabaja con una resina higroscópica se cuenta en Medtech con una Tabla que indica el tipo de resina y el tiempo y la temperatura de secado. Dicha Tabla se muestra en la Tabla 4.1.

Tabla 4.1.: Datos de Temperatura y Tiempo de Secado de Diferentes Resinas Utilizadas en Medtech Costa Rica, S.A. Fuente: Medtech, Costa Rica, S.A.

Resina	Temperatura de Secado	Tiempo de Secado (horas)
ABS-15-G47V	180–190 °F (82–87 °C)	2
ABS-10-2502V	180–190 °F (82–87 °C)	2
ABS-02-34800V	180–190 °F (82–87 °C)	2
ABS-02-34801V	180–190 °F (82–87 °C)	2
ABS-10-FNA1000	180–190 °F (82–87 °C)	2
ABS-10-BK4500	180–190 °F (82–87 °C)	2
LEX-143V	240–250 °F (115–121 °C)	4
LEX-10-141V	240–250 °F (115–121 °C)	4
UTM-8112V	300 °F (148 °C)	6
NYL-02-B31-SKV	170 °F (76 °C)	48
NYL-02-7389V	190 °F (87 °C)	8
NYL-02-TX738	190 °F (87 °C)	8
PCT-30-DN003	180 °F (82 °C)	4
MAK-02-2458013528	250 °F (114 °F)	4
MAK-87-2458550115	250 °F (114 °F)	4

Para la realización del secado de la resina se cuenta actualmente en la empresa con los diferentes equipos de secado. El primero es de la marca Dri-Air, el cual es un secador con cámaras desecantes de sílica. El segundo tipo de secador es de la marca Matsui, el cual es un equipo que cuenta con un rotor de zeolita para realizar el proceso de secado.

Para iniciar un proceso de moldeo por inyección es necesario primeramente realizar un proceso de validación y establecer los parámetros de funcionamiento de la inyectora. En Medtech dicho proceso se realiza por parte del departamento de ingeniería, en donde se establecen los límites inferiores y superiores, así como los valores nominales para cada parámetro de funcionamiento de la máquina. Dichos parámetros son establecidos de manera que la máquina dentro del rango de operación establecido produzca las piezas con las especificaciones necesarias.

Actualmente en Medtech Costa Rica, S.A. se cuenta con inyectoras de la marca Nissei. Se cuenta con inyectoras del tipo híbridas, que son eléctricas e hidráulicas al mismo tiempo, e inyectoras eléctricas. En la figura 4.1. se muestra una fotografía de una inyectora Nissei como las que cuenta la empresa.

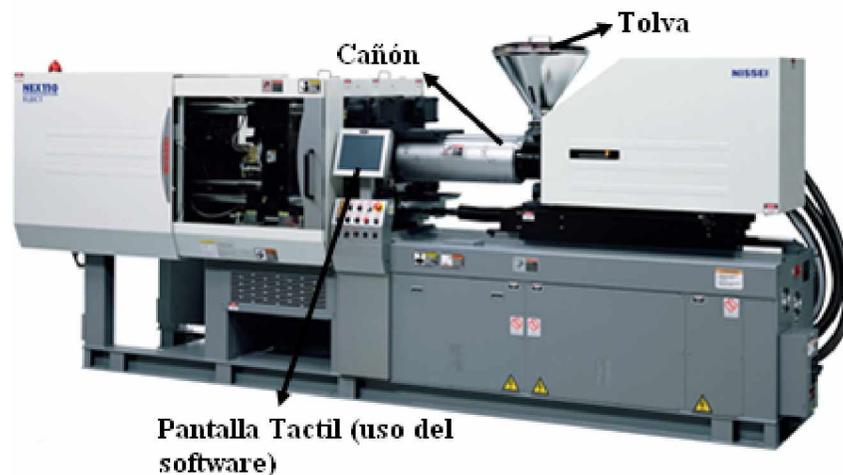


Figura 4.1.: Fotografía de inyectora Nissei utilizada en Medtech Costa Rica, S.A. Fuente: Nissei.

Las inyectoras Nissei poseen un software capaz de monitorear las variables que intervienen en el proceso. Dicho software controla los rangos de operación suministrados a la inyectora y es capaz de emitir señales en caso de que estos no se cumplan.

Durante el proceso de moldeo se cuenta con operarios encargados de operar y vigilar las diferentes inyectoras con que cuenta Medtech; dichos operarios son encargados de recoger el producto inyectado, realizar los procedimientos para contabilizar las piezas inyectadas por bolsas (pesaje) y etiquetar la producción según el número de lote de la misma, además estos tienen el deber de estar al pendiente de las diferentes inyectoras e informar al supervisor del área de moldeo si se presenta algún problema.

El área de moldeo cuenta con tres supervisores de moldeo, uno por cada turno que trabaja la empresa durante las 24 horas diarias. Cada supervisor es responsable de supervisar y controlar los cambios de moldes, supervisar la producción y a los operarios de sus respectivos turnos. Los supervisores tienen la función de supervisar el trabajo de los operarios, así, como de brindar información en cada de alguna duda referente al producto. Cada supervisor está en la capacidad de que si se presenta algún problema en las inyectoras poder solucionarlo, además de que deben estar pendientes del correcto funcionamiento de las inyectoras y del mejor aprovechamiento de estas.

Para el caso de la pieza 30-51536-00H-01, la cual es la pieza a la cual se le realizó el control predictivo del proceso, está es inyectada en la máquina número 8 de Medtech. Esta es una inyectora del tipo eléctrica de la marca Nissei.

Los parámetros de funcionamiento validados de la máquina para esta pieza son los que se muestran en la siguiente Tabla.

Tabla 4.2.: Parámetros Validados de Funcionamiento de la inyectora para la producción de la pieza 30-51536-00H-01. Fuente: Medtech Costa Rica, S.A.

Parámetro	Especificación	Límite inferior	Nominal	Límite Superior
Tiempo (segundos)	De inyección	2.85	3	3.12
	Enfriamiento	12.35	13	13.52
	Ciclo	22.37	N/A	N/A
Temperatura (°F)	Nozzle	510	520	525
	Front	500	510	520
	Middle	500	510	520
	Middle 2	500	510	520
	Rear	500	510	520
Presión (%)	PV1	80.75	85	88.4
	PP1	47.5	50	52
Velocidad de Inyección (%)	V1	33.25	35	36.4
	V2	25.65	27	28.08

En la Tabla 4.2. se muestran los valores mínimos, nominales y máximos de funcionamiento de las inyectoras para la producción de la pieza 30-51536-00H-01. De estos parámetros se consideró la presión pico de llenado (PV1) y la temperatura en el front (que es la que más representa la temperatura de la masa fundida y que es la temperatura en el frente del cañón de inyección) para realizar el control preventivo del proceso, así como la variable de Cojín de inyección, la cual depende de la presión de inyección.

Luego de que se ha realizado el proceso de validación de los moldes de inyección, estableciendo los parámetros de funcionamiento, se procede a la inyección de las piezas, durante lo cual se realizan inspecciones por parte del departamento de calidad para corroborar que la pieza inyectada cumpla con las especificaciones necesarias.

La primera inspección de calidad que se realiza al inicio de cada corrida de producción es la inspección de “Start Up”, la cual es una inspección en donde se examinan ciertas piezas en un inicio de producción o al encender la inyectora para verificar que estas estén cumpliendo con las dimensiones críticas (dimensión establecida por el cliente que debe de cumplir con un valor dentro de un rango o tolerancia establecida y que debe de ser especialmente vigilada). Esta inspección es de suma importancia ya luego de ser realizada el departamento de calidad da la autorización o no al departamento de producción para que se siga produciendo, por lo tanto este último no puede continuar con la producción hasta que el Departamento de Calidad haya corroborado que las piezas estén dentro de especificación.

Durante toda la corrida de producción de un lote de piezas el departamento de calidad hace inspecciones periódicas llamadas “Daily”, en donde, al igual que en la inspección de “Start Up”, se corrobora que las piezas estén cumpliendo con las dimensiones requeridas, además, durante toda la corrida de un lote de producción el departamento de calidad en conjunto con los operarios de cada máquina deben de vigilar ciertos atributos en la pieza, tal como el color, si presenta rebabas, entre otros.

Para finalizar el proceso productivo para la fabricación de las piezas inyectadas, los operarios están encargados de realizar el pesaje de las diferentes piezas, para así controlar la cantidad de piezas por bolsa y por lote producidas, estas piezas luego son transportadas al departamento de bodega, en donde luego son enviadas al respectivo cliente.

C. Condiciones de Trabajo

El proyecto desarrollado se basó en dos áreas o secciones del proceso productivo de la empresa Medtech Costa Rica, S.A. La primera sección es la de secado de las resinas poliméricas y la segunda sección es el establecimiento de un sistema preventivo del proceso en el área de moldeo por inyección. Ambas partes del trabajo son, en cierto grado, dependientes, ya que parte del éxito del proceso de inyección de las piezas se basa en que la resina polimérica que se use esté en correctas condiciones (principalmente humedad). Por lo tanto se analizarán las condiciones de trabajo para estas dos secciones del proceso.

1. Secado de Resinas Poliméricas en Medtech Costa Rica, S.A.

Para el proceso de secado de las resinas poliméricas en la empresa Medtech Costa Rica, S.A. se utilizan dos tipos diferentes de secadores o tecnologías de secado.

Ambos secadores utilizados en Medtech trabajan con un material desecante, el cual es un material que atrae el vapor de agua. El secador Dri-Air utiliza sílice y el secador Matsui utiliza zeolita.

El primer tipo de secador utilizado es de la marca Dri-Air, este es un tipo de secador con doble cámara desecante de sílice. Este es un secador con motor monofásico de 240 voltios y 16 amperes, teniendo un consumo energético de 3.84 KW/hora¹.

El funcionamiento del secador Dri-Air consiste básicamente en que se hace pasar una corriente de aire caliente a través de la resina y la cámara desecante de sílice se encarga de absorber la humedad de esta. La figura 4.2. muestra una fotografía de un secador Dri-Air utilizado en la empresa Medtech Costa Rica S.A.

⁽¹⁾ Ver apéndice A sobre el cálculo del consumo energético de los diferentes secadores.

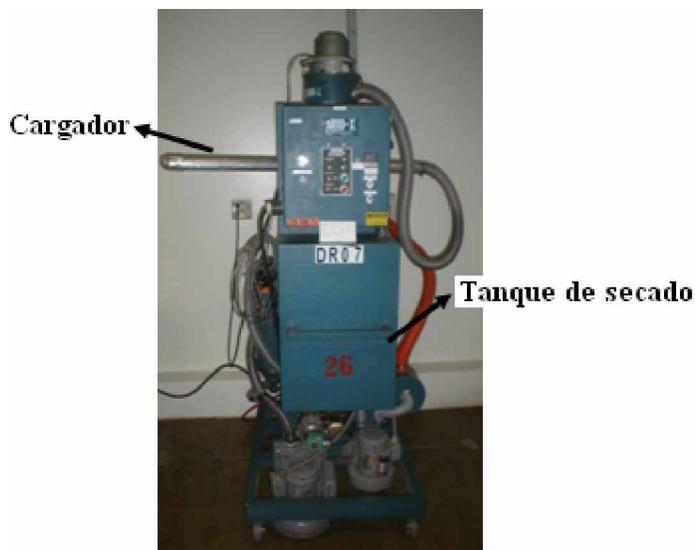


Figura 4.2.: Secador Dri-Air utilizado en Medtech Costa Rica, S.A. Fuente: Medtech Costa Rica, S.A.

El segundo tipo de secador utilizado es el secador de la marca Matsui, el cual es un secador con rotor desecante de zeolita.

El funcionamiento del secador Matsui consiste básicamente en que se hace pasar corrientes de aire a través del rotor para que este con ayuda del material desecante, que en este caso es la zeolita, absorban la humedad de las resina. Este secador tiene la ventaja de que ofrece una garantía para el rotor de zeolita de 15 años libre de mantenimiento, además es fabricado de acero inoxidable con un recubrimiento que impide la pérdida de calor dentro del secador, siendo este secador más eficiente y rápido. En el anexo 2 se muestra el brochure que explica el funcionamiento y las ventajas del uso del secador Matsui. Este secador tiene un motor trifásico, con un promedio de 240 Voltios y 20 Amperes, teniendo un consumo energético de 4.8 KW/hora¹.

El problema identificado entre el uso de estos dos diferentes equipos de secado radica en la diferencia entre los tiempos de secado que se tienen de

⁽¹⁾ Ver apéndice A sobre el cálculo del consumo energético de los diferentes secadores.

ambos, ya que se estima que se puede lograr una reducción de hasta un 50% del tiempo de secado de una resina con la utilización del equipo Matsui en lugar del equipo de secado Dri-Air. Además, los representantes de la marca Matsui proponen tiempos de secado para diferentes resinas diferentes a los que se tienen actualmente. Dichos datos propuestos por la marca Matsui se muestran en la Tabla 4.3., sin embargo, estos datos contradicen los tiempos de secado que actualmente se tienen propuestos en la empresa, de aquí la importancia de corroborarlos.

Tabla 4.3.: Tiempos propuestos de secado para el secador Matsui vs. Tiempos de secado de otros equipos de secado. Fuente: Brochure Matsui.

Resina	Tiempo de Secado con Equipo Matsui (horas)	Tiempo de Secado con otros Equipos de Secado (horas)
Policarbonato	1.5	3 - 4
Nylon	2.5	4 - 6
PET	3.0	6 - 8

Para corroborar los datos que se ofrecen en cuanto al tiempo de secado de los equipos Matsui y para establecer la diferencia entre el uso de las diferentes tecnologías de secado con que se cuenta actualmente en la empresa se realizaron curvas de secado de diferentes resinas en los distintos equipos (Matsui y Dri-Air). Los resultados de los tiempos de secado obtenidos para las diferentes resinas analizadas en los dos diferentes equipos de secado se muestran en la Tabla 4.4.

Tabla 4.4.: Tiempos de secado para diferentes resinas con los dos equipos de secado utilizados por Medtech Costa Rica, S.A. Fuente: Medtech Costa Rica, S.A.

Resina	Tiempo de Secado	
	Equipo Matsui	Equipo Dri-Air
ABS-15-G47V	2.5	5.5
LEX-143V	1.5	3.0
PCT-30-DN-003	2.5	5.0
NYX-02-TX-738V	2.0	2.0
UTM-8112V	1.0	3.5
NYX-02-B31-SK V	15	30
MAK-02-2458013528	1	1

Las curvas de secado para la determinación de estos tiempos se muestran en el Apéndice B¹.

El procedimiento seguido para realizar las pruebas de humedad consistió, básicamente, en extraer la muestra de los secadores, trasladar la muestra al laboratorio de calidad, en donde se encuentre el analizador halógeno de humedad Mettler Toledo, para realizar la prueba que determine el contenido de humedad de la muestra de resina. En el Apéndice C se muestra un manual para la recolección y realización de la prueba de humedad de las resinas poliméricas².

De la Tabla 4.4. y de los gráficos de las curvas de secado de las resinas en los diferentes equipos, mostrados en el 1, se puede corroborar que los tiempos de secado para las resinas con los equipos Matsui son menores que con los equipos

⁽¹⁾ En este apéndice se muestran todas las curvas de secado obtenidas para las diferentes resinas muestreadas en los equipos Dri-Air y Matsui.

⁽²⁾ En este apéndice se muestran un manual sobre el procedimiento a seguir para la determinación del porcentaje de humedad de una resina con el equipo Mettler Toledo.

Dri-Air. Se puede concluir que para el secado con el equipo Matsui de la resina ABS (Acrilonitrilo Butadieno Estireno) se obtuvo una reducción de secado de 2 horas (reducción del 36% del tiempo de secado), para la resina LEX (policarbonato) se obtuvo una reducción de 1.5 horas del tiempo de secado (que representa una reducción del 50%), para la resina PCT (copoliéster) se redujo 2.5 horas de secado (50%) y para las resina NYX (nylon) se obtuvo una reducción de 15 horas (50%).

Los datos antes mostrados corroboran que se puede lograr una reducción de los tiempos de secado de resinas con el uso de los secadores Matsui sobre los secadores Dri-Air, obteniendo una reducción en los costos de secado de la resinas y una posible reducción de los tiempos muertos.

Los costos de secado de las distintas resinas poliméricas muestreadas en los diferentes equipos con que cuenta la empresa (Dri-Air y Matsui) se muestran en la Tabla 4.5¹.

Tabla 4.5.: Determinación de costos por el uso de los distintos equipos de secado en la empresa Medtech Costa Rica, S.A. Fuente: Medtech Costa Rica, S.A.

Resina	Secador Matsui			Secador Dri-Air		
	Tiempo de Secado (horas)	Consumo Energético (KW/hora)	Costo del secado (colones)	Tiempo de Secado (horas)	Consumo Energético (KW/hora)	Costo del secado (colones)
ABS-15-G47V	2.5	4.8	264.00	5.5	3.84	464.64
LEX-143V	1.5	4.8	158.40	3.0	3.84	253.44

⁽¹⁾ En el apéndice A se muestran los cálculos para la determinación del consumo energético de los equipos, así como los costos de secado de las resinas por hora para los equipos Dri-Air y Matsui.

PCT-30-DN-003	2.5	4.8	264.0	5.0	3.84	422.40
NYX-02-TX-738V	2.0	4.8	211.2	2.0	3.84	168.96
UTM-8112V	1.0	4.8	105.6	3.5	3.84	295.68
NYX-02-B31-SK V	15	4.8	1584.0	30	3.84	2534.40
MAK-02-2458013528	1	4.8	105.6	1	3.84	84.48

Según la Tabla 4.5. se puede observar que se puede reducir los costos en el secado de algunas de las resinas muestreadas hasta en un 65%, representando esto una reducción considerable en el costo de consumo energético por secado de resinas que actualmente tiene la empresa.

Es importante también destacar que un ahorro en el tiempo de secado de las resinas puede generar una disminución en los tiempos muertos por la disposición de estas, ya que se puede realizar un mejor aprovechamiento de los equipos de secado, realizando un planeamiento de la producción junto con el secado de las resinas, esto para evitar retrasos en el inicio de un proceso de inyección y evitar una degradación de la resina por exceso de secado.

2. Proceso de Moldeo por Inyección en Medtech Costa Rica, S.A.

Para realizar el proceso de moldeo por inyección en la empresa Medtech Costa Rica, S.A. se utilizan inyectoras de la marca Nissei. Estas pueden ser híbridas (eléctrica e hidráulicas al mismo tiempo) o eléctricas.

Las inyectoras Nissei cuentan un software especializado para el control de las variables que intervienen en el proceso, con dicho software se introduce los valores deseados de las variables que intervienen en el proceso y este es capaz de monitorear las variables de interés.

La descripción del funcionamiento del software para el control de las variables de muestra en el Apéndice E¹, el cual es un manual para explicar como cambiar los valores de las variables en el proceso y como monitorear las variables seleccionadas mediante la utilización del software de la inyectora.

En el manual descrito en el Apéndice E se puede observar que dos de las principales funciones que tiene el software de las inyectoras Nissei es poder introducir los valores de las variables del proceso y poder monitorear los valores que la máquina inyectora genera de estas y otras variables.

La figura 4.3 muestra la pantalla del software de las inyectoras Nissei en donde se introducen los valores deseados de las variables que intervienen en el proceso.

⁽¹⁾ Apéndice E: Manual sobre el funcionamiento de las principales funciones del software de las inyectoras Nissei.

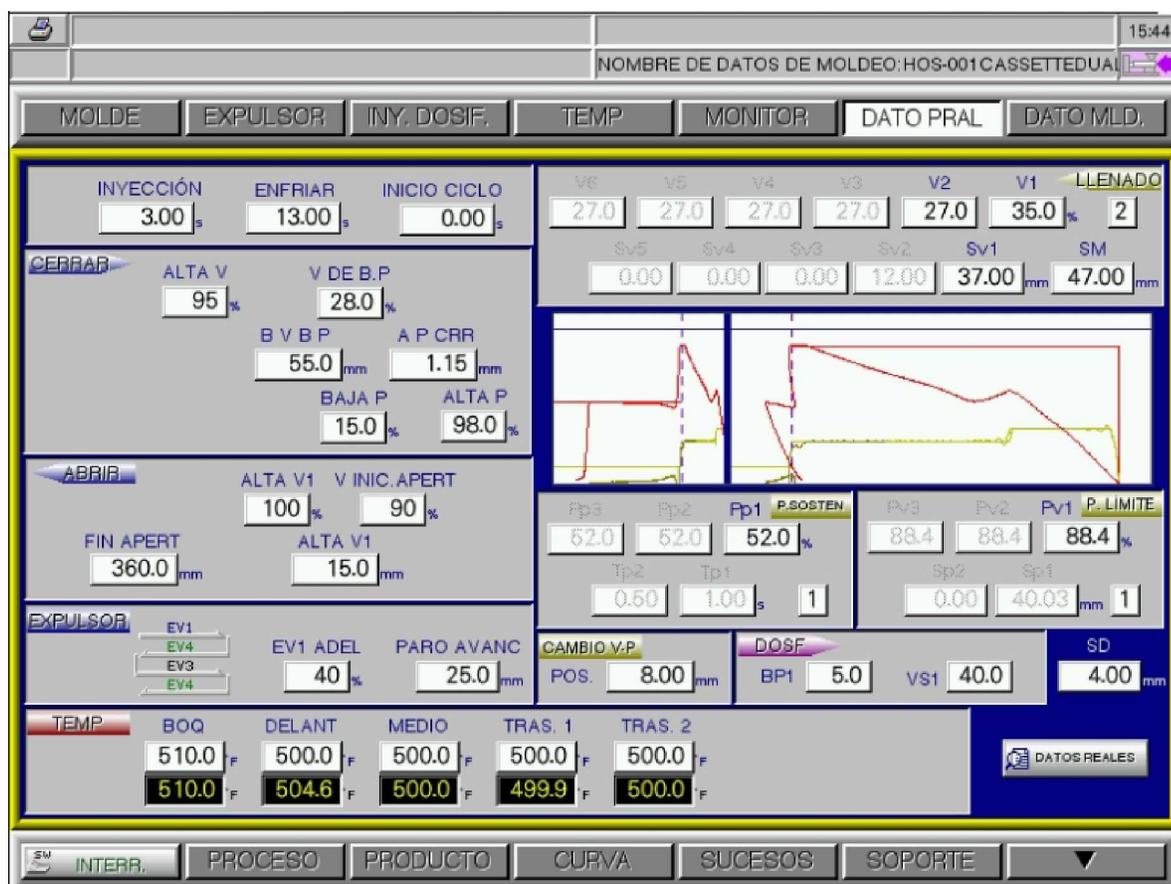


Figura 4.3.: Pantalla del software de las inyectoras Nissei donde se introducen los valores de las variables del proceso. Fuente: Manual Nissei.

Para determinar el rango de operación de las variables mostradas en la figura anterior se realiza un proceso de validación por parte del Departamento de Ingeniería. Este proceso de validación consiste en establecer los límites inferiores y superiores, así como el valor nominal, de cada una de las variables que intervienen en el proceso de moldeo por inyección.

Para el caso de la pieza 30-51536-00H-01 que es la pieza de interés para establecer el control del proceso los parámetros validados para las variables del proceso son los que se muestran en la Tabla 4.2.

En la Tabla 4.2. se muestran los datos de los tiempos de inyección, enfriamiento y ciclo del proceso, temperatura de enfrente, en medio, al final del

cañón y en la boquilla, además se muestra los datos de presión pico de llenado y presión de conmutación, y los datos de velocidad de inyección.

Los datos validados para la pieza 30-51536-00H-01, la cual es fabricada de la resina PCT-30-DN003 (resina termoplástica de nombre Policiclohexilen dimetilen tereftalato), sirven para la producción de esta pieza en cualquier inyectora, no solamente en la inyectora número 8, la cual es la inyectora que realiza el proceso actualmente.

Para el monitoreo de los datos de los parámetros validados el software de las inyectoras Nissei cuenta con una pantalla para el monitoreo de estos datos. Esta pantalla es la que se muestra en la figura 4.4.

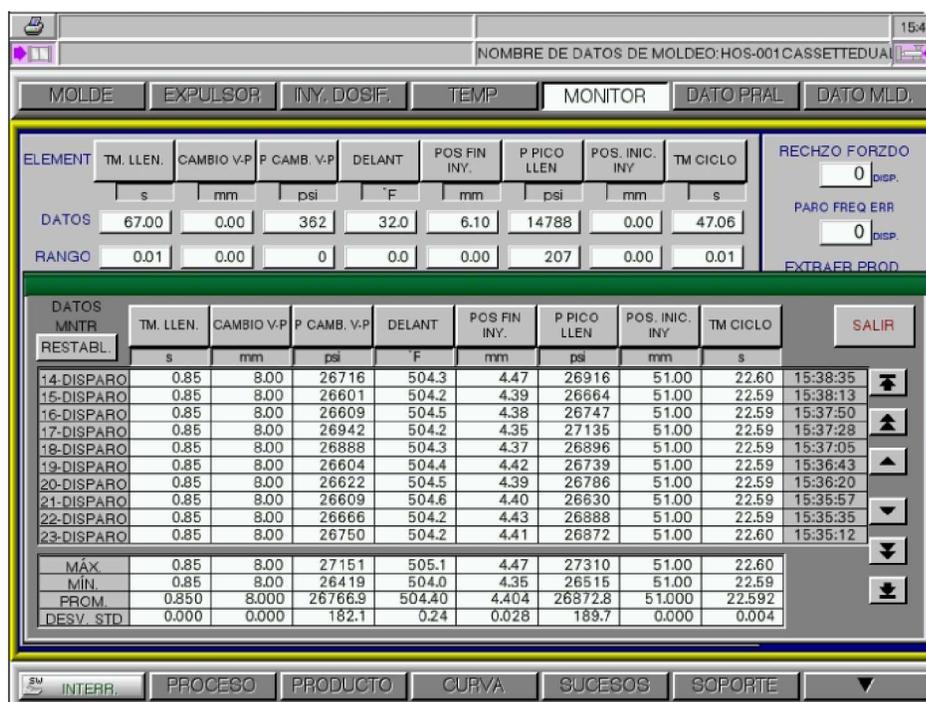


Figura 4.4.: Pantalla del software de las inyectoras Nissei para el monitoreo de los datos de las variables que intervienen en el proceso. Fuente: Manual Nissei.

Con la opción para monitorear los datos que se muestra en la figura anterior se recolecta los datos de las variables seleccionadas por cada disparo o “shot” de

la máquina. Para cada variable monitoreada se calcula automáticamente el valor máximo, el mínimo, el promedio y la desviación estándar.

La opción de monitoreo de los datos que presenta el software de las inyectoras permite observar y, posteriormente, analizar el comportamiento de los parámetros de funcionamiento de la inyectora, ya que aunque se establecen parámetros de funcionamiento la inyectora trabaja a través de ciertos rangos, los cuales además pueden variar dependiendo de si se presenta una situación especial durante el proceso.

El software de las inyectoras además permite monitorear variables que son respuestas de otras, por ejemplo permite monitorear el cojín (posición final de inyección), la cual es una variable que depende de la presión de inyección.

El software de las inyectoras Nissei permite monitorear un total de 25 variables o parámetros del proceso, pudiendo monitorear de todas estas 8 simultáneamente. Entre las variables que puede monitorear están temperaturas, presiones, material a inyectar, tiempos, entre otras.

Otra función importante del software de las inyectoras Nissei es que permiten establecer alarmas para el comportamiento de las variables, esto es que al establecer el monitoreo de una variable se puede establecer también el valor deseado y el rango permitido, estableciendo una alarma o señal cuando la inyectora no cumple con el valor esperado para dicha variable.

El problema actual con el software de las inyectoras es que no se le está dando el aprovechamiento adecuado, ya que actualmente no se lleva un monitoreo estricto del comportamiento de las variables del proceso, además no se están aprovechando las opciones de alarma de la inyectora, esto debido a que no se ha establecido un comportamiento de las piezas bajo los diferentes rangos de operación de la máquina de los parámetros validados.

Con la utilización del software de las inyectoras se monitoreo el actual proceso de moldeo por inyección para la fabricación de la pieza 30-51536-00H-01, para establecer el comportamiento actual del proceso.

En el Apéndice F se muestran los datos recolectados para 5 diferentes muestreos del comportamiento del proceso actual.

En este Apéndice se puede observar el comportamiento de las piezas obtenidas, el cual se muestra en la Tabla 4.6.

Tabla 4.6.: Comportamiento de las piezas muestreadas para el componente 30-51536-00H-01.

Dimensión Crítica	Piezas dentro de especificaciones	Piezas fuera de especificaciones	Piezas aprobadas
Ancho (1.227"-1.235")	500	0	500
Largo (2.456"-2.470")	500	0	500
Dimensión Crítica 1 (0.157"-0.161)	500	0	500
Dimensión Crítica 2 (0.157"-0.161)	500	0	500
Dimensión Crítica 3 (0.157"-0.161)	500	0	500
Dimensión Crítica 4 (0.160"-0.164)	500	0	500
Dimensión Crítica 5 (0.160"-0.164)	500	0	500
Dimensión Crítica 6 (0.160"-0.164)	500	0	500
Dimensión Crítica	500	0	500

7 (0.227"-0.237)			
Dimensión Crítica 8 (0.259"-0.269)	500	0	500
Warpage Width (Max 0.008")	500	0	500
Warpage Length (Max 0.008")	500	0	500

Con los datos mostrados en la Tabla anterior se pudo establecer que el proceso de moldeo por inyección para la pieza 30-51536-00H-01 es un proceso sumamente estable, que puede cumplir con los requerimientos en cuanto a dimensiones críticas.

En el Apéndice G se muestran los histogramas del comportamiento de ciertas dimensiones críticas obtenidas del muestreo de las 500 unidades de la pieza 30-51536-00H-01 realizado. En los histogramas mostrados en este Apéndice se puede observar que el comportamiento de las dimensiones críticas obtenidas del muestreo de las 500 unidades es estable, o sea, que los resultados obtenidos de la medición de estas dimensiones están dentro de los rangos permitidos para cada dimensión.

En el Apéndice H se muestran gráficas de control (o cartas de control) de las principales dimensiones críticas obtenidas del muestreo de las 500 unidades de la pieza de interés. Estas gráficas de control fueron obtenidas por medio del programa Minitab 15.0.

En las gráficas de control para las principales dimensiones críticas se observa que los límites superiores e inferiores (UCL, LCL) calculados por el programa Minitab son más estrechos o ajustados que los límites de control que en realidad requiere el proceso, sin embargo al observar estas gráficas de control se puede determinar que el proceso está bajo control y que las dos dimensiones que

presentan un comportamiento más irregular son las dimensiones correspondientes al ancho y al largo de la pieza.

En el Apéndice I se muestran histogramas para el análisis de capacidad del proceso. En los histogramas presentados se puede observar que el proceso es capaz para cumplir con las especificaciones de las dimensiones críticas del ancho y el largo, sin embargo los índices de capacidad para el Warpage Width y el Warpage Length todas las dimensiones críticas analizadas están bajo sus respectivos rangos de aceptación, por lo tanto se concluye que actualmente el proceso es capaz y que está cumpliendo con los requerimientos dimensionales necesarios.

Con los datos mostrados en los Apéndices F, G, H e I se logró comprobar que el actual proceso de producción para la pieza 30-51536-00H-01 es un proceso estable que cumple con las especificaciones, en cuanto a dimensiones críticas, requeridas. Lo cual permite un control preventivo del proceso, para asegurar la calidad de las piezas en la fuente, o sea, en la inyectora.

Otro aspecto importante del proceso de moldeo por inyección son las inspecciones de calidad que se realizan durante el proceso.

Para la pieza 30-51536-00H-01, que es la pieza de interés en el estudio, se tiene que se realizan primeramente una inspección de calidad llamada "Start Up". Esta inspección, para el caso de esta pieza en específico, consiste en recolectar 8 piezas (un disparo o shot) al inicio de la producción para realizar las mediciones de las 12 dimensiones críticas que tiene la pieza. Durante el tiempo de la inspección de "Start Up" la máquina inyectora es detenida y se reanuda la producción hasta que el Departamento de Calidad haya finalizado toda la inspección de las piezas y de la autorización para que se continúe con la producción de la pieza.

Otra inspección que se realiza a la pieza de interés es la inspección conocida como "Daily", la cual es una inspección por turno (para un total de tres veces al día), en donde se inspecciona 8 piezas de producción y, al igual que en la

inspección de “Start Up”, de le miden las dimensiones críticas, para verificar que el proceso esté cumpliendo con las dimensiones requeridas en la pieza.

Las inspecciones realizadas a la pieza son ejecutadas por inspectores de calidad del Departamento de Calidad. Los tiempos promedios que tardan los inspectores en realizar la inspección de las piezas se muestra en la Tabla 4.7.

Tabla 4.7.: Tiempos realizados por los inspectores de calidad para la revisión de las dimensiones críticas de 8 piezas del componente 30-51536-00H-01. Fuente: Medtech Costa Rica, S.A.

Inspector	Tiempo de la inspección (minutos)
Turno A	15
Turno B	25
Promedio	20

Como se puede observar en la Tabla anterior se tarda un promedio de 20 minutos en realizar la inspección de “Start Up” y la inspección del “Daily”. Para la inspección de inicio de producción el problema radica en que durante la realización de la inspección la máquina inyectora está fuera de producción, disminuyendo esto la utilidad que se le puede dar a la máquina.

Los costos que se tienen actualmente por inspección diaria de la pieza 30-51536-00H-01, en pagos de salario a los inspectores de calidad, se muestran en la Tabla 4.8.

Tabla 4.8.: Costos diarios por inspecciones de calidad de la pieza 30-51536-00H-01 por concepto de pago a inspectores de calidad en Medtech Costa Rica, S.A. Fuente: Medtech Costa Rica, S.A.

Tipo de Inspección	Tiempo Total Requerido (diario)	Costo Total (colones)
"Start Up"	20 minutos	440.35
"Daily"	60 minutos	1322.37
Total	80 minutos	1722.72

Los costos por no operación de la máquina inyectora número 8 por la realización de la inspección de calidad de "Start Up" de la pieza 30-51536-00H-01 se muestra en la Tabla 4.9.

Tabla 4.9.: Costos por no operación de la inyectora número 8 por la realización de la inspección de calidad de "Start Up" de la pieza 30-51536-00H-01. Fuente: Medtech Costa Rica, S.A.

Inspección	Tiempo Total Requerido (diario)	Costo Total (colones)
"Start Up"	20 minutos	4305.42

Como se puede observar en las Tablas 4.7. y 4.8. se tiene un total de costos, por concepto de inspecciones de calidad y no utilización de la máquina inyectora, de 6028.14 colones para el primer día de producción, que es cuando se realiza el arranque de la inyectora, y 1322.37 colones diarios para días normales de producción por concepto de inspecciones de calidad diarias. Estas inspecciones tienen como función verificar las dimensiones críticas de la pieza, las cuales, para el caso de la pieza en estudio, están controladas en el proceso de moldeo por inyección.

V. CONCLUSIONES DE SITUACION ACTUAL

1. Secado de las Resinas Poliméricas en Medtech Costa Rica, S.A.

Con las curvas de secado realizadas para diferentes resinas utilizadas en Medtech Costa Rica, S.A. se pudo corroborar que existen diferencias significativas (hasta un 50%) en los tiempos de secado que presentan los dos equipos que se utilizan actualmente: Dri-Air y Matsui.

Los datos mostrados en la Tabla 4.4. muestran que para las siete resinas muestreadas se obtuvo que en cinco de estas se lograron tiempos de secado menores con el secador Matsui que con el Dri-Air; solamente para dos resinas (NYX-02-TX-738V, MAK-02-2458013528) se presentaron tiempos de secado iguales en los dos equipos. Además, según la Tabla 4.5 se puede observar que se lograron reducciones en los costos de secado de 5 resinas utilizando el secador Matsui, solamente en dos resinas se lograron costos menores utilizando el secador Dri-Air.

Otra consideración importante es que pese a la diferencia que presentan estos dos equipos en cuanto a los tiempos de secado de las resinas, se cuenta actualmente en la empresa con una referencia que establece los tiempos de secado de las resinas que no hace ninguna diferencia entre el uso de un equipo o el otro (Tabla 4.1). Es importante reestablecer estos tiempos de secado de las diferentes resinas muestreadas para reducir el consumo de energía tomando en consideración el equipo con el que se va a realizar el proceso de secado de la resina. Además es importante destacar que al no contarse con una distinción en cuanto al funcionamiento de los equipo se incurren en gastos excesivos de energía. La Tabla 5.1 muestra los costos calculados con los tiempos de secado establecidos con las curvas de secado realizadas y los costos de secado con los tiempos que tiene establecidos la empresa.

Tabla 5.1.: Costos de secado de resinas según tiempos establecidos en curvas de secado y según tiempos de proceso actuales para diferentes resinas en los dos equipos de secado son que cuenta la empresa Medtech Costa Rica, S.A. Fuente: Medtech Costa Rica, S.A.

Resina	Costos de secado con tiempos actuales de proceso		Costos de secado con tiempos establecidos con curvas de secado	
	Equipo Matsui	Equipo Dri-Air	Equipo Matsui	Equipo Dri-Air
ABS-15-G47V	211.20	168.96	264.00	464.64
LEX-143V	422.40	337.92	158.40	253.44
PCT-30-DN-003	422.40	337.92	264.0	422.40
NYX-02-TX-738V	844.80	675.84	211.2	168.96
UTM-8112V	633.60	506.80	105.6	295.68
NYX-02-B31-SK V	5068.80	4055.04	1584.0	2534.40
MAK-02-2458013528	422.40	337.92	105.6	84.48

Prácticamente para todas las resinas analizadas (con excepción del ABS-15-G47V) se obtiene reducciones en los costos de secado con el nuevo establecimiento de los tiempos, de aquí la importancia de dar un mejor aprovechamiento a los equipos de secado.

Se puede observar en la Tabla anterior que se logra una reducción en los costos de hasta un 65% por consumo energético con el establecimiento de los nuevos tiempos de secado.

También es de suma importancia analizar la factibilidad de contar con equipos Matsui al 100%, ya que estos equipos son más rápidos y económicos en la mayoría de los procesos de secado de resinas y se pueden reducir los tiempos muertos por espera de secado de resinas.

Otro aspecto a considerar, es que evidentemente, se puede observar que los equipos de secado Dri-Air necesitan de un mantenimiento y un plan de mantenimiento preventivo, ya que al observar el comportamiento de las curvas de secado se puede concluir que el material desecante utilizado por estos está saturado, lo cual impide que este absorba la humedad y retrase el proceso de secado de las resinas.

2. Proceso de Moldeo por Inyección en Medtech Costa Rica, S.A.

Con la realización del muestreo inicial de 500 unidades de la pieza 30-51536-00H-01 y según los datos mostrados en los Apéndices F, G, H e I, se logró establecer que el actual proceso de moldeo por inyección para la fabricación de esta pieza es un proceso estable, que cumple las dimensiones críticas requeridas, dentro de los límites validados para las variables que intervienen en el proceso.

El proceso actual para la fabricación de la pieza 30-51536-00H-01 tiene costos extras que no corresponden al proceso de fabricación, como lo son costos por inspecciones de calidad y costos por tiempos muertos (paro de la inyectora) relacionados también al proceso de inspección de la pieza. Los costos de las inspecciones de calidad y de los tiempos muertos de la inyectora se muestran en las Tablas 4.8. y 4.9. Estos son los costos correspondientes al primer día de producción de la pieza.

Los costos por inspecciones de calidad y tiempos muertos de la inyectora, para la fabricación de la pieza 30-51536-00H-01, correspondientes a los meses de de enero a octubre del 2007, se muestran en la Tabla 5.2.

Tabla 5.2.: Costos por inspecciones de calidad y tiempos muertos (por no operación de la inyectora) para la producción de la pieza 30-51536-00H-01 de los meses de enero a octubre del 2007. Fuente: Medtech Costa Rica, S.A. *¹

Mes	Total de piezas producidas	Tiempo de Fabricación (horas)	Tiempo de Fabricación (días)	Costos por inspecciones de Calidad (colones)		Costos por no operación de la inyectora (colones)
				“Start Up”	“Daily”	
Enero	376353	300.56	12.52	1321.05 (3)*	16539.5 5	12916.26
Febrero	401270	320.46	13.35	1321.05 (3)*	17636.0 2	12916.26
Marzo	310683	248.11	10.34	880.70 (2)*	13659.6 6	8610.84
Abril	456999	364.96	15.21	1321.05 (3)*	20093.1 7	12916.26
Mayo	522758	417.48	17.40	1761.40 (4)*	22986.2 7	17221.68
Junio	312691	249.72	10.41	880.70 (2)*	13752.1 3	8610.84
Julio	646361	516.19	21.51	1761.40 (4)*	28415.7 9	17221.68
Agosto	358343	286.18	11.92	880.70 (2)*	15746.9 2	8610.84
Septiembre	0	0	0	0	0	0

¹ Los datos entre paréntesis son los arranques de máquina que se hicieron por mes para la producción de la pieza 30-51536-00H-01.

Octubre	167974	134.15	5.59	440.35 (1)*	7,384.67	4,305.42
			Total	10568.4 0	156214. 18	103330.08

Con los datos mostrados en la Tabla anterior se puede observar que los costos, para la producción de la pieza 30-51536-00H-01, correspondientes a inspecciones de calidad y no funcionamiento de la inyectora durante la inspección de calidad de “Start Up”, para 10 meses de producción, son de 270112.66 colones. Lo cual representa un costo muy elevado para la empresa, debido a que actualmente se fabrican un total de 43 componentes diferentes inyectados.

Tomando los costos generados por la pieza 30-51536-00H-01, en cuanto a inspecciones de calidad y paro de la inyectora, como costo promedio por pieza se tendría que la empresa generaría costos totales en 10 meses de producción de 11614844.38 colones. Esto según lo mostrado en la Tabla 5.3.

Tabla 5.3.: Costos de inspecciones de calidad y paro de inyectoras correspondientes a la fabricación de 43 componentes diferentes en la empresa Medtech Costa Rica, S.A. Fuente: Medtech Costa Rica, S.A.

Costos por inspecciones de Calidad (colones)		Costos por no operación de la inyectora (colones)
“Start Up”	“Daily”	
454441.2	6717209.74	4443193.44
Total de Costos		11614844.38

Como se puede observar los costos actuales por inspecciones de calidad y paros de máquina, debidos a estas, son muy elevados, por lo cual es de suma importancia el establecimiento de un nuevo plan de muestreo o un plan preventivo de control de procesos, en donde se asegure la calidad de la pieza desde que es moldeada en la inyectora y se puedan reducir los actuales costos.

VI. SOLUCIONES AL PROBLEMA PLANTEADO

1. Secado de las Resinas Poliméricas en Medtech Costa Rica, S.A.

El actual proceso de secado de resinas poliméricas utilizado en Medtech Costa Rica S.A. se basa en una Tabla patrón con que se cuenta. En la Tabla 4.1. se muestra dicha Tabla, en donde se establece la temperatura del secado de la resina y el tiempo; el problema con esta Tabla es que no hace ninguna diferencia entre el uso de un equipo de secado u otro, ya que actualmente la empresa cuenta con los tecnologías de secado diferente, el equipo de secado Matsui (con rotor de zeolita) y el equipo Dri-Air (con cámaras desecantes de sílica) y se tienen diferencias significativas en el tiempo de secado entre ambos equipos.

En la Tabla 4.4. se muestran los tiempos que se obtuvieron con la realización de las curvas de secado para las diferentes resinas muestreadas en los dos tipos de equipo, en dicha Tabla se puede observar una reducción en los tiempos de secado para 5 de las 7 resinas analizadas con la utilización del equipo Matsui sobre el equipo Dri-Air. Sin embargo es importante también analizar el costo económico de esta reducción, ya que el equipo Matsui es más rápido, sin embargo presenta un consumo energético mayor que el equipo Dri-Air.

La Tabla 4.5. muestra los costos de secar una resina con el equipo Matsui y con el equipo Dri-Air, en cuanto a consumo energético. En esta Tabla se puede observar que para cinco de las resinas muestreadas se tienen costos de secado menores con el equipo Matsui, solamente para dos resinas (las cuales presentan tiempos de secado iguales para los dos equipos) se obtuvieron costos menores con el equipo Dri-Air, esto porque el consumo energético es menor con este equipo.

Dadas las diferencias observadas en cuanto al funcionamiento de los equipos de secado y de los tiempos que estos presentan para el secado de las diferentes resinas se propone cambiar la Tabla de trabajo actual (Tabla 4.1) por otra Tabla donde se hagan diferencias de los tiempos de secado según los diferentes equipos.

En el Apéndice D se muestra la Tabla sugerida para el establecimiento de los tiempos de secado de varias resinas según el equipo a utilizar (Matsui o Dri-Air). Los datos proporcionados en esta Tabla fueron obtenidos mediante las curvas de secado realizadas para las diferentes resinas muestreadas.

Es importante destacar que falta completar esta Tabla con las resinas faltantes por muestrear, por lo tanto se puede proponer otra etapa donde se continúe con el establecimiento de las curvas de secado de las resinas faltantes y así establecer los tiempos de secado de estas, sin embargo es importante destacar que las resinas muestreadas fueron seleccionadas de manera que se incluyeron todos los tipos de resina con que cuenta la empresa, por lo tanto se esperaría que el comportamiento de estas resinas faltantes sea similar al de las resinas ya muestreadas.

También es importante destacar que para que se optimice el proceso de secado de las resinas y de la utilización de estas en el proceso de moldeo por inyección se sugiere que se haga una prueba para determinar el porcentaje de humedad de la resina antes de que se inicie el proceso de inyección, esto para corroborar si la resina cuenta o no con el porcentaje de humedad requerido para el proceso. Para realizar tal prueba se sugiere seguir el manual que se encuentra en el Apéndice C, en donde se muestran los pasos a seguir para determinar el porcentaje de humedad de una muestra de resina.

Otro aspecto importante de analizar es el establecimiento de un mantenimiento de los equipos de secado. En el caso de los secadores Matsui este no es tan necesario como en los secadores Dri-Air, ya que para los secadores Matsui el fabricante ofrece un garantía de 15 años del rotor desecante de zeolita libre de mantenimiento¹. Sin embargo, para los secadores Dri-Air es indispensable, primeramente realizar un mantenimiento correctivo, en donde se de especial atención a las cámaras desecantes de sílica de estos, ya que como se

⁽¹⁾ Ver anexo 2 donde se muestra el brochure del secador Matsui.

pudo observar en las curvas de secado obtenidas¹ el comportamiento del proceso de secado en estos equipos indica que la cámara desecante puede estar saturada, lo cual está impidiendo el correcto funcionamiento de estos equipos. Además, estos equipos presentan tiempos de funcionamiento mucho mayores que los equipos Matsui, por lo cual requieren de un mantenimiento mayor que estos.

El establecimiento del mantenimiento correctivo y, posteriormente, preventivo se debe de realizar en conjunto con un técnico de mantenimiento que tenga algún conocimiento de estos equipos, ya que se requiere de criterios técnicos especializados para establecer el mantenimiento de estos equipos de secado.

2. Proceso de Moldeo por Inyección en Medtech Costa Rica, S.A.

Debido a los altos costos generados por las actuales inspecciones de calidad y paro de la inyectora por la inspección de “Start Up”, mostrados en la sección IV y V se planteó el establecimiento de un control preventivo del proceso, en donde se asegure la calidad de la pieza en la inyectora. Primeramente se establecerá este control preventivo para la pieza 30-51536-00H-01.

El objetivo del control preventivo es establecer relaciones factoriales entre las principales variables que intervienen en el proceso y las dimensiones críticas obtenidas de la pieza en estas condiciones de operación de la inyectora, para así reducir las inspecciones actuales de calidad de la pieza 30-51536-00H-01 y reducir los costos por paro de la inyectora durante la inspección de “Start Up”.

Las relaciones factoriales propuestas relacionan las variables de presión pico de inyección, cojín y temperatura de la masa fundida con las dimensiones críticas de ancho y largo de la pieza, ya que el proceso es capaz de cumplir con

⁽¹⁾ Ver apéndice B.

los requerimientos para estas dimensiones y las dimensiones obtenidas en la caracterización del proceso (muestreo inicial de 500 unidades) estaban todas dentro de especificaciones.

La selección de las variables a monitorear del proceso (presión pico de inyección, cojín y temperatura de la masa fundida) se basó en una búsqueda bibliográfica, en donde se logró corroborar que estas tres variables tienen importancia significativa en las dimensiones obtenidas para una pieza inyectada.

Para el establecimiento del plan preventivo del proceso fue necesario primeramente un diseño de experimentos, para que la toma de los datos fuera significativa y se analizaran todas las posibles combinaciones de las variables del proceso a analizar. Luego de una búsqueda bibliográfica se logró establecer que el experimento a desarrollar era un experimento 3^3 , el cual es un experimento con tres factores (presión pico de inyección, cojín y temperatura de la masa fundida) y tres niveles para cada uno (límite inferior, límite superior y valor nominal).

Los experimentos o combinaciones de variables necesarios para llevar a cabo el experimento 3^3 son 27 combinaciones, las cuales se muestran en la Tabla 6.1, en donde se muestra las condiciones de las variables (límite inferior, superior o valor nominal).

Tabla 6.1.: Combinaciones requeridas para llevar a cabo el experimento 3³ propuesto. Fuente: Montgomery (1991).

Experimento	Presión ¹	Cojín ²	Temperatura ³
1	+	+	+
2	+	+	0
3	+	+	-
4	+	0	+
5	+	0	0
6	+	0	-
7	+	-	+
8	+	-	0
9	+	-	-
10	0	+	+
11	0	+	0
12	0	+	-
13	0	0	+
14	0	0	0
15	0	0	-
16	0	-	+
17	0	-	0
18	0	-	-
19	-	+	+
20	-	+	0
21	-	+	-
22	-	0	+
23	-	0	0
24	-	0	-
25	-	-	+
26	-	-	0
27	-	-	-

De la Tabla 6.1. solo es posible realizar 9 experimentos de los 27 requeridos, que son las combinaciones subrayadas, esto debido a que el cojín es

¹ El signo – simboliza el límite inferior, 0 significa el valor nominal y + significa el límite superior para la presión pico de llenado durante el proceso.

² El signo – simboliza el límite inferior, 0 significa el valor nominal y + significa el límite superior para el cojín durante el proceso.

³ El signo – simboliza el límite inferior, 0 significa el valor nominal y + significa el límite superior para la temperatura de la masa fundida durante el proceso.

inversamente proporcional a la presión, por lo tanto 18 de las combinaciones mostradas no pueden ser realizadas.

Luego de que se estableció el experimento a seguir se estableció el muestreo para la recolección de las piezas durante el proceso de moldeo por inyección con las variables requeridas. Para el establecimiento del plan de muestreo a utilizar se contó con la norma ANSI ASQ MIL-STD-414, que es la norma que contiene los procedimientos y las tablas militares para inspección por variables.

De la norma ANSI ASQ MIL-STD-414 se utilizaron las Tablas A-2 y B-3¹, en donde el plan de muestreo sugerido cuenta con las siguientes características:

1. Tamaño de lote: 360000 piezas.
2. Tipo de plan de muestreo: Q (según Tabla A-2, para un nivel de inspección V, que es estricto).
3. AQL (Acceptant Quality Level): 0.04.
4. Tamaño de muestra: 200 unidades (según Tabla B-3).
5. Unidades defectuosas aceptadas: 0.135% o 0.27 unidades (según Tabla B-3).

Sin embargo este plan de muestreo se rechazó, debido a que para el mes de septiembre no hubo producción de la pieza 30-51536-00H-01 y para el mes de octubre solo hubo producción durante 6 días aproximadamente, así que por disponibilidad de tiempo y de recursos no se pudo utilizar la propuesta de este plan y muestrear 200 unidades por experimento (para un total de 1800 unidades).

El plan de muestreo propuesto, para reemplazar al plan de muestreo mediante tablas militares, fue extraído de las regulaciones de la FDA, en donde se exige un mínimo de 30 unidades o pruebas para realizar un proceso de validación,

¹ Ver anexo 3 de Tablas Militares utilizadas para establecer plan de muestreo de la pieza 30-51536-00H-01

por lo tanto se estableció este número como número de muestra para la realización de los experimentos, muestreando un total de 270 piezas del componente 30-51536-00H-01.

Los experimentos con las combinaciones de las tres variables de interés (presión pico de llenado, cojín y temperatura de la masa fundida) se realizaron de manera aleatoria y sin ningún orden en específico, esto para cumplir con el principio de aleatorización de un buen diseño de experimentos.

Los datos recolectados de las variables del proceso de inyección y de las dimensiones críticas de las piezas obtenidas en cada muestreo se muestran en el Apéndice F, en el cual se muestra el número de muestreo, los valores de las tres variables controladas y los valores de las dimensiones críticas de ancho y largo para cada combinación de las variables, para los 9 experimentos realizados.

Con los datos recolectados se realizaron histogramas del comportamiento de las principales dimensiones críticas y de las variables que intervienen en el proceso de moldeo por inyección, para observar el comportamiento de las variables. Los histogramas realizados se muestran en el Apéndice K, en donde se puede observar que las dimensiones críticas de ancho y largo de las piezas muestreadas siempre estuvieron dentro de las especificaciones requeridas.

En el Apéndice L se muestran las gráficas o cartas del control de las dimensiones críticas de ancho y largo de las piezas 30-51536-00H-01 muestreadas y de las variables que intervienen en el proceso. En las gráficas de control de las dimensiones de ancho y largo se puede observar que estas dimensiones están dentro de especificaciones y que los límites superiores e inferiores (UCL y LCL, respectivamente) que calcula el programa son menores que los límites establecidos o requeridos, además en estas gráficas se puede ver que el comportamiento del proceso es totalmente aleatorio, por lo cual se puede decir que el proceso es estable.

El Apéndice M muestra el análisis de capacidad para las dimensiones críticas de ancho y largo y las variables del proceso del muestreo de la pieza 30-51536-00H-01, en este se puede observar que el proceso es capaz de cumplir con los valores de las dimensiones críticas de ancho y largo, además el proceso es capaz de mantener las variables del proceso de presión pico de llenado, cojín y temperatura de la masa fundida dentro de los límites requeridos, esto se concluye debido a que todos los índices de capacidad son mayores que uno.

El Apéndice N muestra las regresiones que relacionan el ancho y el largo con las variables del proceso de presión pico de llenado, cojín y temperatura de masa fundida. Estas regresiones fueron obtenidas mediante el programa Minitab 15.

Las ecuaciones mostradas en el Apéndice N muestran la ecuación de regresión lineal obtenida y el análisis de varianza para dichas regresiones lineales. En este Apéndice se puede observar que se lograron obtener un total de 12 ecuaciones para cada dimensión crítica de largo y ancho, las cuales pueden ser aplicadas como parte del control preventivo del proceso.

Las ecuaciones de regresiones lineales obtenidas son las que se muestran en la Tabla 6.2. Estas corresponden a los gráficos de las regresiones lineales que se muestran en el Apéndice O.

Tabla 6.2.: Ecuaciones de regresiones lineales obtenidas para las dimensiones críticas de ancho y largo. Fuente: Minitab 15.*¹

Ecuación	Dimensión Crítica	
	Ancho*	Largo*
1	Ancho = $1,23 + 0,000000 P - 0,00214 C + 0,000008 T$	Largo = $2,47 + 0,000000 P - 0,00211 C - 0,000002 T$
2	Ancho = $0,000018 P + 0,0433 C + 0,00113 T$	Largo = $0,000035 P + 0,0893 C + 0,00225 T$

¹ P es presión pico de llenado, C es cojín y T es temperatura de la masa fundida.

3	Ancho = $1,23 + 0,000000 P - 0,00214 C + 0,000000 T^2$	Largo = $2,47 + 0,000000 P - 0,00210 C - 0,000000 T^2$
4	Ancho = $0,000024 P + 0,0600 C + 0,000001 T^2$	Largo = $0,000048 P + 0,123 C + 0,000003 T^2$
5	Ancho = $1,23 - 0,131 P/T^2 + 0,000452 P/T - 0,00221 C$	Largo = $2,47 - 0,0224 P/T^2 + 0,000126 P/T - 0,00217 C$
6	Ancho = $- 15,4 P/T^2 + 0,0470 P/T + 0,0823 C$	Largo = $- 30,6 P/T^2 + 0,0935 P/T + 0,167 C$
7	Ancho = $1,32 + 0,000033 P^2/T^2 - 0,00318 P/T - 0,00288 C$	Largo = $2,50 + 0,000011 P^2/T^2 - 0,00100 P/T - 0,00230 C$
8	Ancho = $- 0,000485 P^2/T^2 + 0,0489 P/T - 0,000141 C$	Largo = $- 0,000966 P^2/T^2 + 0,0973 P/T + 0,00287 C$
9	Ancho = $3,76 - 0,000020 P^3/T^3 + 0,00297 P^2/T^2 - 0,150 P/T - 0,00269 C$	Largo = $3,80 - 0,000010 P^3/T^3 + 0,00158 P^2/T^2 - 0,0795 P/T - 0,00220 C$
10	Ancho = $0,000011 P^3/T^3 - 0,00155 P^2/T^2 + 0,0762 P/T - 0,00297 C$	Largo = $0,000020 P^3/T^3 - 0,00299 P^2/T^2 + 0,149 P/T - 0,00249 C$
11	Ancho = $2,13 - 0,000014 P^3/T^3 + 0,00203 P^2/T^2 - 0,0848 P/T - 0,000029 P + 0,00143 T - 0,00285 C$	Largo = $2,44 - 0,000006 P^3/T^3 + 0,000823 P^2/T^2 - 0,0257 P/T - 0,000025 P + 0,00123 T - 0,00269 C$
12	Ancho = $0,000002 P^3/T^3 - 0,000324 P^2/T^2 + 0,0367 P/T - 0,000034 P + 0,00171 T - 0,00310 C$	Largo = $0,000012 P^3/T^3 - 0,00188 P^2/T^2 + 0,114 P/T - 0,000032 P + 0,00156 T - 0,00297 C$

Las ecuaciones antes mostradas pueden ser aplicadas para el control preventivo del proceso, sin embargo deben ser sometidas a ciertas revisiones para seleccionar la ecuación que más se ajuste al proceso de moldeo por inyección de la pieza 30-51536-00H-01.

En el Apéndice P se muestra un análisis de las diferencias obtenidas al aplicar las diferentes ecuaciones logradas de las regresiones lineales. En este apéndice se define la diferencia de una ecuación como el valor real menos el valor calculado mediante la ecuación. Con los valores promedios de las diferencias para cada ecuación se puede establecer un coeficiente de corrección para cada ecuación y establecer cual ecuación presenta los valores más bajos de diferencia y rangos menores.

Las ecuaciones obtenidas con el factor de corrección del análisis de diferencias mostrado en el Apéndice P se muestran en la Tabla 6.3.

Tabla 6.3.: Ecuaciones de regresiones lineales obtenidas para las dimensiones críticas de ancho y largo con un factor de corrección. Fuente: Minitab 15.

Ecuación	Dimensión Crítica	
	Ancho*	Largo*
1	Ancho = $1,23 + 0,000000 P - 0,00214 C + 0,000008 T + 0,006498761$	Largo = $2,47 + 0,000000 P - 0,00211 C - 0,000002 T + 0,002055849$
2	Ancho = $0,000018 P + 0,0433 C + 0,00113 T - 0,011961496$	Largo = $0,000035 P + 0,0893 C + 0,00225 T - 0,00574485$
3	Ancho = $1,23 + 0,000000 P - 0,00214 C + 0,000000 T^2 + 0,10612071$	Largo = $2,47 + 0,000000 P - 0,00210 C - 0,000000 T^2 + 0,000981437$
4	Ancho = $0,000024 P + 0,0600 C + 0,000001 T^2 + 0,073609502$	Largo = $0,000048 P + 0,123 C + 0,000003 T^2 - 0,131221967$
5	Ancho = $1,23 - 0,131 P/T^2 + 0,000452 P/T - 0,00221 C + 0,001089724$	Largo = $2,47 - 0,0224 P/T^2 + 0,000126 P/T - 0,00217 C - 0,002812515$
6	Ancho = $- 15,4 P/T^2 + 0,0470 P/T + 0,0823 C + 0,000617742$	Largo = $- 30,6 P/T^2 + 0,0935 P/T + 0,167 C - 0,004484937$
7	Ancho = $1,32 + 0,000033 P^2/T^2 - 0,00318 P/T - 0,00288 C + 0,000397643$	Largo = $2,50 + 0,000011 P^2/T^2 - 0,00100 P/T - 0,00230 C - 0,005635428$
8	Ancho = $- 0,000485 P^2/T^2 + 0,0489 P/T - 0,000141 C + 0,000840503$	Largo = $- 0,000966 P^2/T^2 + 0,0973 P/T + 0,00287 C + 0,001938044$
9	Ancho = $3,76 - 0,000020 P^3/T^3 + 0,00297 P^2/T^2 - 0,150 P/T - 0,00269 C + 0,058110523$	Largo = $3,80 - 0,000010 P^3/T^3 + 0,00158 P^2/T^2 - 0,0795 P/T - 0,00220 C - 0,053701659$
10	Ancho = $0,000011 P^3/T^3 - 0,00155 P^2/T^2 + 0,0762 P/T - 0,00297 C - 0,065771035$	Largo = $0,000020 P^3/T^3 - 0,00299 P^2/T^2 + 0,149 P/T - 0,00249 C - 0,002256097$
11	Ancho = $2,13 - 0,000014 P^3/T^3 + 0,00203 P^2/T^2 - 0,0848 P/T - 0,000029 P + 0,00143 T - 0,00285 C + 0,039157331$	Largo = $2,44 - 0,000006 P^3/T^3 + 0,000823 P^2/T^2 - 0,0257 P/T - 0,000025 P + 0,00123 T - 0,00269 C + 0,021553521$
12	Ancho = $0,000002 P^3/T^3 - 0,000324 P^2/T^2 + 0,0367 P/T - 0,000034 P + 0,00171 T - 0,00310 C - 0,03515127$	Largo = $0,000012 P^3/T^3 - 0,00188 P^2/T^2 + 0,114 P/T - 0,000032 P + 0,00156 T - 0,00297 C - 0,004364405$

El análisis de las diferencias obtenidas con este factor de corrección entre el valor real y el valor calculado se muestra en el Apéndice Q. Las diferencias obtenidas están dadas en valor absoluto para ver el comportamiento real del

proceso y para que las diferencias no se cancelen unas con otras en el calculo del promedio de las diferencias.

Según los datos de los promedios obtenidos de las diferencias las tres ecuaciones que presentan los promedios de las diferencias menores son las ecuaciones 1, 5 y 7, además para estas tres ecuaciones de realizó graficos de dispersión para observar el comportamiento de las diferencias. Estos gráficos se muestran en el Apéndice R.

Con el análisis de los graficos de dispersión se puede observar que la ecuación que presenta un comportamiento más oscilatorio es la ecuación número 7, tanto para la dimensión crítica del ancho como para el largo, adeemás en el análisis presentado para esta ecuación se observa que para las dos dimensiones se tienen que esta ecuación presenta el menor número de datos que se salen de los valores medios de la ecuación, por lo tanto para ambos casos es la que más se ajusta.

VII. IMPLEMENTACIÓN DE SOLUCIONES

1. Secado de las Resinas Poliméricas en Medtech Costa Rica, S.A.

Con las pruebas de secado realizadas a las diferentes resinas muestreadas, se logró establecer diferencias entre el uso de un equipo de secado y el otro en cuanto a tiempos de secado que estos presentan para las diferentes resinas. Como se puede analizar en las Tablas mostradas en la sección IV y V y en las gráficas presentadas en el Apéndice B se logró una reducción significativa en los tiempos de secado utilizando el equipo Matsui sobre el equipo Dri-Air, por lo tanto es de suma importancia continuar el establecimiento de las curvas de secado, y por lo tanto de los tiempos de secado de las diferentes resinas en los dos tipos de equipos de secado con que se cuenta.

La Tabla 7.1. muestra las resinas faltantes por establecer las curvas de secado y el plan a seguir, junto con los responsables, para determinar los tiempos de secado de estas resinas en los diferentes equipos.

Tabla 7.1.: Plan para la determinación de curvas de secado de resinas faltantes.

Resinas Faltantes	Actividades	Descripción	Encargados	Objetivos
ABS-10-2502V	1. Realizar el proceso de secado de las resinas de manera controlada. 2. Tomar muestras de las resinas durante el secado. 3. Analizar las muestras de resinas	1. Proceso de secado en equipo Matsui y en equipo Dri-Air. 2. Toma de muestras cada media hora. 3. Muestras deben ser tomadas según manual de procedimiento de Apéndice C. 4. Se deben de realizar tres pruebas de humedad (según Apéndice C) por	1. Departamento de Ingeniería.	1. Establecer curvas de Secado por Resina en los dos equipos de secado utilizados. 2. Establecer nuevos tiempos de secado de las resinas.
ABS-02-24800V				
ABS-02-34801V				
ABS-10-BK4500				
LEX-10-141V				
NYL-02-7389V				
MAK-87-				

2458550115	<p>tomadas para determinar el porcentaje de humedad.</p> <p>4. Establecer las curvas de secado de cada una de las resinas en los dos equipos de secado.</p>	<p>cada muestra de resina y determinar el promedio.</p> <p>5. Los porcentajes de humedad finales requeridos deben consultarse en la Tabla del Apéndice D, según el tipo de resina (ABS, NYL, LEX, MAK).</p> <p>6. Establecer las curvas de secado con los promedios obtenidos con las pruebas de humedad.</p>		
------------	---	---	--	--

En los Apéndices C y D se proponen documentos para realizar y verificar el correcto proceso de secado de las resinas poliméricas.

En el Apéndice D se propone una Tabla donde se establecen la temperatura, los tiempos de secado por equipo y la humedad requerida por resina muestreada, además en el Apéndice C se propone un manual de procedimientos para realizar la prueba de determinación de la humedad de las resinas. La implementación de ambos documentos dará como resultado una la reducción en los excesos de secado de resinas, el mejor aprovechamiento de los equipos y la verificación de que la resina cuenta con las condiciones de humedad requerida para el proceso de moldeo por inyección.

La implementación de este nuevo procedimiento de secado de resinas y la verificación de la humedad de la misma recae sobre el departamento de materiales, en donde los operarios, llamados “materialistas”, son los encargados de cargar la resina en los secadores e indicar cuando se ha cumplido el tiempo de secado, esto junto con el departamento de producción; por lo tanto se sugiere que se hagan capacitaciones al personal de materiales, en donde se les capacite en el uso del equipo para medir la humedad de las resinas y en donde se les pueda

capacitar acerca buenas prácticas de manufactura, las cuales contribuirían al mejoramiento del proceso de secado de resinas y al planeamiento en la utilización de los equipos de secado.

El plan de capacitación que se puede impartir a los operarios materialistas es el que se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 7.2.: Actividades propuestas para capacitación a los operarios Materialistas del Departamento de Materiales.

Actividad	Descripción	Encargado	Objetivos
1. Capacitación sobre uso de equipo de Medición de Humedad	Capacitación sobre como utilizar el equipo existente para la determinación de la humedad de muestras de resinas.	Departamento de Ingeniería.	Capacitar al operario en el uso del equipo para medir la humedad de muestras de resinas. Implementar este procedimiento en el actual proceso de secado de resinas.
2. Capacitación sobre nuevos tiempos de secado de resinas	Capacitación donde se muestren los nuevos tiempos de secado de las resinas según el equipo a utilizar	Departamento de Ingeniería.	Capacitar al operario en la nueva Tabla sobre tiempos de secado de las resinas y enfatizar en la importancia de corroborar los porcentajes de humedad de las resinas.

Dichas actividades propuestas tienen como objetivo primordial mejorar el actual proceso de secado de resinas, pero sobre involucrar más al operario en el proceso, para que este tenga mayor responsabilidad sobre este.

2. Proceso de Moldeo por Inyección en Medtech Costa Rica, S.A.

Con el desarrollo del experimento 3³ para la determinación de las correlaciones factoriales entre las variables del proceso de moldeo por inyección de presión pico de llenado, cojín y temperatura y las dimensiones críticas de ancho y largo se lograron recolectar datos que permitieron establecer regresiones lineales de estas variables y las dimensiones críticas. Las ecuaciones de regresiones lineales obtenidas se encuentran en el Apéndice N, sin embargo con los datos mostrados en los Apéndices P, Q y R se logró determinar que de las 12 ecuaciones obtenidas, para cada dimensión crítica de ancho y largo, la ecuación que mejor se ajusta es la ecuación número 7.

Luego de la obtención de la ecuación de regresión lineal que mejor se ajusta a los valores reales de las dimensiones críticas de ancho y largo se debe de realizar un procedimiento de corroboración o verificación con otros valores de las variables de presión pico de llenado, cojín y temperatura, para verificar que la ecuación cumple con lo esperado y los valores obtenidos de las dimensiones críticas son los esperados mediante la aplicación de la ecuación obtenida.

La obtención de la ecuación por medio de regresión lineal que mejor se ajustó a las dimensiones críticas de ancho y largo es el primer paso para implementar este procedimiento a los actuales procesos de validación de moldes, ya que así se podrá predecir las dimensiones obtenidas según las variables que intervienen en el proceso de moldeo por inyección.

La implementación de este procedimiento recae sobre el personal del Departamento de Ingeniería, los cuales tendrán que modificar el actual proceso de validación de moldes para agregarle un procedimiento como el desarrollado para la pieza 30-51536-00H-01.

El desarrollo de la implementación de este nuevo procedimiento en las validaciones actuales se explica con más detalle en la Tabla 7.3.

Tabla 7.3.: Actividades propuestas la implementación del Control Preventivo de Procesos en las validaciones actuales.

Actividad	Descripción	Encargado	Objetivos
1. Capacitación sobre el desarrollo realizado para la obtención de regresiones lineales.	Capacitación sobre como se desarrollo el procedimiento para encontrar las regresiones lineales entre las variables del proceso y las dimensiones críticas de interés.	Departamento de Ingeniería.	Capacitar la personal del Departamento de Ingeniería en los procedimientos realizados para encontrar las regresiones lineales entre las variables del proceso de moldeo por inyección y las dimensiones críticas de la pieza.
2. Implementación del procedimiento desarrollado en el actual proceso de validación de moldes.	Implementar el proceso desarrollado para la pieza 30-51536-00H-01 en las otras piezas moldeadas realizadas en Medtech Costa Rica, S.A.	Departamento de Ingeniería.	Implementar en el actual proceso de validación de moldes un desarrollo de experimentos para encontrar regresiones lineales entre las variables del proceso de moldeo por inyección y las dimensiones críticas principales de las piezas.

Las actividades propuestas tienen como fin realizar un cambio en el actual proceso de validación, para que durante el mismo se realicen las pruebas necesarias para encontrar las regresiones lineales que relaciones las variables del proceso de moldeo por inyección y las dimensiones críticas de la pieza, esto con el objetivo de asegurar la calidad de las piezas moldeadas, en cuanto a dimensiones críticas, en la inyectora.

VIII. ANÁLISIS DE RESULTADOS

1. Secado de las Resinas Poliméricas en Medtech Costa Rica, S.A.

El establecimiento de las curva de secado de diferentes resinas con que cuenta la empresa Medtech Costa Rica, S.A. se propuso con el fin de establecer si existían diferencias entre el uso de los dos equipos de secado con que se cuentan actualmente: el equipo Dri-Air y el equipo Matsui.

El establecimiento de las curvas de secado consistió en realizar el proceso de secado de 7 resinas con las que cuenta la empresa, en los dos diferentes equipos o tecnologías de secado que se tienen, esto con el objetivo de determinar si había alguna diferencia, en cuanto a tiempos de secado, en el uso de estos equipos.

El procedimiento de secado de estas fue controlado, de manera que cada media hora (con excepción de la resina NYX-02-B31-SK V, que fue cada 2 horas) se tomaron muestras de las resinas para determinar el porcentaje de humedad y el proceso de secado concluyó hasta que las resinas habían obtenido el nivel de humedad requerido para su utilización en el proceso de moldeo por inyección.

Las curvas de secado obtenidas para las 7 resinas muestreadas se muestran en el Apéndice B, en donde se puede observar que para la mayoría de las resinas (a excepción de las resinas NYX-02-TX-738V y MAK-02-2458013528) se obtuvieron tiempos de secado menores con la utilización del equipo de secado Matsui. Además en la tabla mostrada en el Apéndice D, en donde se establecieron los tiempos de secado obtenidos de estas resinas se puede observar que estos tiempos de secado, para el equipo Matsui, son menores que los tiempos de secado que se tiene actualmente establecidos.

La importancia de este nuevo establecimiento de los tiempos de secado de estas resinas es que permite hacer una diferencia entre los tiempos de secado, para las diferentes resinas, con la utilización del equipo Matsui y el equipo Dri-Ari, lo cual permitirá que se evite un exceso de secado de las resinas al utilizar el equipo Matsui, el cual es el que presenta los tiempos de secado menores.

Además, al establecer nuevos tiempos de secado de las resinas se permite tener una mayor disponibilidad de estas en un tiempo más corto, lo que evitará, con una adecuada planeación del proceso, paros de las máquinas inyectoras por no tener resina para trabajar.

Luego de que se establecieron los nuevos tiempos de secado de las resinas se realizó un estudio para determinar el impacto económico de la utilización de estos nuevos tiempos y la utilización de los tiempos de secados con que cuenta actualmente la empresa Medtech Costa Rica, S.A. Para la realización de este estudio de costos fue necesario primeramente realizar las mediciones del consumo energético de los equipos, esto se muestra en el Apéndice A.

La Tabla 5.1. muestra el costo, por consumo energético de los equipos de secado, de la realización de un proceso de secado con los tiempos de secado actuales y con los tiempos de secado propuestos, para los dos diferentes equipos de secado con que se cuenta. Como se puede observar en la Tabla 5.1. se pueden lograr reducciones significativas en los costos de secado por consumo energético con el uso de los nuevos tiempos de secado. Se puede lograr una reducción máxima de hasta un 75% en los costos de secado para el equipo Dri-Air y de un 83% para el equipo Matsui.

Como propuesta para la implementación de estos nuevos tiempos de secado, se sugiere también la implementación del manual del Apéndice C, el cual explica el procedimiento para determinar el porcentaje de humedad de una muestra de resina. La importancia de la implementación de este manual es que involucra y responsabiliza al operario encargado de abastecer las resinas (Materialista) por el porcentaje de humedad de esta, ya que actualmente el operario se encarga de cargar la resina y de avisar cuando esta ha cumplido el tiempo de secado requerido, sin embargo no se hace ninguna verificación del porcentaje de humedad de la resina, por lo cual aunque esta ya haya cumplido el tiempo de secado establecido, no se corrobora si posee la humedad requerida para el proceso.

Otra de las implementaciones importantes es realizar estas curvas de secado para las resinas faltantes, ya que aunque se realizaron las curvas de secado para los diferentes tipos de polímeros (ABS, nylon, copoliéster y poli carbonato), no se realizaron las curvas de secado para la totalidad de las resinas existentes, aunque se esperaría que el comportamiento de las curvas de secado de estas resinas sea similar a las de las resinas ya muestreadas.

Como última propuesta se plantea analizar la factibilidad de utilizar solo equipos de secado Matsui, ya que como se pudo observar en las secciones anteriores, el uso de estos equipos permite una reducción de los costos de consumo energético y una disponibilidad de la resina en un periodo de tiempo más corto, lo cual permitiría agilizar el proceso de moldeo por inyección, permitiendo contar con el material requerido para realizar el proceso en tiempos más cortos.

Con el establecimiento de las curvas de secado de las resinas y por ende de los tiempos propuestos de secado de las resinas se logró establecer las diferencias entre el uso de un equipo y el otro (Dri-Air y Matsui), además se lograron establecer diferencias en los costos de secado, por consumo energético, con la implementación de los nuevos tiempos de secado.

2. Proceso de Moldeo por Inyección en Medtech Costa Rica, S.A.

El establecimiento de control preventivo del proceso de moldeo por inyección se basó en la caracterización del proceso actual y luego en el establecimiento de regresiones lineales, que relacionaran las variables del proceso de presión pico de llenado, cojín y temperatura, con las dimensiones críticas de la pieza. La pieza a la cual se le realizó este proceso es la 30-51536-00H-01, la selección de esta pieza se basó en que tiene altos volúmenes de producción (aproximadamente 320000 piezas/mes), además que es una pieza que posee una forma irregular, por lo cual el proceso de moldeo por inyección debe ser más

preciso y la inspección de calidad de esta pieza conlleva la toma de 12 medidas críticas.

Para realizar el control preventivo del proceso primeramente se realizó una caracterización del proceso actual, para determinar si este es capaz o no de cumplir con las dimensiones críticas de las piezas. En esta caracterización se realizó un muestreo de 500 unidades de la pieza 30-51536-00H-01 para establecer el comportamiento actual del proceso.

En el muestreo de 500 unidades de la pieza 30-51536-00H-01 se logró establecer que el proceso era estable y que podía cumplir con los requerimientos dimensionales para esta pieza, ya que del total de las unidades muestreadas (500) todas cumplieron con las dimensiones críticas requeridas, esto tal y como se muestra en los Apéndices F, G, H e I.

El siguiente paso para la determinación de las ecuaciones de regresiones lineales fue el establecimiento del diseño de experimentos a seguir, dicho diseño debía contemplar tres variables del proceso (presión pico de llenado, cojín y temperatura), cada una con tres niveles (nivel bajo, nivel nominal y nivel alto), por lo que después de búsqueda bibliográfica se logró establecer que el modelo que se adaptaba al proceso para el control de estas variables es un modelo factorial 3^3 , el cual conlleva un total de 27 experimentos a realizar, los cuales son los que se muestran en la Tabla 6.1., en donde se muestran todas las posibles combinaciones de los niveles de las tres variables de interés.

De las combinaciones requeridas para llevar a cabo el experimento solo eran posibles realizar 9 combinaciones, que son las que se muestran subrayadas en la Tabla 6.1., esto debido a que el cojín depende de la presión y es inversamente proporcional a este, por lo que era imposible realizar ciertas combinaciones de las propuestas.

Luego de establecido el diseño de experimentos a seguir se estableció el plan de muestreo a seguir, primeramente se estableció un plan de muestreo de

200 unidades por experimento, este utilizando tablas militares, sin embargo, por falta de tiempo y de recursos, debido a que la pieza 30-51536-00H-01 estuvo fuera de producción en el mes de septiembre, se estableció un número de replica para el experimento de 30 unidades, esto debido a que es el mínimo de unidades requeridas para realizar un proceso de validación según la FDA (Food and Drugs Administration).

Luego de establecido el muestreo a realizar se procedió a realizar el desarrollo del experimento, el cual consistió en la toma de las muestras de la pieza (30 por cada experimento) y de las variables de presión pico de llenado, cojín y temperatura para cada muestra tomada, esto para los 9 experimentos requeridos.

Con la toma de las muestras de la pieza 30-51536-00H-01, para cada experimento requerido, se realizó una toma de medidas de las dimensiones críticas de ancho y largo, ya que se estableció que estas dimensiones son las que presentan un mayor rango de variación y que son significativas en la pieza.

Los datos correspondientes a las dimensiones críticas de las piezas muestreadas se relacionaron con las variables del proceso de moldeo por inyección para cada pieza, con esta relación se lograron establecer regresiones lineales, mediante la utilización del programa computacional Minitab 15, que relacionaban las variables de presión pico de llenado, cojín y temperatura del proceso de moldeo por inyección con las dimensiones críticas de ancho y largo de la pieza 30-51536-00H-01. Las ecuaciones de regresiones lineales obtenidas para estas dos dimensiones críticas se muestran en el Apéndice N y en la Tabla 6.2., en donde se obtuvieron 12 ecuaciones para cada dimensión crítica.

Las ecuaciones de regresiones lineales obtenidas para cada dimensión crítica tuvieron valores del R^2 entre 80.9 y 88.5, los cuales son valores relativamente bajos, sin embargo el coeficiente F es mayor que los propuestos en las tablas del Gujarati (1995), por lo tanto todos los coeficientes son significativos.

Las 12 ecuaciones obtenidas fueron sometidas a revisión, para determinar las diferencias máximas, mínimas y los promedios de las diferencias entre el valor real y el valor calculado, Los datos obtenidos de este análisis se muestran en el Apéndice P, en donde con los promedios de las diferencias obtenidas se estableció un coeficiente de corrección para cada ecuación.

Las ecuaciones obtenidas con el coeficiente de corrección se muestran en la Tabla 6.3. Para estas ecuaciones obtenidas se determinó que las ecuaciones que presentaban el promedio de las diferencias menores eran las ecuaciones 1, 5 y 7 para ambas dimensiones críticas (ancho y largo), por lo que se realizó un análisis de la distribución de las diferencias para estas tres ecuaciones, para determinar cual ecuación tenía un comportamiento más oscilatorio y representativo.

En el Apéndice R se muestran las gráficas del comportamiento de las diferencias de las ecuaciones 1, 5 y 7 con el factor de corrección. Para la ecuación 1 y 5 del ancho y del largo se puede observar que estas tienden a tener un comportamiento prolongado para una serie de datos, sin embargo para la ecuación 7 del ancho y del largo se observa un comportamiento más oscilatorio. Además las ecuaciones 7 del ancho y largo presentan menos puntos o datos que se salen del comportamiento normal del proceso, por lo que se determinó que la ecuación que mejor se ajusta a estas dimensiones críticas es la ecuación número 7.

El establecimiento de las ecuaciones de regresiones lineales obtenidas permitió establecer que si existe una relación entre las variables del proceso de moldeo por inyección de presión pico de llenado, cojín y temperatura y las dimensiones críticas del ancho y largo de la pieza 30-51536-00H-01, además permitió establecer que el proceso actual es estable y capaz de cumplir con las dimensiones críticas esperadas, por lo que se puede asegurar la calidad de las piezas en cuanto a dimensiones críticas.

Durante el estudio del establecimiento de las regresiones lineales se realizó también un estudio de los costos que se tienen actualmente por inspecciones de calidad de la pieza 30-51536-00H-01 y por paro de la máquina inyectora por estas inspecciones. Se logró determinar, según la Tabla 4.10., que actualmente se tienen costos anuales de 270112.66 colones por inspecciones de calidad y paros de máquina para la fabricación de la pieza 30-51536-00H-01.

Analizando este costo, si se observa como individual, se podría pensar que es un costos bajo, sin embargo, tomando en cuenta que actualmente de producen alrededor de 43 componentes inyectados y tomando este valor como promedio para todas las piezas fabricadas en el área de moldeo se tendrían un total de costos anuales por inspecciones de calidad de todas las piezas y paros de máquina por la realización de la inspección de calidad de “Start Up” de 11614844.38 colones anuales.

Los costos por inspecciones de calidad actuales no se pueden eliminar del todo, solo reducirlos, sin embargo se puede realizar un cambio en la manera de producción y de la realización de las inspecciones. Por ejemplo, durante la realización de la inspección de “Start Up” la máquina inyectora debe detenerse hasta que el Departamento de Calidad verifique que las dimensiones críticas de las piezas muestreadas están dentro de especificación y de la autorización al Departamento de Producción para que se continúe con la fabricación de las piezas, sin embargo si durante el proceso de validación se logra establecer los parámetros y las ecuaciones de regresiones lineales, en donde el proceso sea capaz de cumplir con las dimensiones críticas requeridas, se puede realizar esta inspección de calidad, pero sin que se tenga que detener la producción, como se realiza actualmente, lo cual significaría un ahorro de 103330.08 colones anuales por el no paro de la inyectora para la fabricación de la pieza 30-51536-00H-01.

Con la aplicación del procedimiento mostrado, para la implementación del control preventivo del proceso y por consiguiente la obtención de las ecuaciones de regresión lineal que relacione las variables del proceso y las dimensiones

críticas requeridas de las piezas, en los actuales procesos de validación de moldes se pueden establecer los rangos de operación de las variables en donde el proceso sea capaz de cumplir con los valores de las dimensiones críticas establecidas, además se puede dar un mayor aprovechamiento al software de las inyectoras, el cual permite establecer rangos de operación de las variables del proceso y alarmas si no se cumplen con los rangos establecidos, lo cual permitiría que la propia inyectora y los operarios del Área de Moldeo puedan establecer cuales piezas no cumplen con los requerimientos dimensionales, esto con la observación del comportamiento de las variables del proceso.

Con la realización de este primer control preventivo de procesos para la pieza 30-51536-00H-01 se lograron encontrar las ecuaciones de regresión lineal que relacionen las variables del proceso y las dimensiones críticas, por lo tanto con la implementación de la metodología seguida en el actual proceso de validación se podría reorientar las inspecciones de calidad actuales, ya que el proceso sería capaz de cumplir con los requerimientos dimensionales.

Se propone, que al aplicar este procedimiento a otros componentes, se enfoquen las inspecciones de calidad a los atributos de la pieza, como suciedad, color de la pieza, entre otros, ya que actualmente los inspectores de calidad, al tener que realizar inspecciones diarias por cada componente que se fabrica, no le pueden dar mucha importancia a estos atributos y se enfocan, prácticamente, en solo la parte dimensional de las piezas.

IX. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. CONCLUSIONES

- 1.1. Existe una diferencia significativa entre los tiempos de secado obtenidos con los equipos Matsui y Dri-Air.
- 1.2. Se obtuvieron reducciones en los tiempos de secado de hasta un 50% con la utilización del equipo Matsui sobre el equipo Dri-Air.
- 1.3. Se lograron establecer nuevos tiempos de secado para las resinas muestreadas, los cuales hacen diferenciación entre el uso del equipo Matsui y el equipo Dri-Air, y los cuales son diferentes a los tiempos de secado actuales.
- 1.4. Se determinó que se puede lograr reducciones de hasta un 83% del tiempo de secado con la utilización del equipo Matsui y con los nuevos tiempos de secado propuestos.
- 1.5. Con la caracterización realizada del proceso de moldeo por inyección, para la fabricación de la pieza 30-51536-00H-01, se logró determinar que el actual proceso de fabricación para dicha pieza es estable y capaz de cumplir con las dimensiones críticas requeridas.
- 1.6. Los costos actuales por inspección de calidad y paros de la máquina inyectora por la realización de inspecciones de calidad para la pieza 30-51536-00H-01 son de 270112.66 colones anuales.
- 1.7. Se lograron obtener 12 ecuaciones por regresión lineal para cada dimensión crítica analizada (ancho y largo) de la pieza 30-51536-00H-01.
- 1.8. De las ecuaciones de regresión lineal obtenidas se concluyó que la ecuación con coeficiente de corrección que más se adapta al proceso es la ecuación número 7, tanto para el ancho como para el largo.
- 1.9. Con la implementación del control preventivo de procesos, mediante la obtención de regresiones lineales que relacione las variables del proceso y las dimensiones críticas de la pieza, se pueden disminuir los costos por paro de máquina por la realización de la inspección de "Start Up", al poder garantizar el cumplimiento de los requerimientos dimensionales bajo un rango de operación de la máquina y no tener que detener la máquina inyectora mientras se realiza esta inspección.

2. RECOMENDACIONES

- 2.1. Se recomienda reestablecer los actuales tiempos de secado para todas las resinas poliméricas que se utilizan actualmente en la empresa Medtech Costa Rica, S.A., haciendo diferencia entre el uso del equipo Matsui y el equipo Dri-Air.
- 2.2. Se recomienda la utilización de la tabla mostrada en el Apéndice D, para el tiempo de secado de las resinas muestreadas.
- 2.3. Se recomienda capacitar a los operarios Materialista en el uso del equipo para la determinación de la humedad de las resinas y en involucrar a estos más en el proceso de secado de resinas, de manera tal, que estos realicen pruebas de humedad de las resinas antes de que estas sean inyectadas, para que así se garantice que la resina posee el porcentaje de humedad requerido para el proceso de moldeo por inyección.
- 2.4. Se recomienda la utilización del manual mostrado en el apéndice E para realizar la capacitación de los operarios en cuanto a la determinación del porcentaje de humedad de las resinas.
- 2.5. En el actual procedimiento de validación, se recomienda incorporar un procedimiento similar al realizado para obtener las ecuaciones de regresiones lineales, para poder establecer los rangos en los cuales el proceso es capaz de cumplir con las especificaciones dimensionales requeridas.
- 2.6. Se recomienda realizar un procedimiento de comprobación de las ecuaciones por regresión lineal obtenidas para la pieza 30-51536-00H-01, para verificar la confiabilidad de la aplicación de estas.
- 2.7. En la fabricación de la pieza 30-51536-00H-01 se recomienda eliminar el paro de la máquina inyectora durante la realización de la inspección de calidad de “Start Up”, ya que se logró determinar que para la fabricación de este componente el proceso es estable y capaz de obtener las dimensiones críticas requeridas dentro de los rangos validados de las variables del proceso.

- 2.8. Se recomienda realizar un proceso de capacitación a los supervisores del área de moldeo para que conozcan más acerca de las aplicaciones y del manejo del software de las inyectoras Nissei, utilizando el manual que se muestra en el Apéndice E.

X. BIBLIOGRAFÍA

Beaumont, J.P, et all. (2002). Successful Injection Moldin: Process, Desing and Simulation. Editorial Hanser Publishers. Munich. PP 56-70.

Gutierrez, H. (2004). Control Estadístico de la Calidad y Seis Sigma. Editorial MacGraw-Hill. México.

Gujarati, D. (1995). Basic Econometrics. Editorial MacGraw-Hill. New York.

http://es.wikipedia.org/wiki/Moldeo_por_inyecci%C3%B3n

Malloy, Robert A. (1994). Plastic Part Desing for Injection Molding. Editorial Hanser Publishers. Munich.

Mettler Toledo (2001). Métodos para determinar el contenido de humedad.

Nissei. (2003). Technical Manual K-8104.

Rauwendaal, Chris. (2000). SPC Statistical Process Control in Injection Molding and Extrusion. Editorial Hanser Publishers. Munich. PP 1-26, 66-100.

APÉNDICES

APÉNDICE A.

**Cálculo del Consumo Energético de los equipos de secado de Medtech
Costa Rica, S.A.**

Tabla 1.1.: Cálculo del Costo del Secado de Resinas en los diferentes equipos de la empresa Medtech Costa Rica, S.A.

Secador	Voltaje	Amperaje	Potencia Calculada (KW/hora)	Costo de KW/hora	Costo de secado/hora
Dri-Air	240	16	3.84	22 colones	84.48 colones
Matsui	240	20	4.8	22 colones	105.6 colones

Fórmulas:

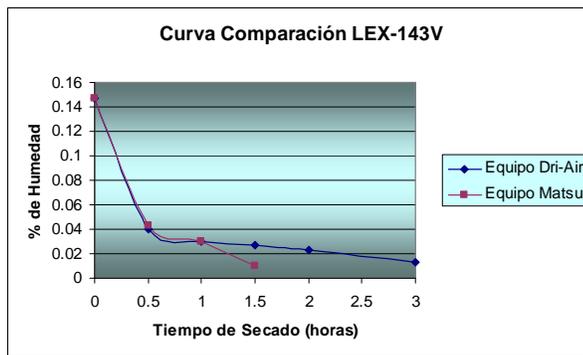
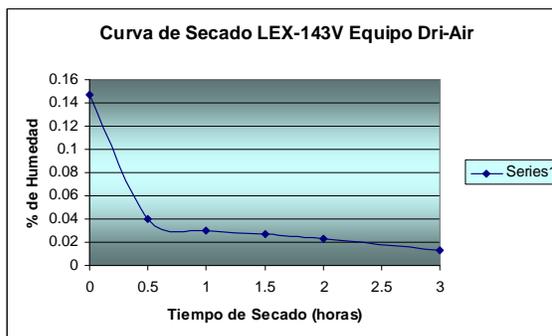
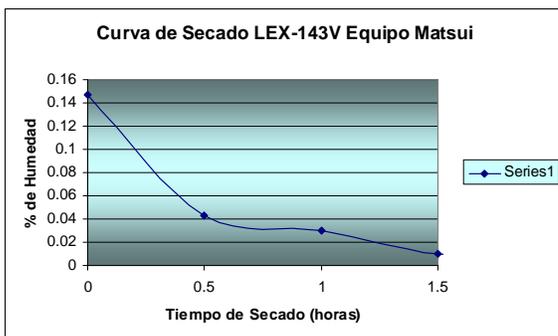
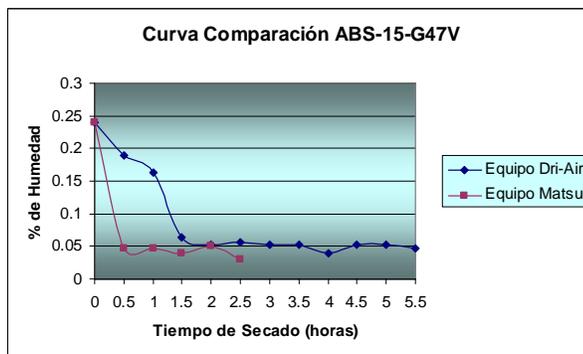
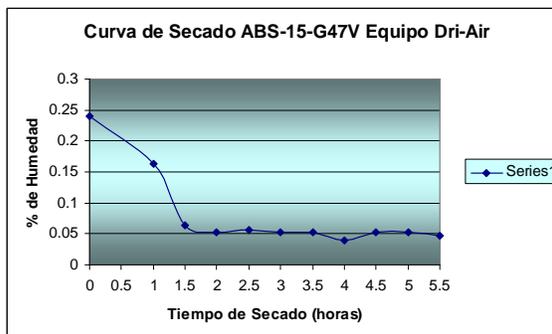
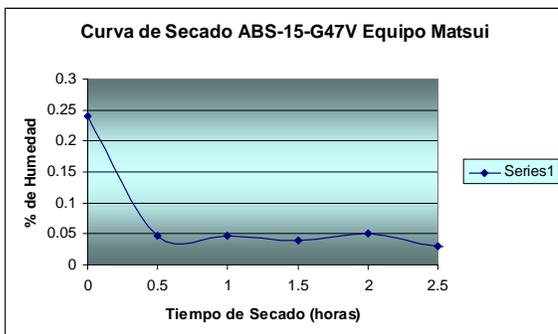
$$Potencia(KW / hora) = \frac{Voltaje \bullet Amperaje}{1000}$$

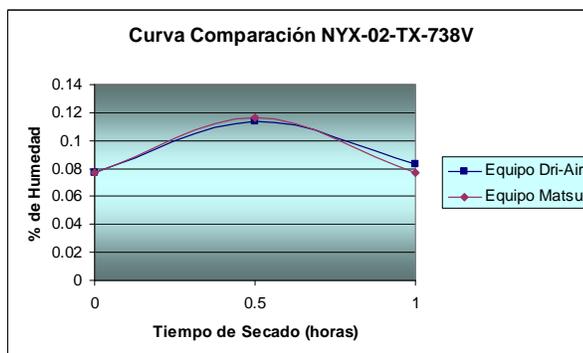
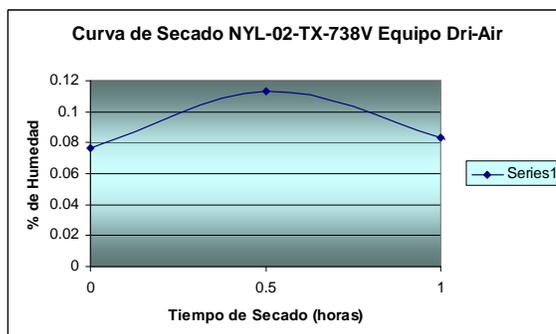
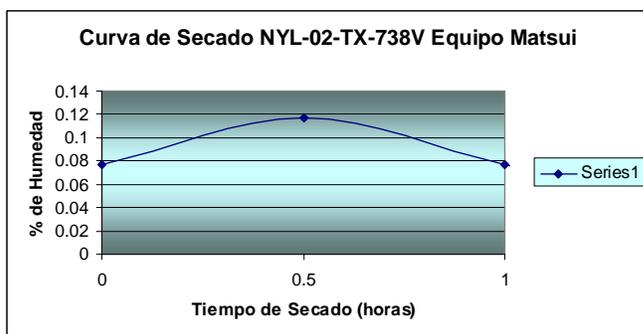
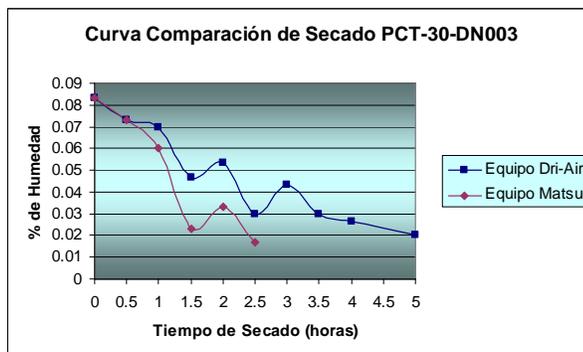
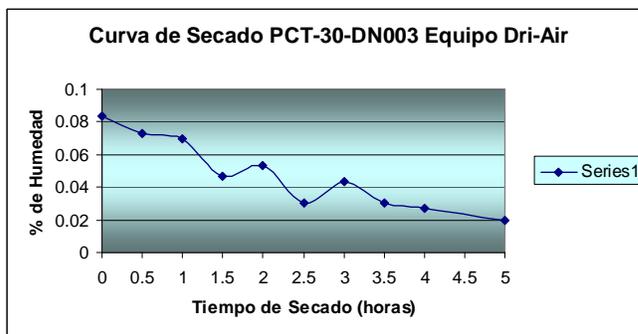
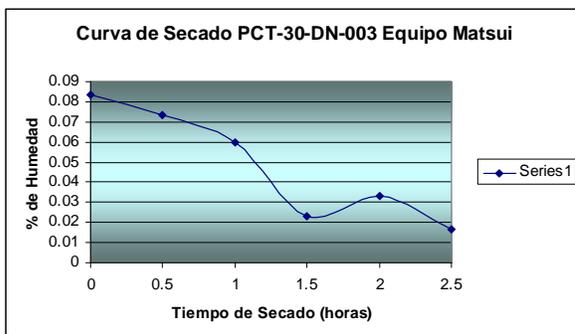
$$Potencia_{Dri-Air}(KW / hora) = \frac{240 \bullet 16}{1000} = 3.84KW / hora$$

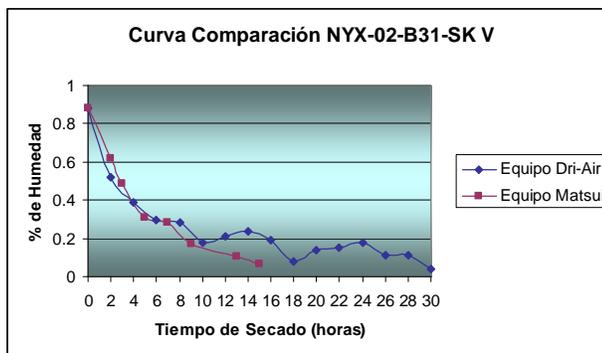
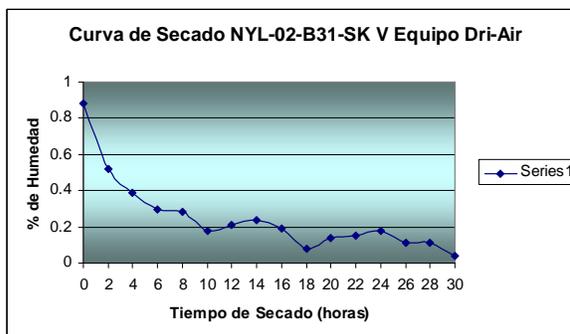
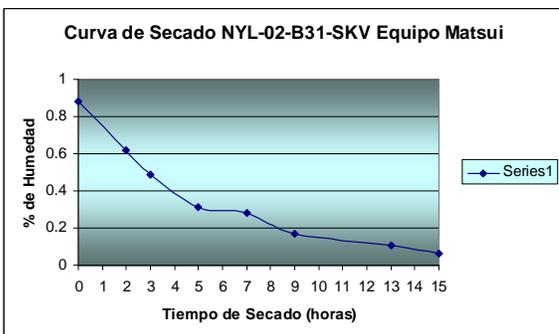
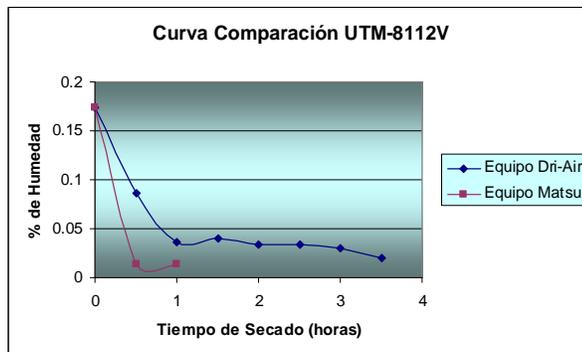
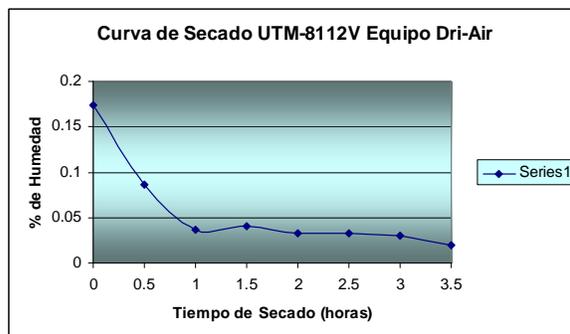
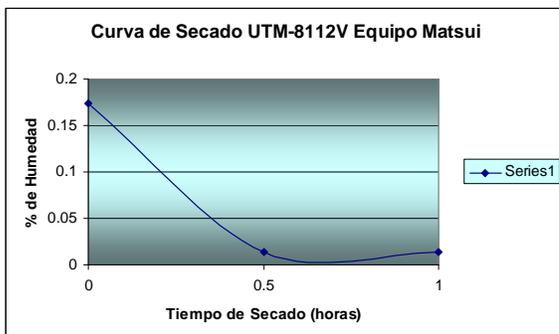
$$Potencia_{Matsui}(KW / hora) = \frac{240 \bullet 20}{1000} = 4.80KW / hora$$

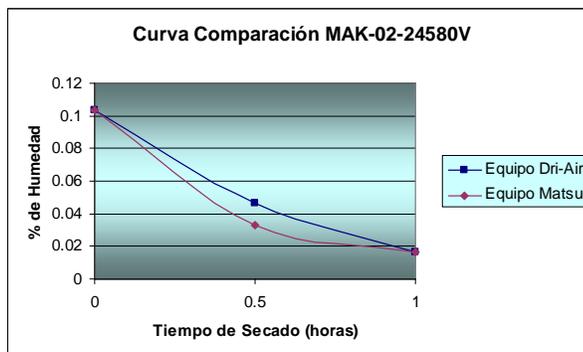
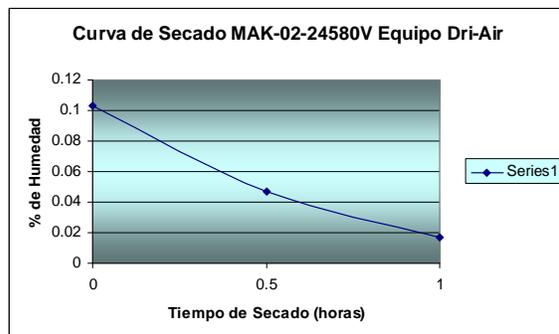
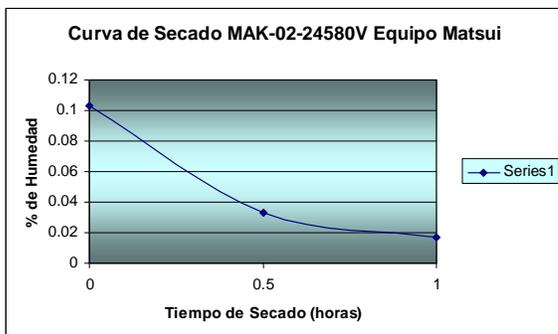
APÉNDICE B.

Curvas de Secado obtenidas para Diferentes Resinas muestreadas en la empresa Medtech Costa Rica, S.A.









APÉNDICE C.

Manual para la determinación del Porcentaje de Humedad de una Resina Polimérica utilizando el Analizador Halógeno de Humedad Mettler Toledo

1. Tome una muestra de la resina polimérica requerida directamente del secador, para lo cual utilice guantes para no tocar la muestra directamente con las manos, e introdúzcala en doble bolsa. Nota: Asegúrese de cerrar adecuadamente las bolsas para que la resina no absorba humedad. Figuras 1 y 2.



Figura 1.



Figura 2.

2. Traslade la muestra lo más rápido posible al lugar donde se encuentra el equipo para medir la humedad de la resina.

3. Encienda el Analizador Halógeno de Humedad Mettler Toledo presionando el botón . Figura 3.



Figura 3.

4. Verifique que el Analizador Halógeno de Humedad Mettler Toledo esté correctamente programado. Figura 4.

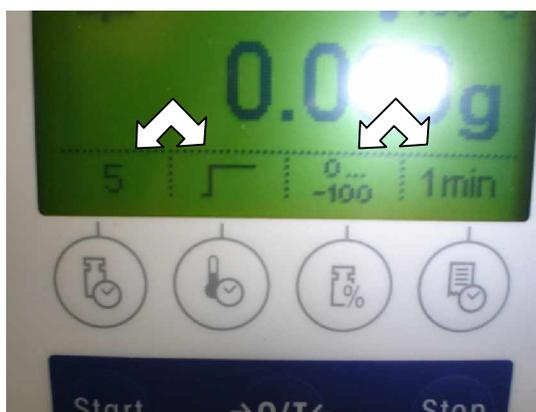


Figura 4.

5. El botón  representa el criterio de desconexión, el 5 indica que es para muestras de desecación muy lenta. El botón  indica el programa de desecación, la figura  indica que es una desecación estándar. El botón  indica el tipo de indicación, o sea la manera en que será dado el valor de la humedad de la muestra.

6. Abra el Analizador Halógeno de Humedad Mettler Toledo. Luego de abierto el analizador aparecerá el signo  a parpadear en la esquina superior izquierda de la pantalla. Figura 5.

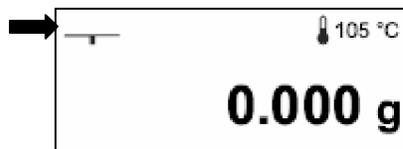


Figura 5.

7. Coloque el portamuestras vacío en el analizador. Figura 6.

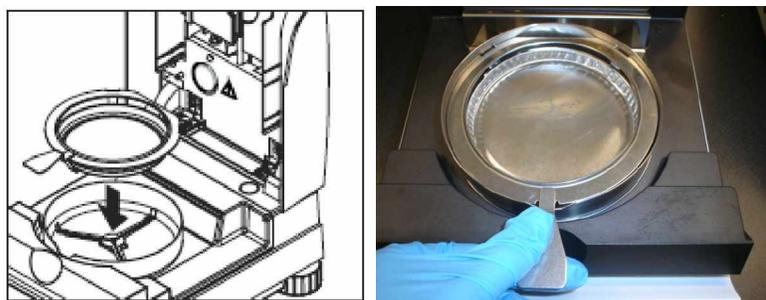


Figura 6.

8. Cierre el analizador. Figura 7.



Figura 7.

9. Abra el analizador nuevamente. Luego de abierto aparecerá el símbolo  parpadeando en la esquina superior izquierda, esto indica que debe colocar la muestra de resina.

10. Coloque una muestra de resina entre 10 y 10.5 gramos sobre el portamuestras. Figura 8. Con su mano, usando guantes, disperse la muestra alrededor de todo el plato. Figura 9.



Figura 8.



Figura 9.

11. Luego de que la muestra este bien dispersa sobre el plato (Figura 10) cierre el analizador.



Figura 10.

12. Espere a que el analizador realice la prueba para determinar el contenido de humedad de la muestra. El analizador de humedad emite un pequeña alarma de sonido cuando la prueba haya concluido
13. Cuando la prueba haya concluido aparecerá una franja negra sobre la pantalla (Figura 11). Registre el valor dado.



Figura 11.

14. Abra el analizador de humedad.
15. Retire la muestra de resina analizada.
16. Coloque el portamuestras nuevamente sobre el analizador.
17. Cierre el analizador.

APÉNDICE D.

**Establecimiento de Tiempos de Secado de Varias Resinas Poliméricas
utilizadas en Medtech Costa Rica, S.A.**

Resina	Temperatura de Secado	Tiempo de Secado (horas)		Porcentaje de Humedad Requerido
		Equipo Matsui	Equipo Dri-Air	
ABS-15-G47V	180–190 °F (82–87 °C)	3.5	5.5	≤ 0.02
LEX-143V	240–250 °F (115–121 °C)	1.5	3.0	≤ 0.02
PCT-30-DN-003	180 °F (82 °C)	2.5	5.0	≤ 0.02
NYX-02-TX-738V	190 °F (87 °C)	2.0	2.0	≤ 0.10
UTM-8112V	300 °F (148 °C)	1.0	3.5	≤ 0.02
NYX-02-B31-SK V	170 °F (76 °C)	15	30	≤ 0.10
MAK-02-2458013528	250 °F (114 °F)	1	1	≤ 0.02

APÉNDICE E.

Manual para el uso de las principales funciones del Software de las inyectoras Nissei.

1. Descripción General de los iconos de la pantalla principal del Software de las Inyectoras Nissei:

- Pantalla Táctil: La pantalla con la que cuentan las inyectoras es del tipo táctil, por lo cual con solo tocarla se muestran las principales funciones o pantallas del software de la inyectora. Para acceder a alguna de las funciones que se presentan es solo necesario tocar el icono sobre la pantalla.
- La pantalla principal está compuesta por diferentes pantallas o interfases. La figura 1 muestra los iconos de la pantalla principal.

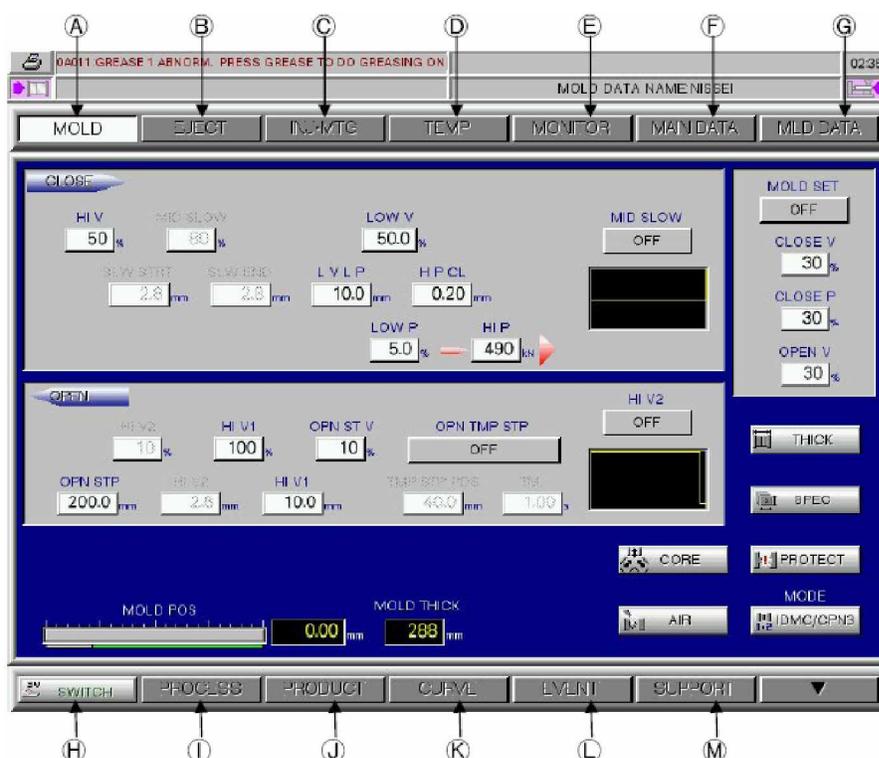


Figura 1: Pantalla Principal de la Inyectora Nissei.

Los iconos o interfases de la pantalla principal tienen las siguientes funciones:

- A. MOLD: Esta pantalla sirve para establecer y monitorear los parámetros de inyección, como la posición del tornillo, entre otros.
- B. EJECT: El icono de inyección muestra los parámetros de inyección del proceso.
- C. INJ-MTG: La pantalla de inyección y medición muestra los valores de las variables del proceso establecidos y las gráficas del comportamiento de la presión y la velocidad de inyección, así como otras funciones importantes como "Purgar", la cual sirve para limpiar la máquina inyectora.
- D. TEMP: Este icono es para seleccionar la pantalla de temperatura, en donde se pueden introducir los valores de la temperatura y monitorear los valores para las diferentes temperaturas que puede controlar la máquina, como lo son la temperatura en el frente, medio y final del cañón, en la boquilla y en la cabeza.
- E. MONITOR: Este icono es para seleccionar la pantalla en donde se monitorean todos los parámetros de operación de la inyectora, además se seleccionan los parámetros que se quieren monitorear.
- F. MAIN DATA: Este icono es para seleccionar la pantalla en donde se pueden introducir los valores de los parámetros de operación de la inyectora, los parámetros a los cuales se les puede determinar un valor son: tiempo de inyección, tiempo de enfriamiento, velocidad de inyección, presión de inyección, material a inyectar (cantidad en mm), que se pueden
- G. MLD DATA: Este icono muestra la pantalla de condiciones de cambio, en donde se pueden guardar ciertas condiciones de moldeo, o procesos ya programados.
- H. SWITCH: Este icono muestra una pantalla donde se pueden encender o apagar ciertos controles y alarmas con las que cuenta la inyectora.
- I. PROCESS: Al seleccionar este icono se muestra una pantalla en donde monitorear parámetros del proceso.

- J. **PRODUCT:** Con este cono se accede a una pantalla donde se contabiliza la producción de la inyectora, e incluso se puede programar para que con ciertos parámetros rechace las piezas, pudiendo contabilizar las piezas aceptadas y las rechazadas, según los parámetros de operación.
- K. **CURVE:** Al seleccionar este icono se muestra una pantalla en donde aparecen gráficas del comportamiento de ciertas variables del proceso.
- L. **EVENT:** Al seleccionar este icono aparece una pantalla en donde se registran todos los eventos sucedidos a la inyectora durante el proceso de inyección.
- M. **SUPPORT:** Con este icono se ingresa a una pantalla en donde se pueden imprimir reportes, cambiar fecha y hora de la máquina, cambiar el idioma, cambiar o establecer alarmas, desconectar dispositivos, entre otros; es una pantalla de soporte.

2. Introducción o realización de cambios de los valores de los parámetros de funcionamiento de la inyectora.

2.1 Para realizar cambios en los parámetros de funcionamiento de la inyectora se

selecciona el icono  de la pantalla principal.

2.2 Al seleccionar el icono aparecerá la siguiente pantalla.

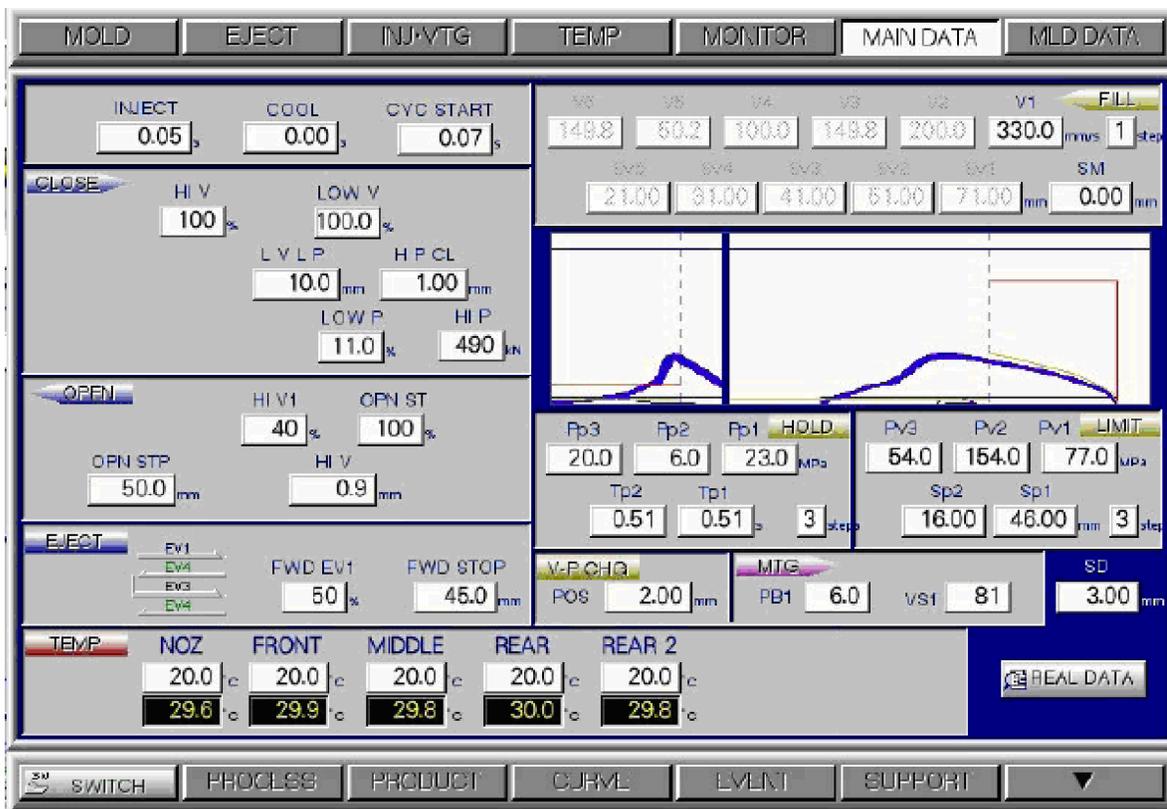


Figura 2: Pantalla al seleccionar el icono **Main Data**.

- 2.3** En esta pantalla se pueden introducir o cambiar los valores de los parámetros de funcionamiento de la inyectora.
- 2.4** Con el icono **INJECT** de la pantalla de **Main Data** se establece o cambia los valores de los tiempos de inyección de la pieza a realizar, este valor está dado en segundos. El tiempo de inyección es el tiempo de tarda el cañón en inyectar la resina fundida al molde.
- 2.5** Al seleccionar el icono **COOL** se establece o cambia el valor para el tiempo de enfriamiento de la pieza a realizarse. Este es el tiempo que transcurre desde que finaliza la inyección del material fundido hasta que se abre el molde, para que la pieza inyectada se solidifique.
- 2.6** El icono **CYC START** es para introducir o modificar el valor del tiempo para iniciar cada ciclo, este es un tiempo que se puede dar entre la finalización y el inicio de cada ciclo de producción.

- 2.7** Con el icono **CLOSE** se establecen o cambian los parámetros para el cierre del molde, tal como velocidad, presión y posición de inyección.
- 2.8** Con el icono **OPEN** se establecen o cambian los parámetros para la apertura del molde, tal como velocidad, presión y posición de inyección.
- 2.9** Al seleccionar el icono **EJECT** se establecen o cambian los parámetros de la inyección del material fundido, tal como cantidad de material a inyectar (en milímetros).
- 2.10** El icono **TEMP** sirve para establecer o cambiar los valores de las diferentes temperaturas que puede monitorear la inyectora. Se pueden introducir o cambiar los valores de temperatura del inicio, medio, final 1 y final 2 del cañon y la boquilla de inyección. La pantalla para cambiar estos valores es la que aparece en la pantalla principal, la cual es la que se muestra a continuación.

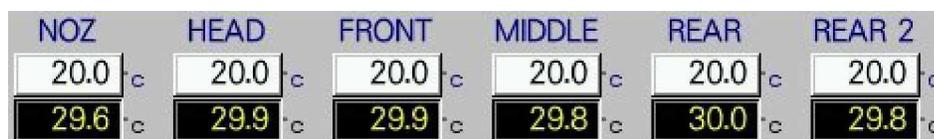


Figura 3: Pantalla para el cambio de las diferentes temperaturas.

- 2.11** Con el icono **FILL** se introducen o cambian los valores de velocidad de inyección (V) y cantidad de material a inyectar (SM). La pantalla para cambiar estos valores es la que se muestra en la figura 4.

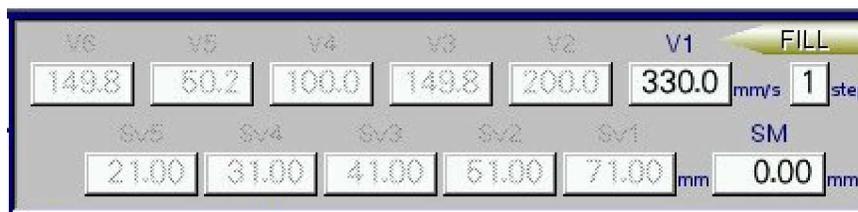


Figura 4: Pantalla para el cambio de la velocidad de inyección y la cantidad de material a inyectar.

- 2.12** Al seleccionar el icono **LIMIT** se puede introducir o cambiar los valores de presión pico de inyección. La pantalla para cambiar estos valores es la que se muestra en la siguiente figura.



Figura 5: Pantalla para el cambio de los valores de presión pico de llenado.

2.13 El icono **HOLD** sirve para ingresar o cambiar los valores de la presión de conmutación o presión de empaque. En la figura 6 se muestra la pantalla para cambiar la presión de conmutación.

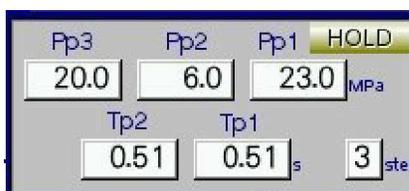


Figura 6: Pantalla para el cambio de los valores de presión de conmutación.

2.14 Con el icono de **V-P CHG** se muestra la pantalla para ingresar o cambiar el valor de posición de inyección. En la figura 7 se muestra la pantalla para cambiar este valor.

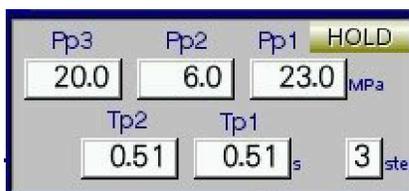


Figura 7: Pantalla para el cambio de los valores de posición de inyección.

2.15 Al seleccionar el icono **MTG** se selecciona una pantalla para modificar los parámetros de recuperación o plastificación del husillo, contrapresión, velocidad de rotación, entre otros. La pantalla para cambiar este valor es la que se muestra en la siguiente figura.

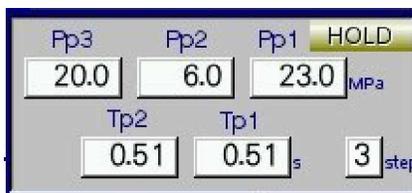


Figura 8: Pantalla para el cambio de los valores de.

2.16 Con el icono  se accede a una pantalla que muestra los valores reales (valores que está generando la máquina) de diferentes parámetros o variables, como el tiempo de inyección, tiempo de plastificación, posición final de inyección (cojín), tiempo de ciclo, entre otros. En la figura 9 se muestra la pantalla donde se muestran los valores de todas estas variables.

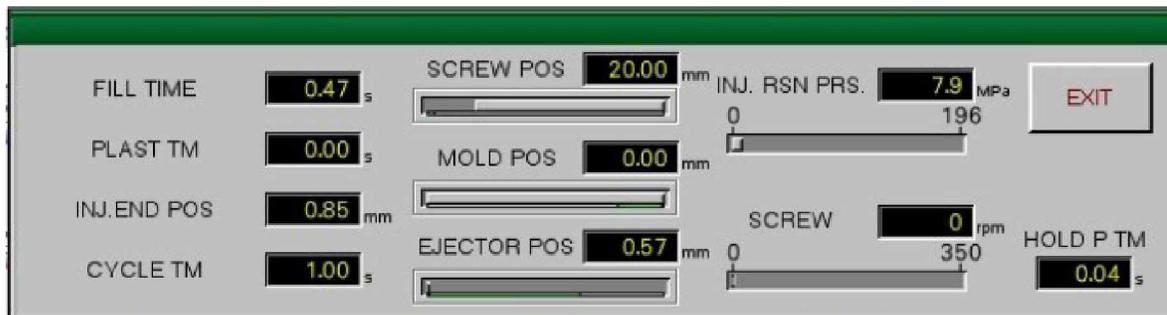


Figura 9: Pantalla al seleccionar **Real Data**.

2.17 Para realizar un cambio en cualquiera de los parámetros de los iconos antes mencionados, seleccione el icono que desee cambiar, ejemplo en 

seleccione  presionando el icono en blanco que contiene el valor,

2.18 Al seleccionar este icono aparecerá la siguiente pantalla.



Figura 10: Pantalla para cambio del valor de una parámetro de la inyectora.

- 2.19** En esta pantalla con el icono  se borra los valores de la pantalla, con el icono  se borra el último dígito introducido y con el icono  se incrementa o disminuye el valor de la pantalla.
- 2.20** Luego de que se ha introducido o cambiado el valor requerido presione el icono , para confirmar el valor introducido.
- 2.21** De esta manera se cambian los valores de operación de las variables de la máquina de inyección.

3. Monitoreo de los parámetros de funcionamiento de la inyectora.

- 3.1** Para realizar el monitoreo de los parámetros de funcionamiento de la inyectora seleccione en la pantalla principal el icono .
- 3.2** Al seleccionar este icono aparecerá la siguiente pantalla.

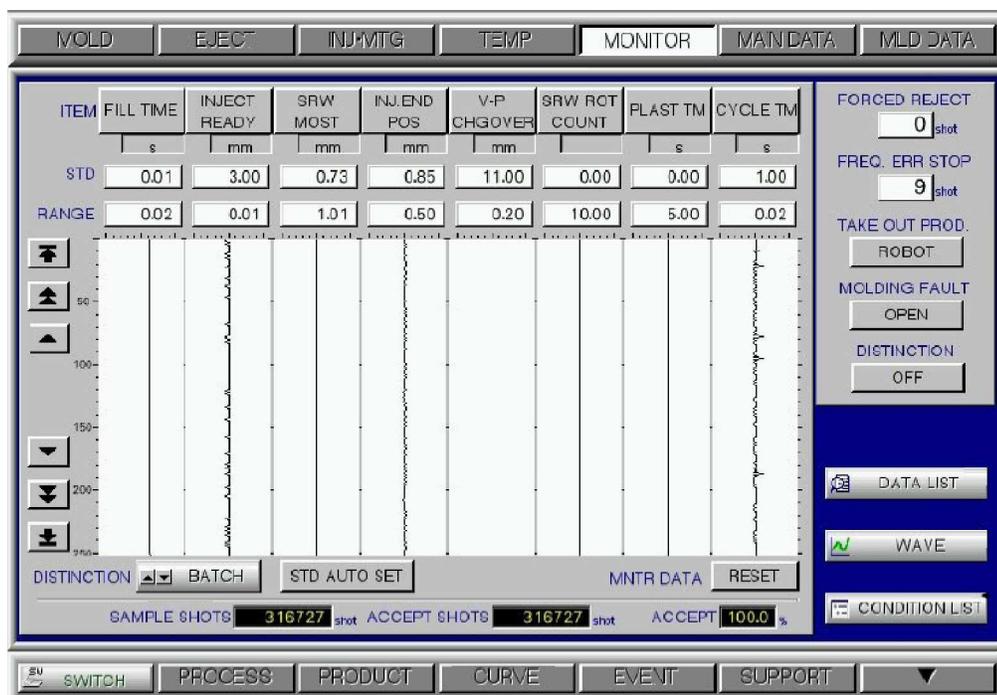


Figura 11: Pantalla al seleccionar el icono **Monitor**.

3.3 En esta pantalla se grafican los valores de los parámetros seleccionados para monitorear.

3.4 Las teclas que aparecen en el lado izquierdo de la figura tienen la siguiente función:

1. Icono : Muestra los datos de los disparos o "shots" más nuevos.
2. Icono : Muestra los datos de los últimos 50 disparos o "shots".
3. Icono : Muestra los datos del último disparo o "shot".
4. Icono : Muestra los datos de los primeros disparos o "shots".
5. Icono : Muestra los datos de primeros 50 disparos o "shots".
6. Icono : Muestra los datos de los primeros disparos o "shots" (hasta un máximo de 500 disparos).

3.5 Para cambiar los parámetros a monitorear presione el icono de alguna de las

variable, ejemplo .

3.6 Al presionar este icono aparecerá la siguiente pantalla con todas las variables que se pueden monitorear.



Figura 12: Pantalla para seleccionar las variables a monitorear.

3.7 Si desea cambiar la variable a monitorear seleccione la nueva variable presionando el icono de esta.

3.8 De la manera antes descrita se pueden seleccionar o cambiar las variables a monitorear hasta seleccionar un máximo de 8 variables.

3.9 Al seleccionar el icono  de la pantalla principal de **Monitor** se mostrará una pantalla en donde se puede seleccionar que el software calcule el valor medio y la desviación de estándar de los datos o variable seleccionados para monitorear. Al seleccionar este icono aparecerá la siguiente pantalla.



Figura 13: Pantalla al seleccionar el icono **Batch**.

3.10 En esta pantalla al presionar el icono  este es cambiado por la función **On**, por lo tanto se empiezan a monitorear las variables y a calcular los valores del promedio y la desviación estándar para estos. Finalice presionando .

3.11 Al seleccionar el icono  de la pantalla principal de **Monitor** aparecerá la pantalla que se muestra en la siguiente figura.

MNTR DATA	INJ. STROKE	INJ. END POS	FILL TIME	SRW MOST	SRW ROT COUNT	MTG READY	CYCLE TM	PLAST TM	
RESET	mm	mm	s	mm		mm	s	s	EXIT
11-SHOT	74.13	8.87	0.82	8.29	0.00	17.07	5.28	1.53	16:14:18
12-SHOT	74.12	8.88	0.82	8.30	0.00	17.07	5.28	1.82	16:14:12
13-SHOT	74.12	8.87	0.82	8.29	0.00	17.09	5.28	1.31	16:14:07
14-SHOT	74.13	8.87	0.82	8.30	0.00	17.04	5.28	1.72	16:14:02
15-SHOT	74.13	8.87	0.82	8.29	0.00	17.09	5.28	1.60	16:13:57
16-SHOT	74.13	8.87	0.82	8.29	0.00	17.09	5.28	1.72	16:13:51
17-SHOT	74.12	8.88	0.82	8.30	0.00	17.10	5.27	1.39	16:13:46
18-SHOT	74.12	8.88	0.82	8.29	0.00	17.03	5.28	1.47	16:13:41
19-SHOT	74.13	8.88	0.82	8.29	0.00	17.08	5.28	1.31	16:13:35
20-SHOT	74.13	8.88	0.82	8.29	0.00	17.08	5.28	1.72	16:13:30
MAX.	76.73	17.27	0.85	16.94	1.68	80.17	7.08	2.36	
MIN.	65.73	7.32	0.79	7.29	0.00	15.26	3.55	1.26	
AVE.	75.232	7.767	0.820	7.590	0.511	16.386	5.315	1.522	
STD. DEV.	0.754	0.754	0.001	0.540	0.338	6.174	0.284	0.141	

Figura 14: Pantalla al seleccionar el icono **Data List**.

3.12 Los iconos ubicados en el lado derecho de la pantalla tienen la misma función que los explicados en la sección 3.4.

3.13 Al seleccionar el icono  se borran todos los datos almacenados. Al seleccionar este icono aparece la siguiente pantalla.

Figura 15: Pantalla al seleccionar el icono **Resert**.

- 3.14 Al seleccionar  se borran todos los datos almacenados en la pantalla de **Data List**.
- 3.15 Se pueden cambiar los variables a monitorear presionando sobre la variable que se desea cambiar y siguiendo los pasos del 3.8 al 3.8.
- 3.16 Al presionar el icono  se cierra esta ventana y se regresa a la ventana principal de **Monitor**.
- 3.17 Al seleccionar el icono  de la pantalla principal de **Monitor** aparecerá la siguiente pantalla.

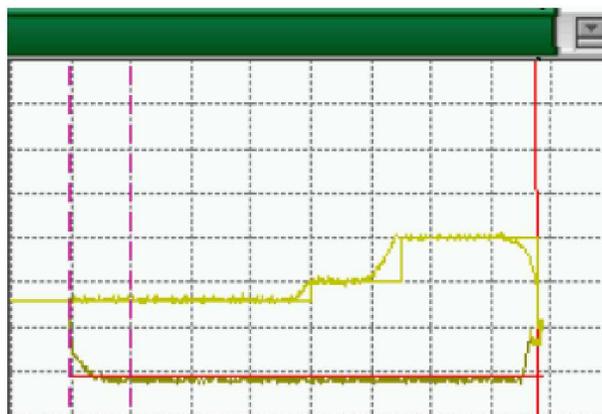


Figura 16: Pantalla al seleccionar el icono **Wave**.

- 3.18 En esta pantalla se grafica curva del comportamiento del proceso. Al presionar  en la esquina superior derecha de la pantalla se cerrará esta y se volverá a la pantalla principal de **Monitor**.
- 3.19 Al seleccionar el icono  de la pantalla principal de **Monitor** aparecerá la siguiente pantalla.

	MEASURED	STD DATA	RANGE	DISTINCTN		MEASURED	STD DATA	RANGE	DISTINCTN
FILL TIME	0.01 s	0.01	0.01	OFF	NOZ	29.0 °c	21.0	4.0	OFF
INJ. LAP TM	0.00 s	0.06	0.11	OFF	HEAD	29.2 °c	21.0	4.0	OFF
INJECT READY	3.00 mm	3.00	0.01	OFF	FRONT	29.3 °c	21.0	4.0	OFF
V-P CHGOVER	1.99 mm	1.99	0.01	OFF	MIDDLE	29.2 °c	21.0	4.0	OFF
SRW MOSTFWD	0.73 mm	0.73	0.01	OFF	REAR	29.4 °c	21.0	4.0	OFF
INJ. END POS	0.85 mm	0.85	0.02	OFF	REAR 2	29.2 °c	21.0	4.0	OFF
V-P CHG P	7.8 MPa	8.6	0.3	OFF	STA. MOLD	-17.8 °c	0.1	0.0	OFF
SRW MOSTFWD P	7.8 MPa	3.0	0.1	OFF	UPPER MOLD	-17.8 °c	0.1	0.0	OFF
FILL PEAK P	7.9 MPa	7.9	0.3	OFF					
INJ. LAP P POS	7.8 MPa	3.0	2.4	OFF					
SECTION AVE. PRS.	0.0 MPa	3.0	0.9	OFF					
INJ. START P	7.8 MPa	8.5	0.9	OFF					
INJ. STROKE	2.15 mm	75.00	0.02	OFF					
PLAST TM	0.00 s	0.00	0.01	OFF					
MTQ READY	1.82 mm	7.27	50.01	OFF					
SRW ROT COUNT	0.00	0.00	0.01	OFF					
CYCLE TM	1.00 s	1.00	0.01	OFF					

MONITOR POSITION	0.00 mm	WAVE	
LOAD P MNTR SECTION	6.50 mm	6.60 mm	EXIT

Figura 17: Pantalla al seleccionar el icono **Condition List**.

- 3.20** En esta pantalla al presionar el icono en **Distinctn** la variable del proceso adquiere la condición de **On**, se pueden seleccionar hasta un máximo de 8 variables en esta condición.
- 3.21** En las variables seleccionadas en **On** se puede introducir los valores de desviación estándar y rango, y al no cumplir el proceso con estos valores se mostrará una señal en el gráfico de la pantalla principal de **Monitor**, tal como se muestra en la siguiente figura.

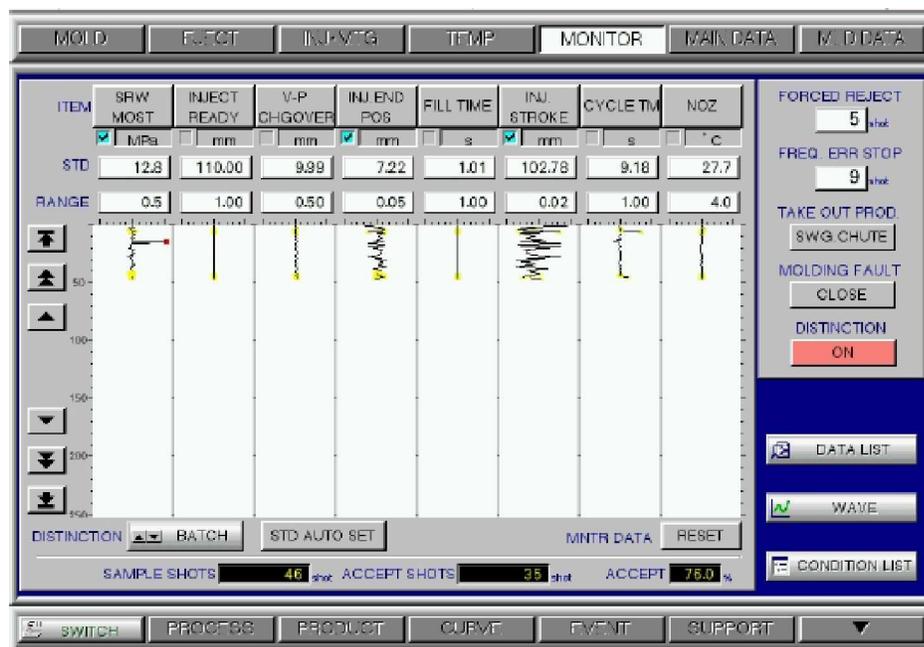


Figura 18: Grafico de monitoreo al no cumplirse con un rango establecido en la pantalla de **Condition List**.

3.22 Al seleccionar  de la pantalla de **Condition List** se regresa a la pantalla principal de **Monitor**.

4. Guardar pantallas o datos de software de las Inyectoras Nissei.

4.1 Para guardar datos o pantallas del software primeramente introduzca el dispositivo de almacenamiento (Flash Driver) en el puerto ubicado a un costado de la pantalla táctil de la inyectora.

4.2 Luego de seleccionar la pantalla que desea guardar presione el icono  de impresión que aparece en la esquina superior izquierda de la pantalla (sobre los iconos de las diferentes pantallas).

4.3 Al seleccionar este icono aparecerá una pantalla que indica que la impresora está desconectada que si desea guardar el archivo.

4.4 En esta pantalla presione el icono .

4.5 Espere unos segundos mientras se guarda la pantalla seleccionada.

4.6 Para desconectar el dispositivo de almacenamiento seleccione el icono de

SUPPORT

. Al seleccionar este icono aparecerá la siguiente pantalla.

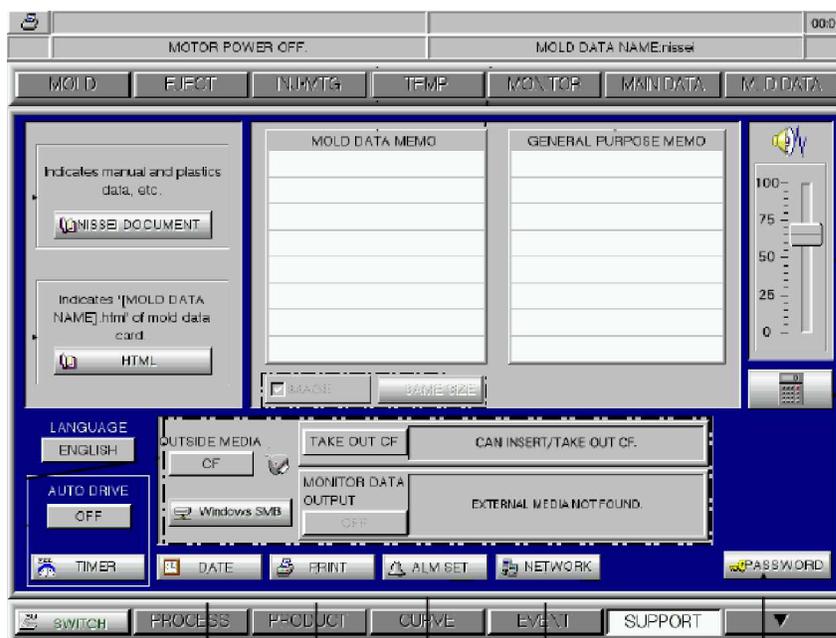


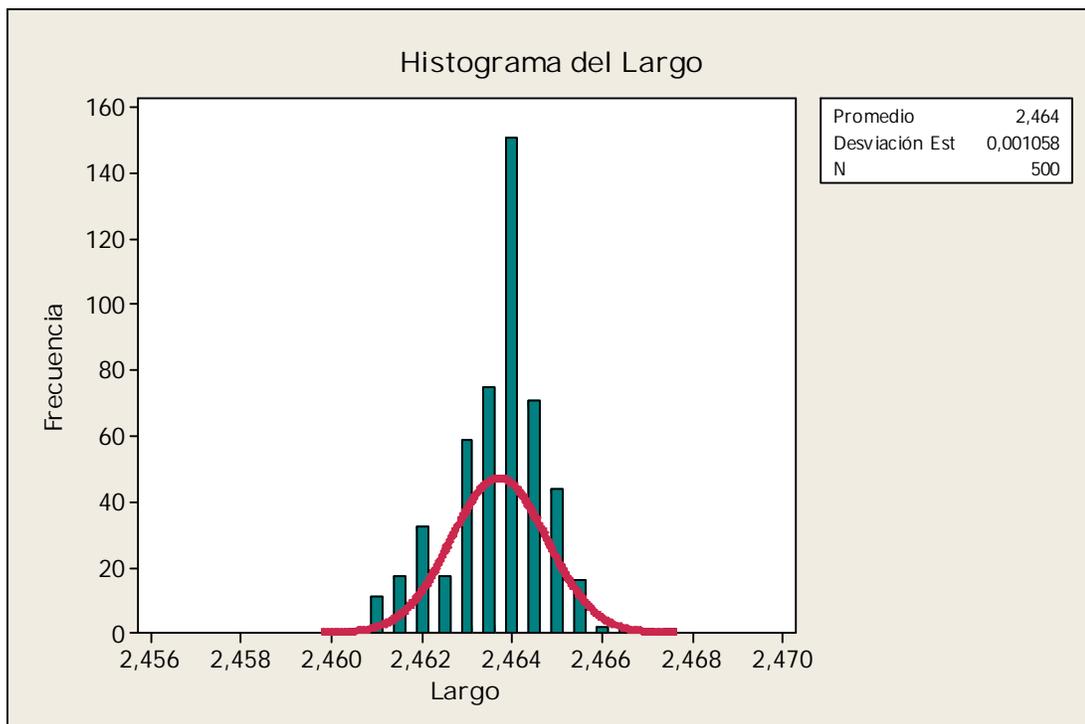
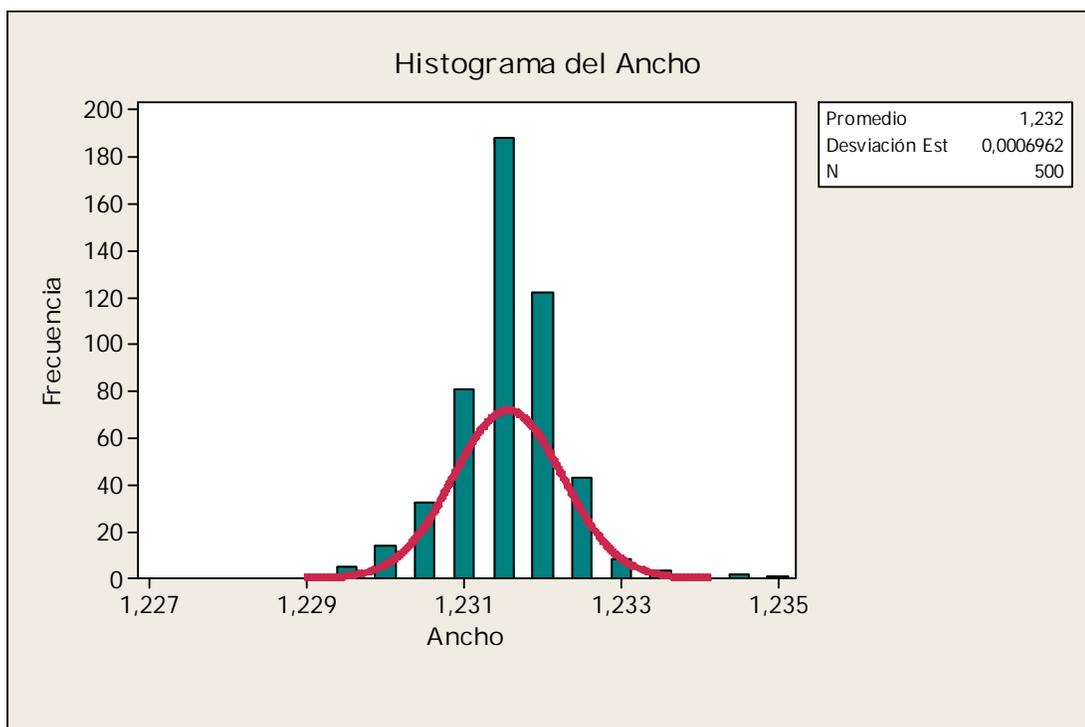
Figura 19: Pantalla al seleccionar el icono **Support**.

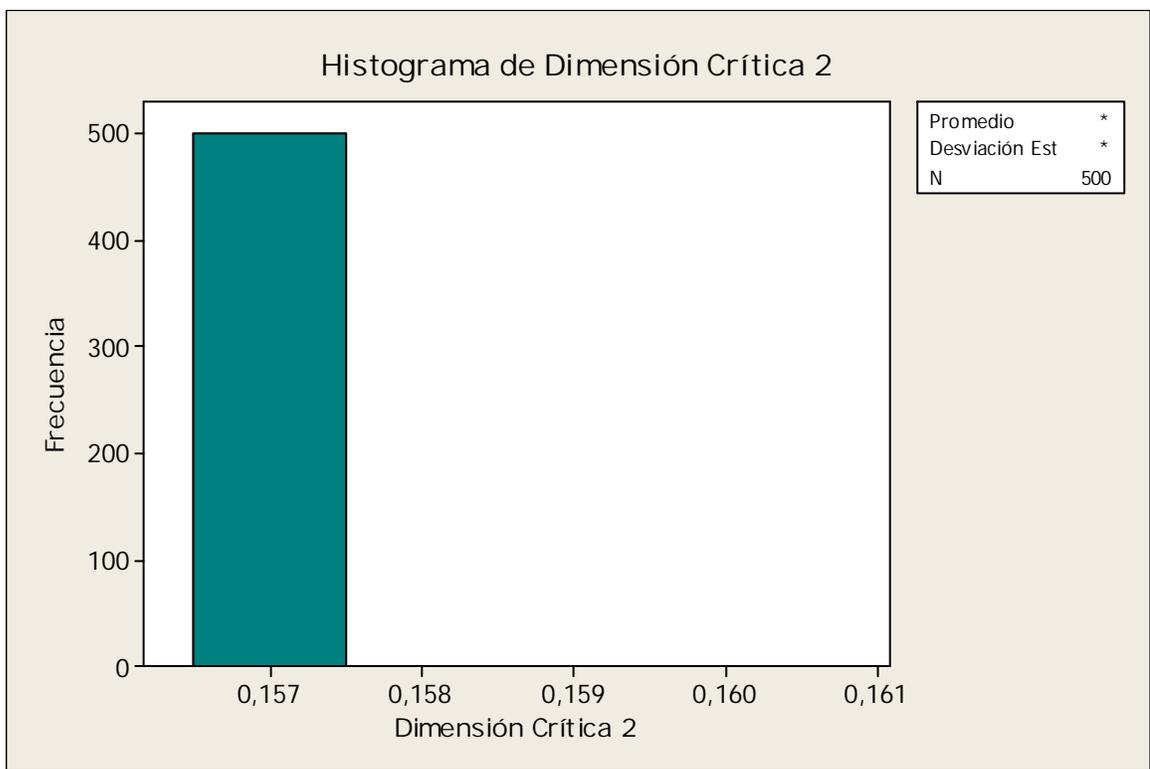
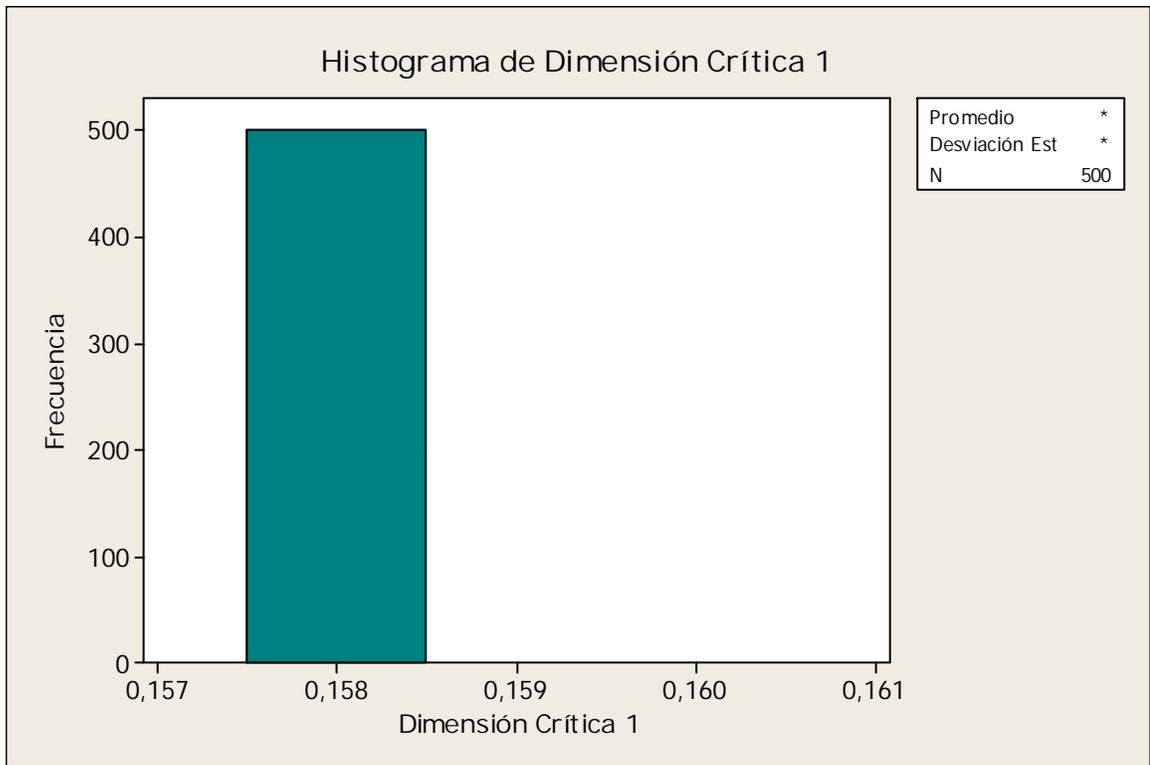
4.7 En esta pantalla seleccione el icono **TAKE OUT CF** y en la pantalla aparece un dialogo que indica que puede extraer el dispositivo de almacenamiento.

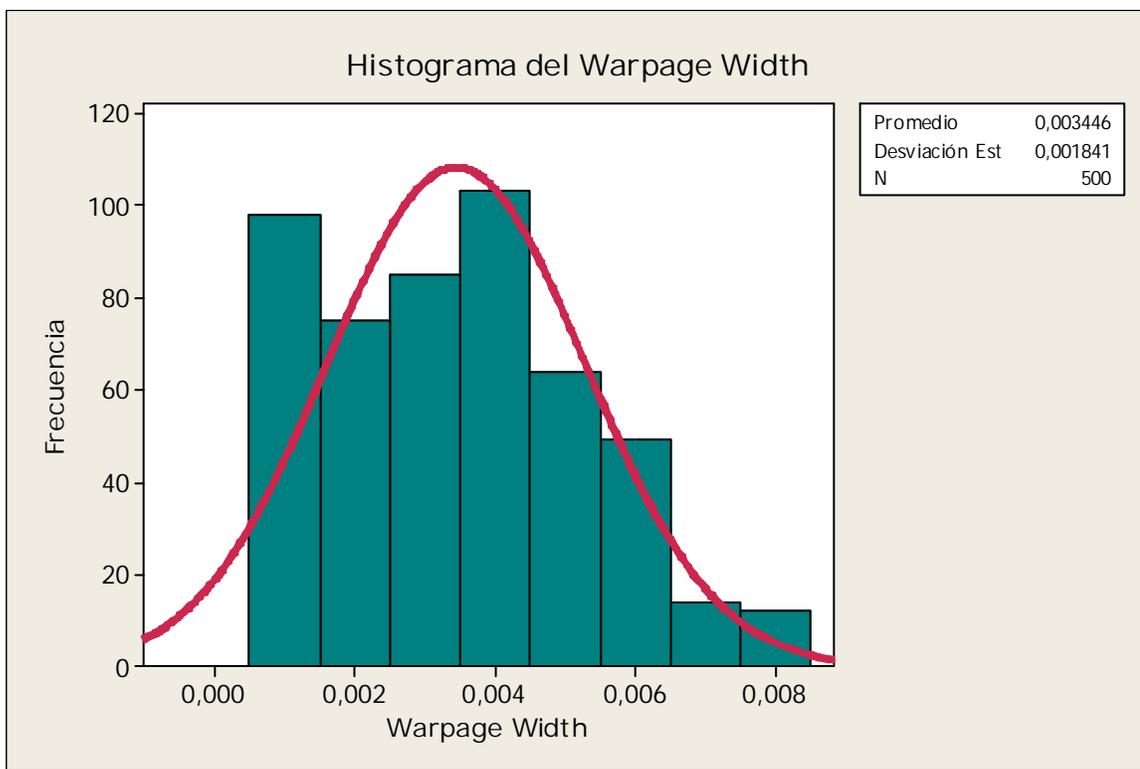
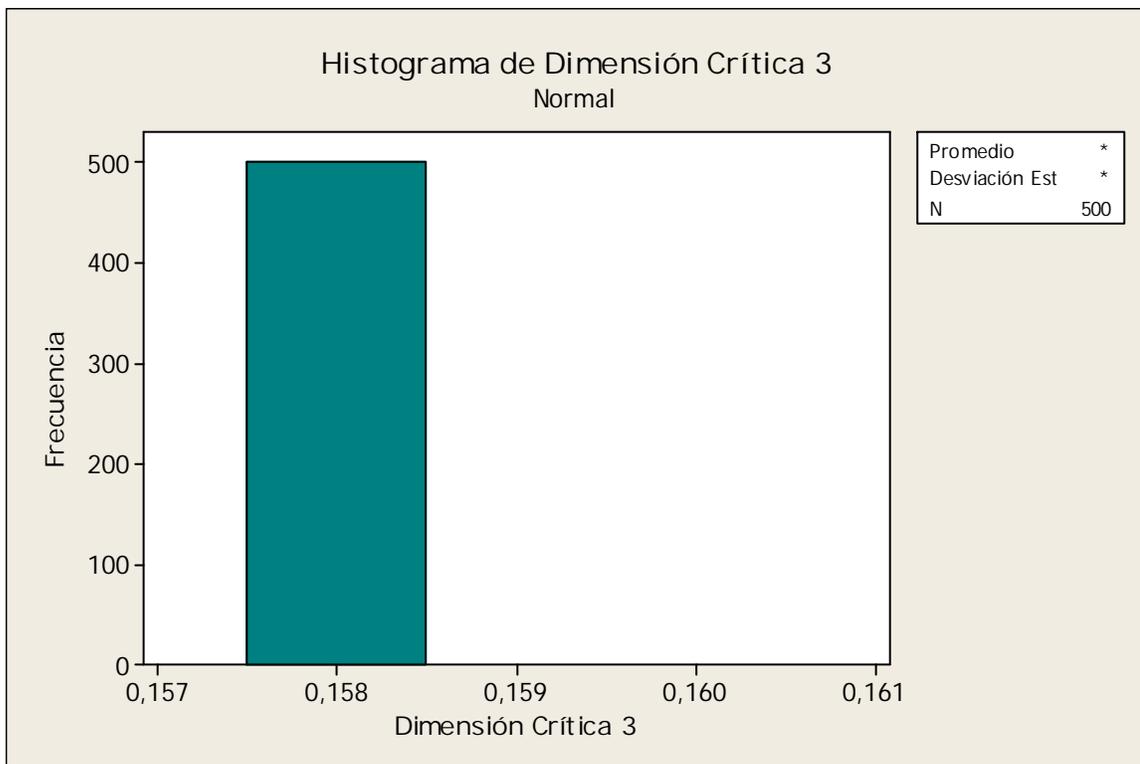
APÉNDICE F.

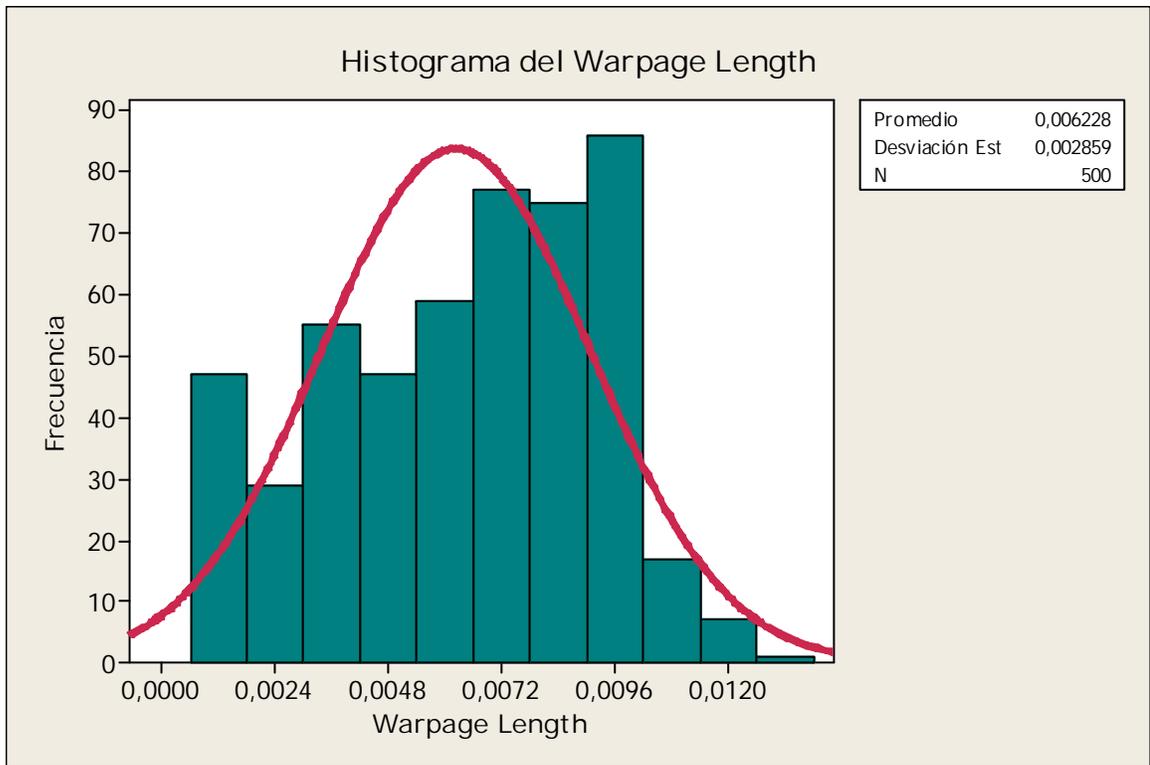
**Datos de las variables del proceso de inyección y dimensiones críticas
obtenidas para el muestreo de 500 unidades de la pieza 30-51536-00H-01.**

APÉNDICE G.

Histogramas del comportamiento de las principales dimensiones críticas de las 500 unidades analizadas de la pieza 30-51536-00H-01.

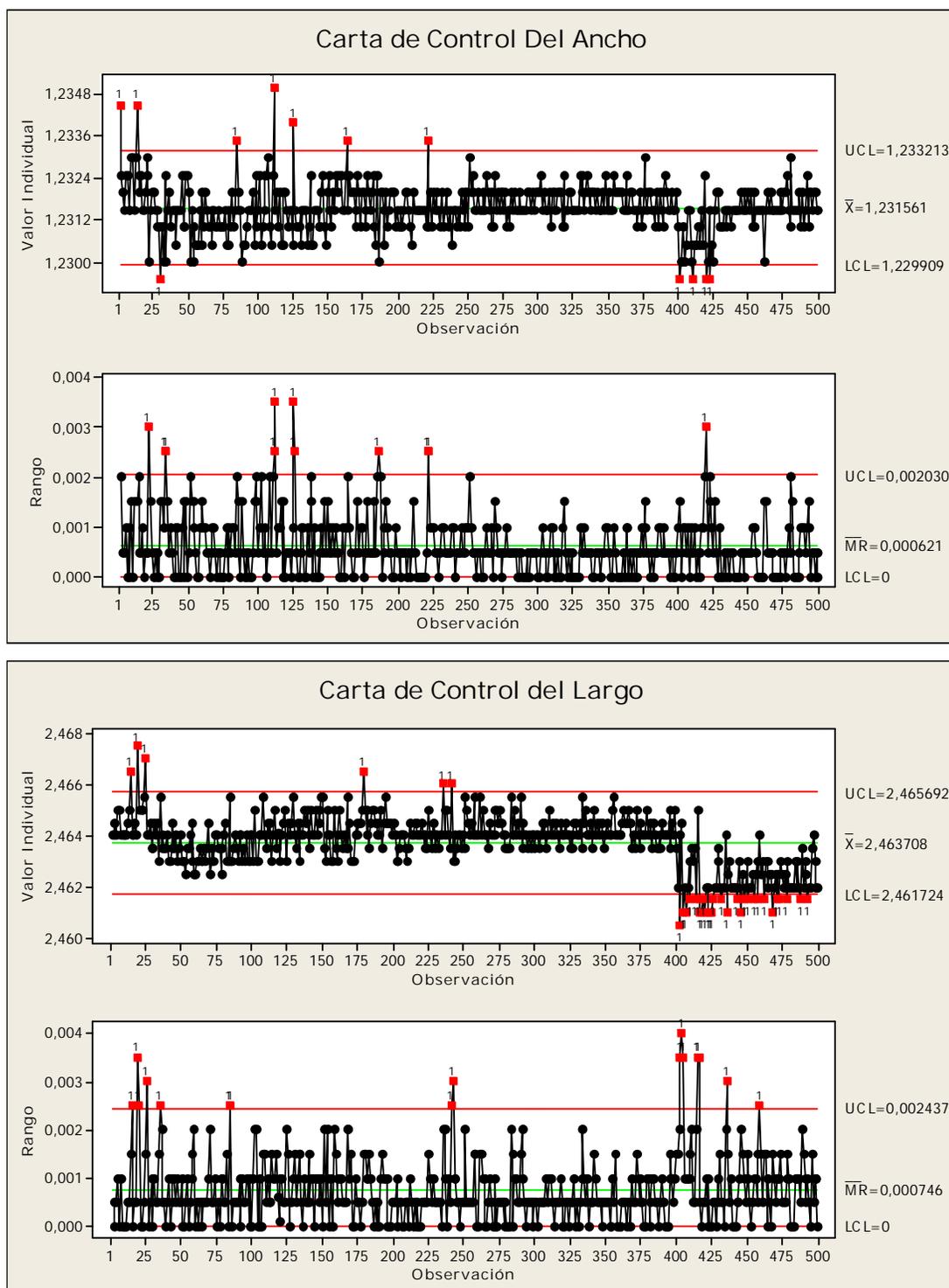


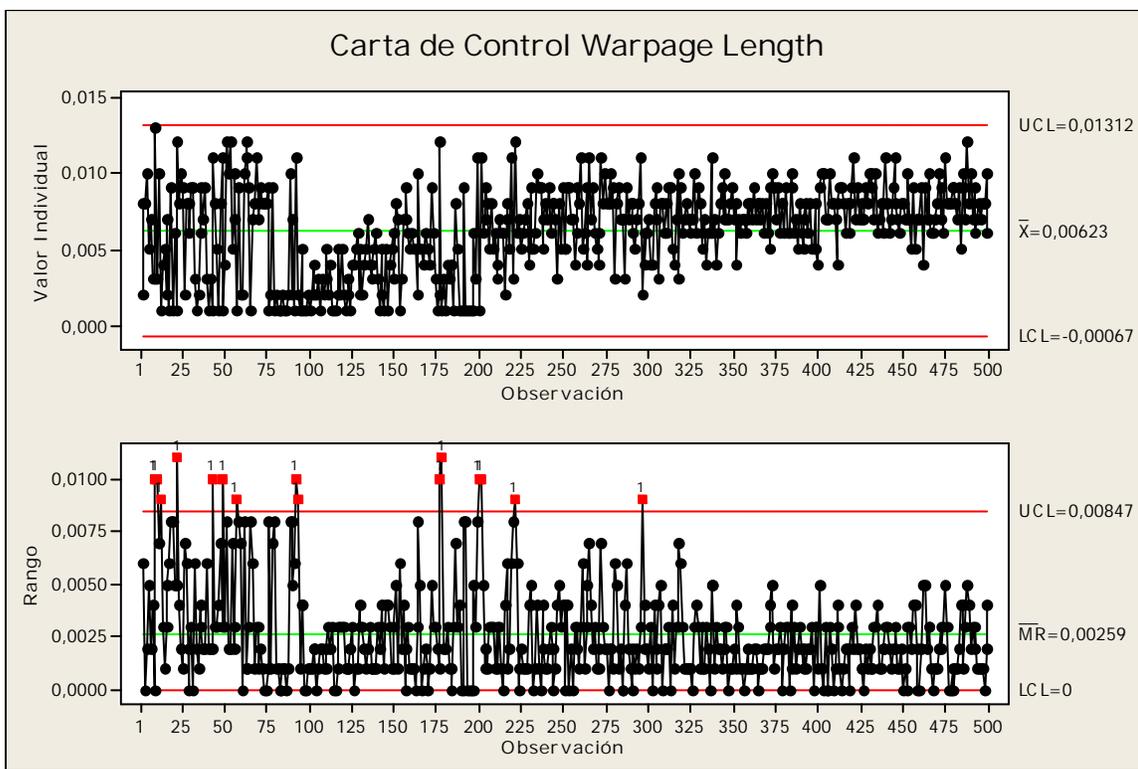
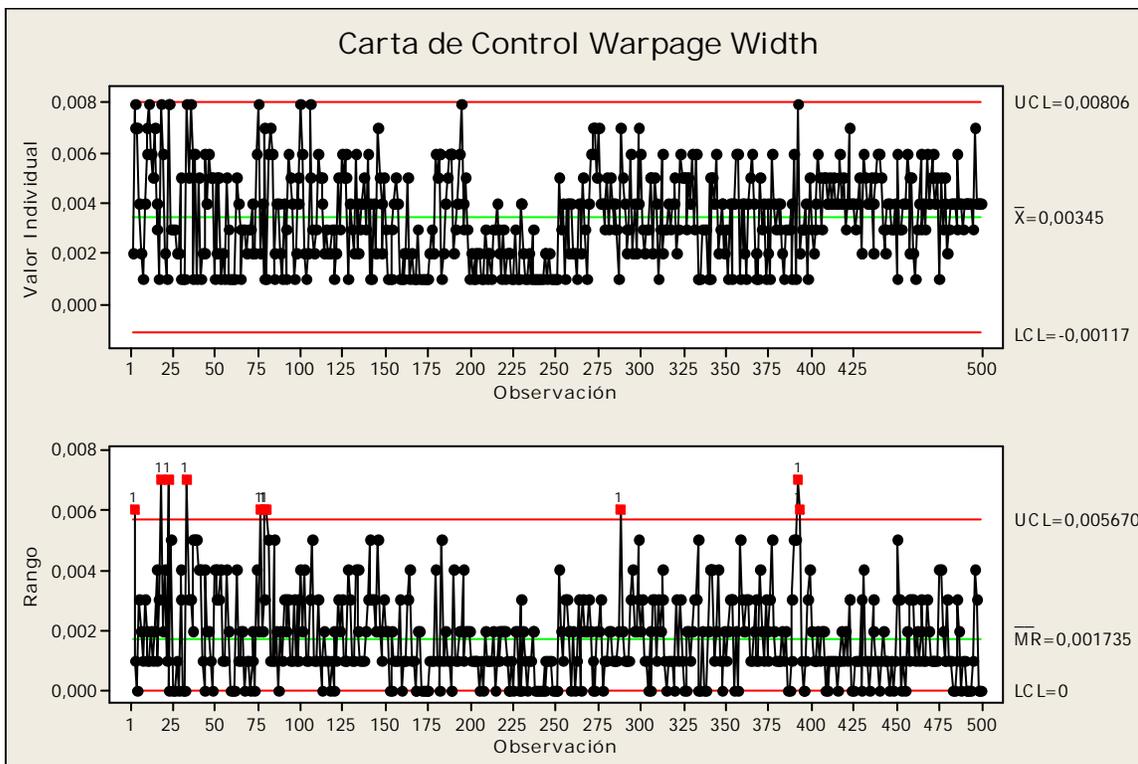




APÉNDICE H.

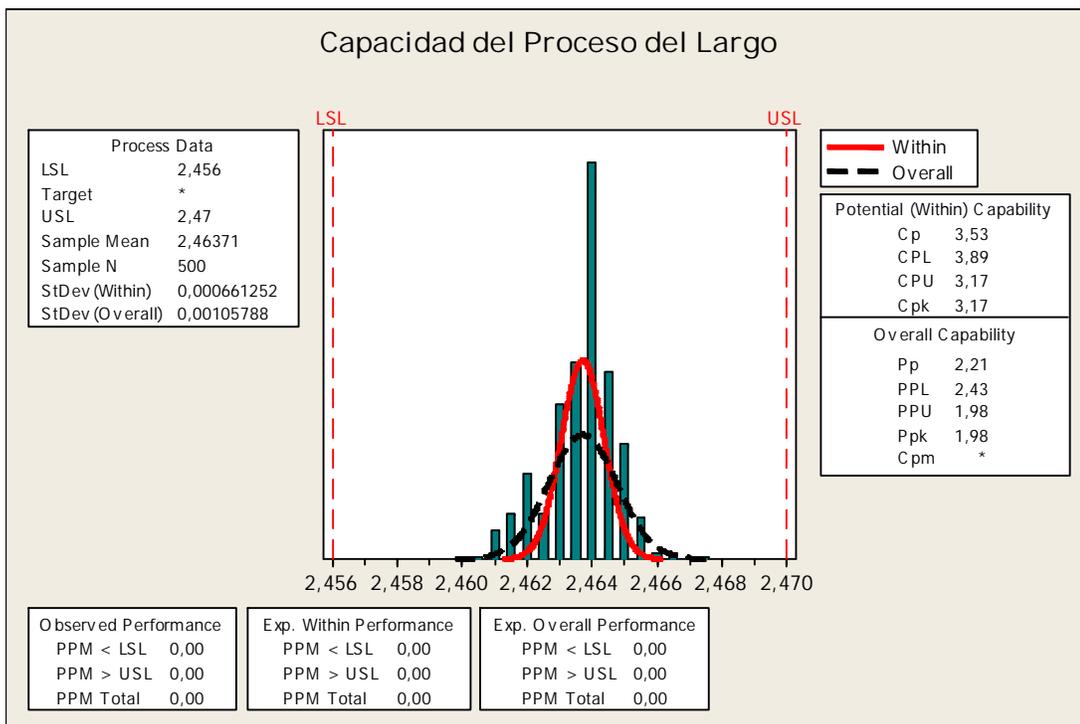
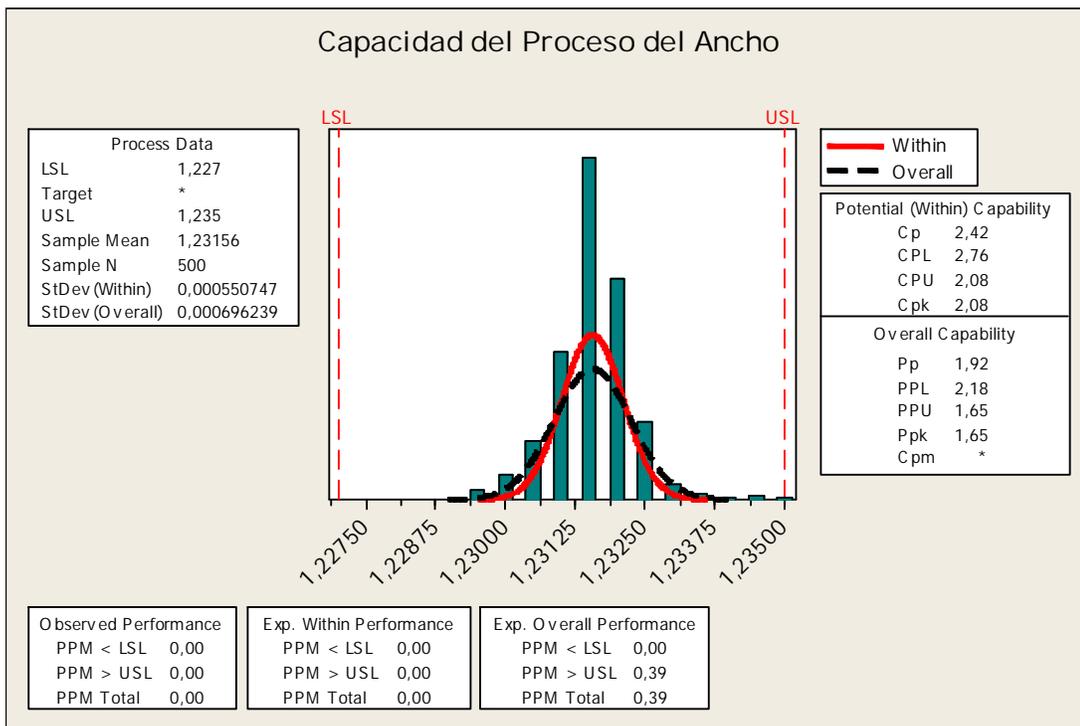
Gráficas de Control del comportamiento de las principales dimensiones críticas de las 500 unidades analizadas de la pieza 30-51536-00H-01.

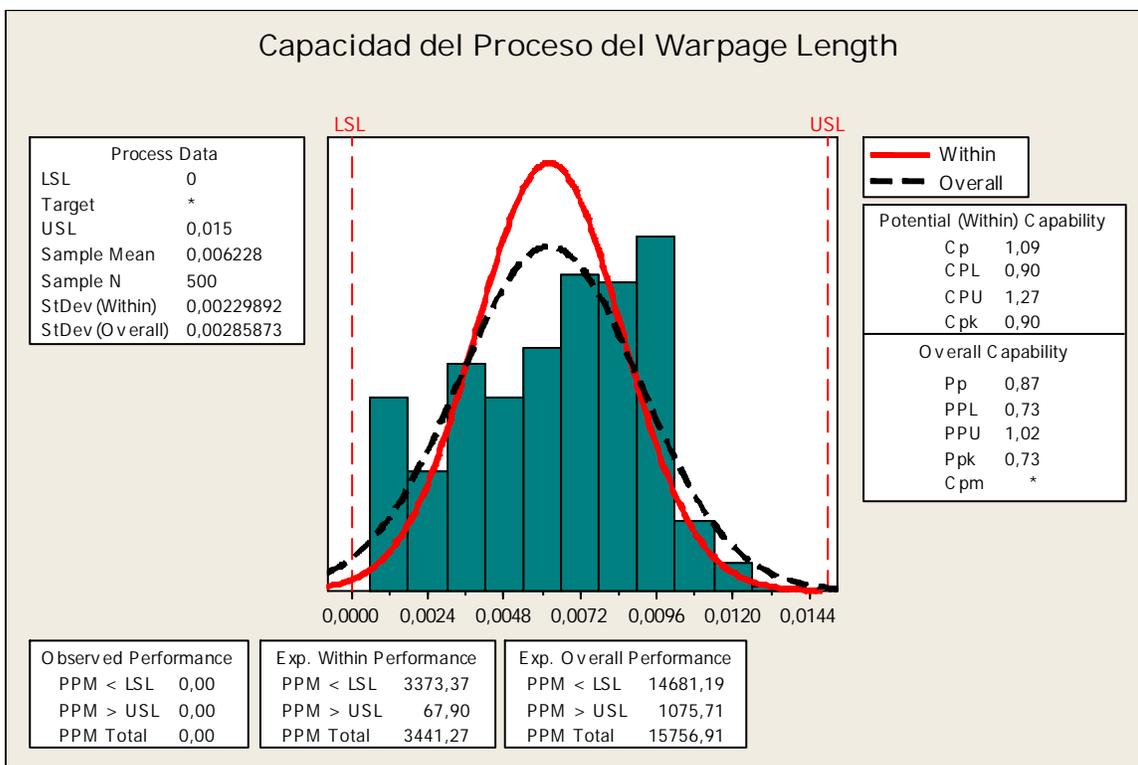
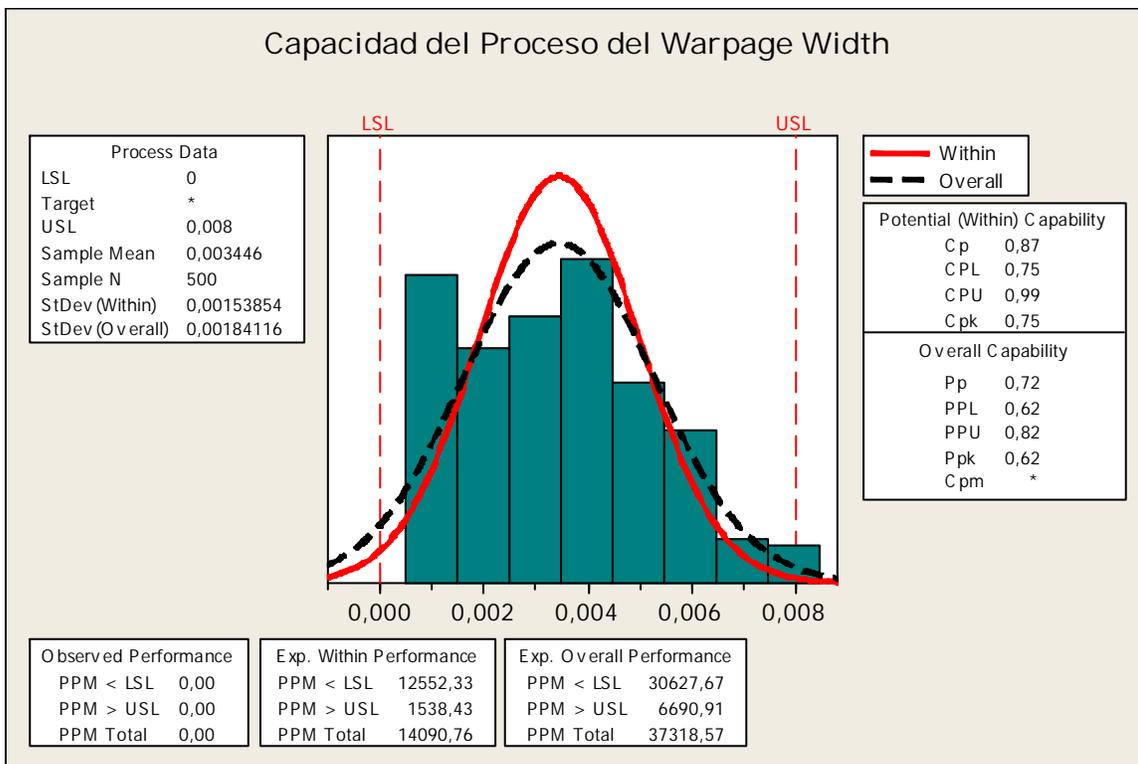




APÉNDICE I.

Análisis de Capacidad del proceso para las principales dimensiones críticas de las 500 unidades analizadas de la pieza 30-51536-00H-01.



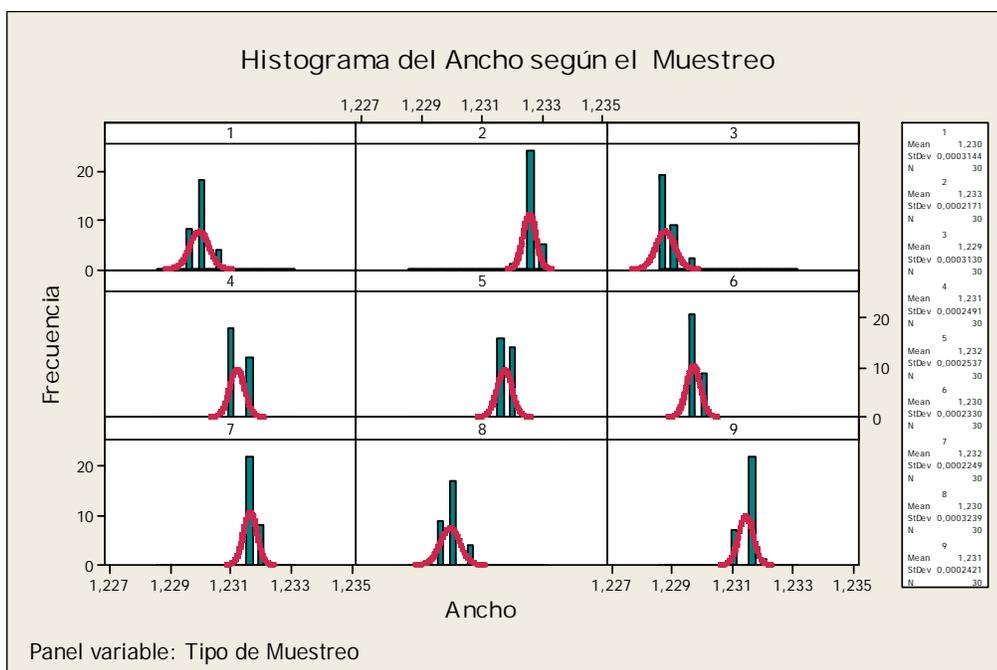
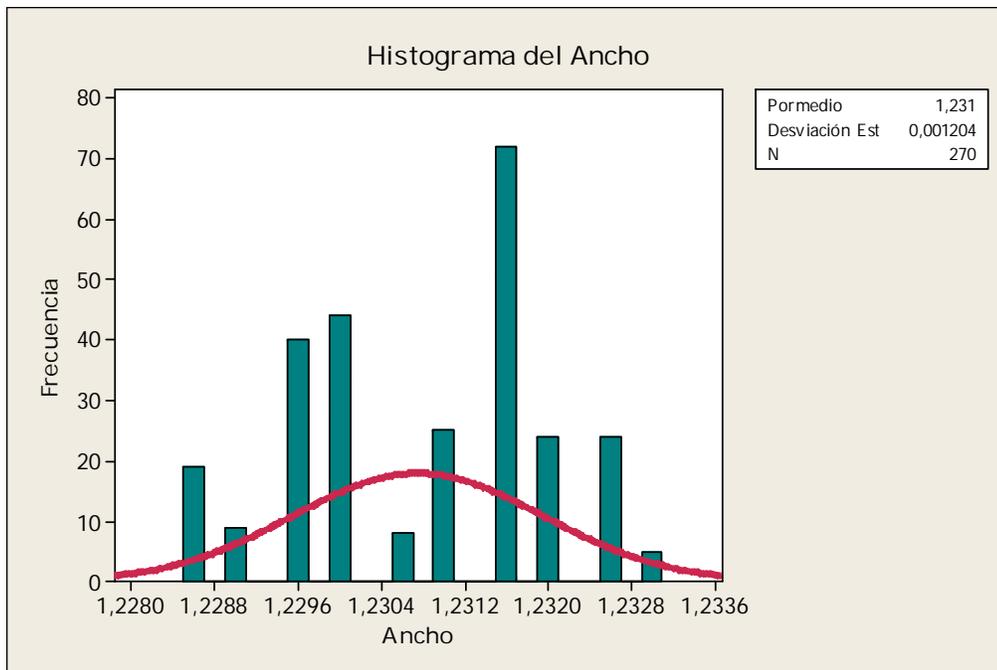


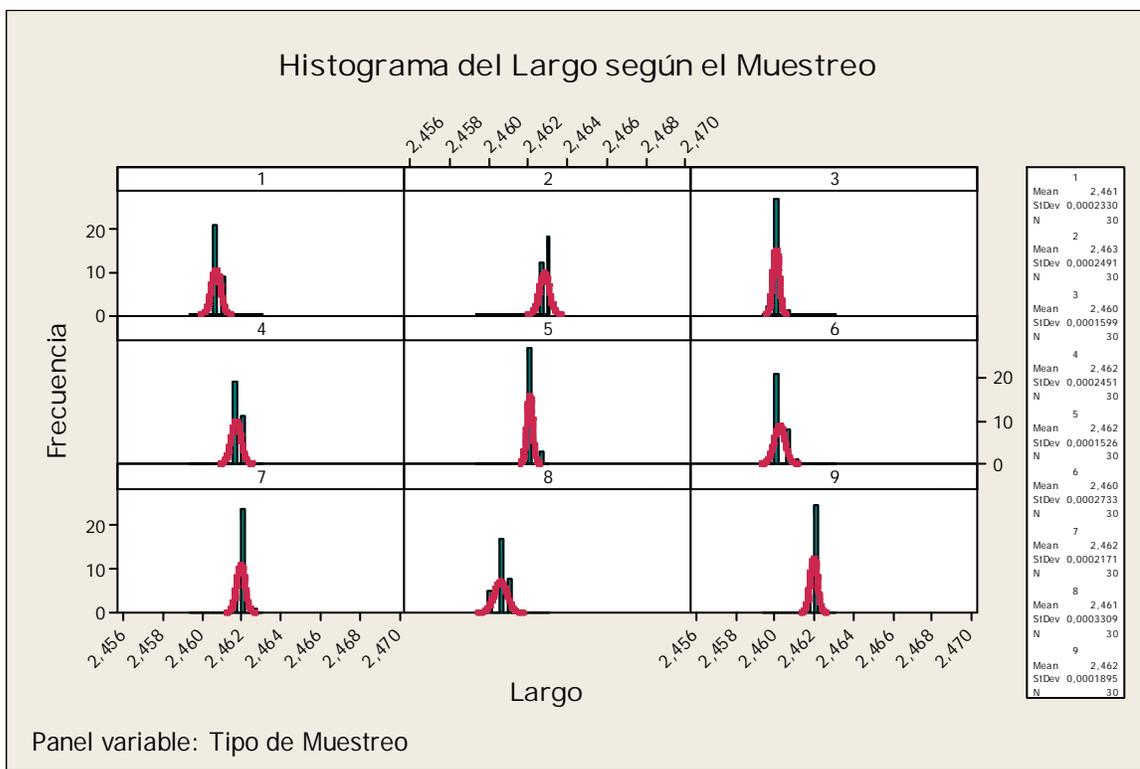
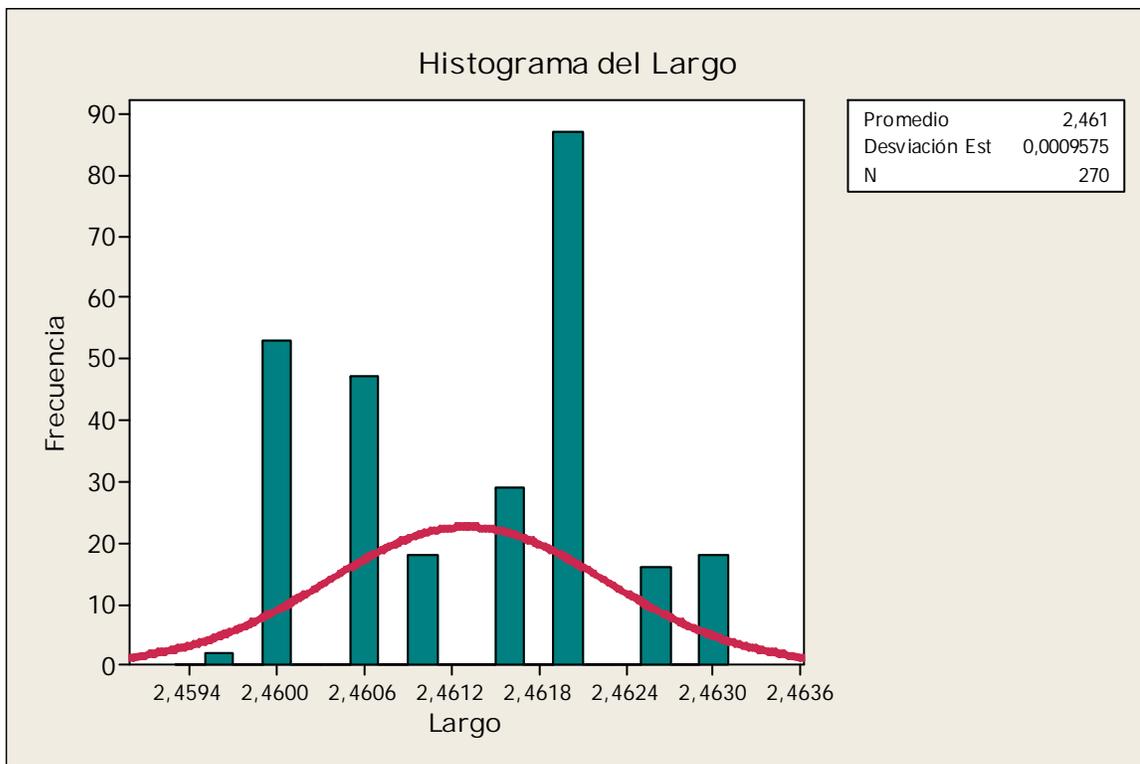
APÉNDICE J.

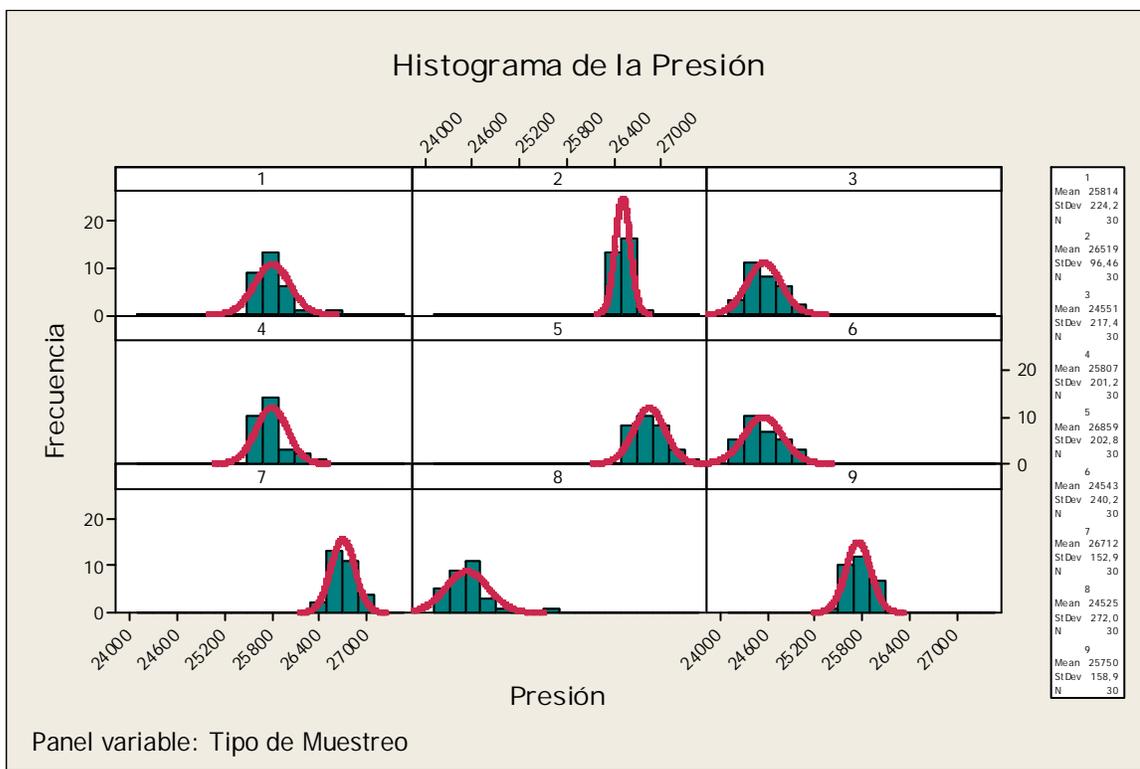
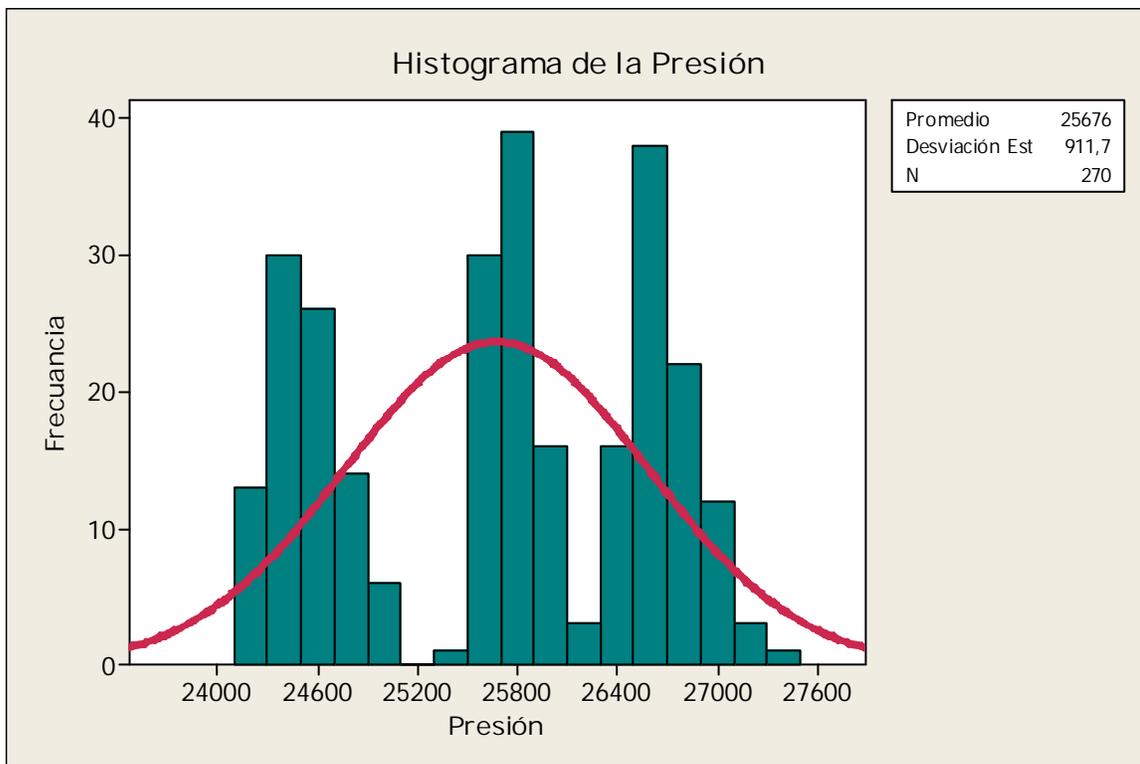
**Datos de las variables del proceso de inyección y dimensiones críticas
obtenidas para la pieza 30-51536-00H-01 en el desarrollo del experimento
para la determinación de correlaciones factoriales.**

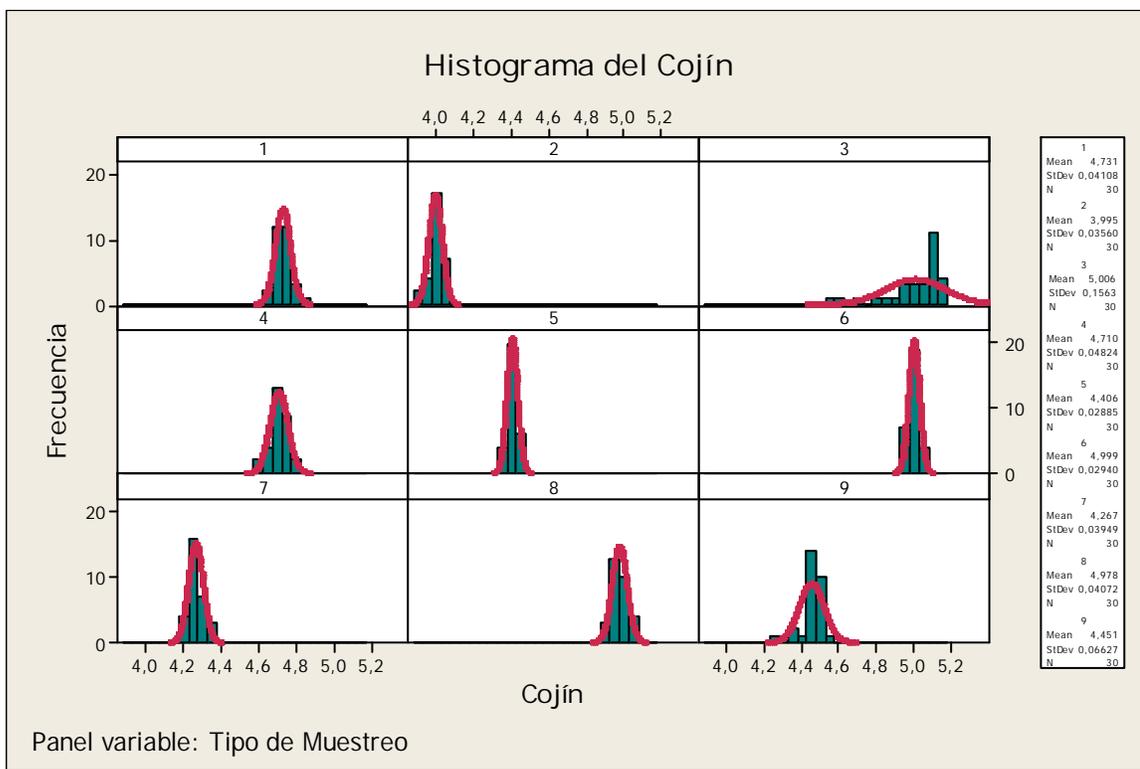
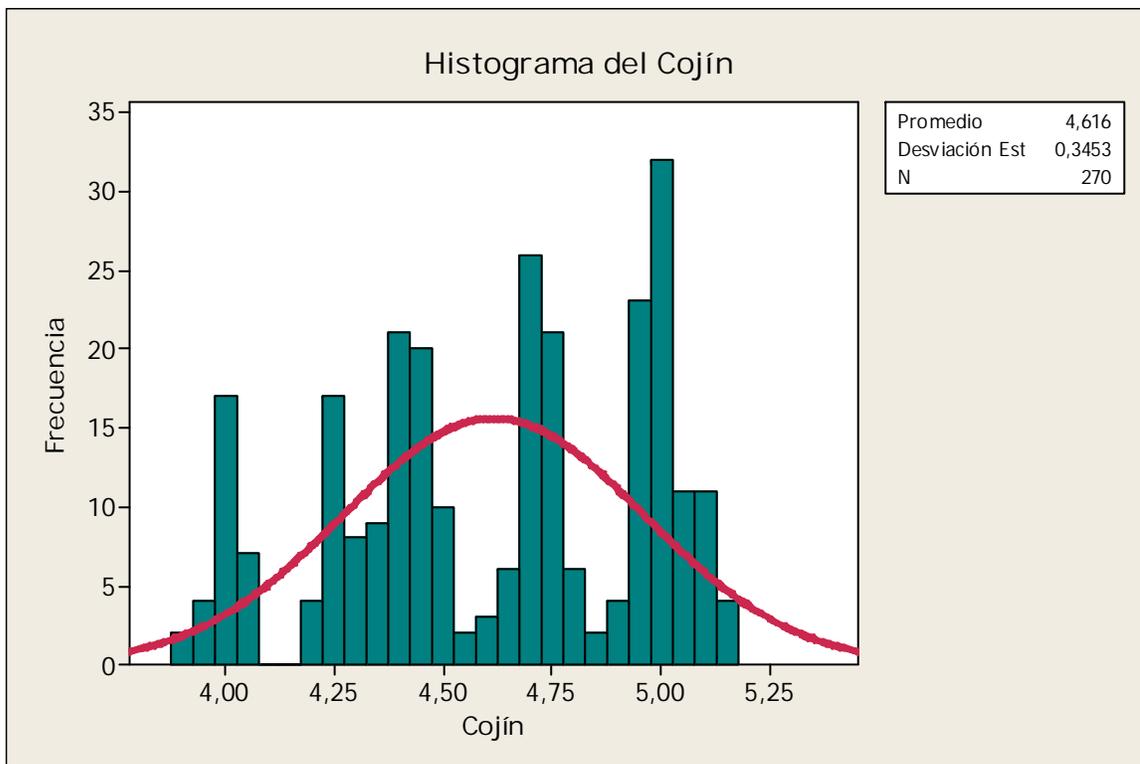
APÉNDICE K.

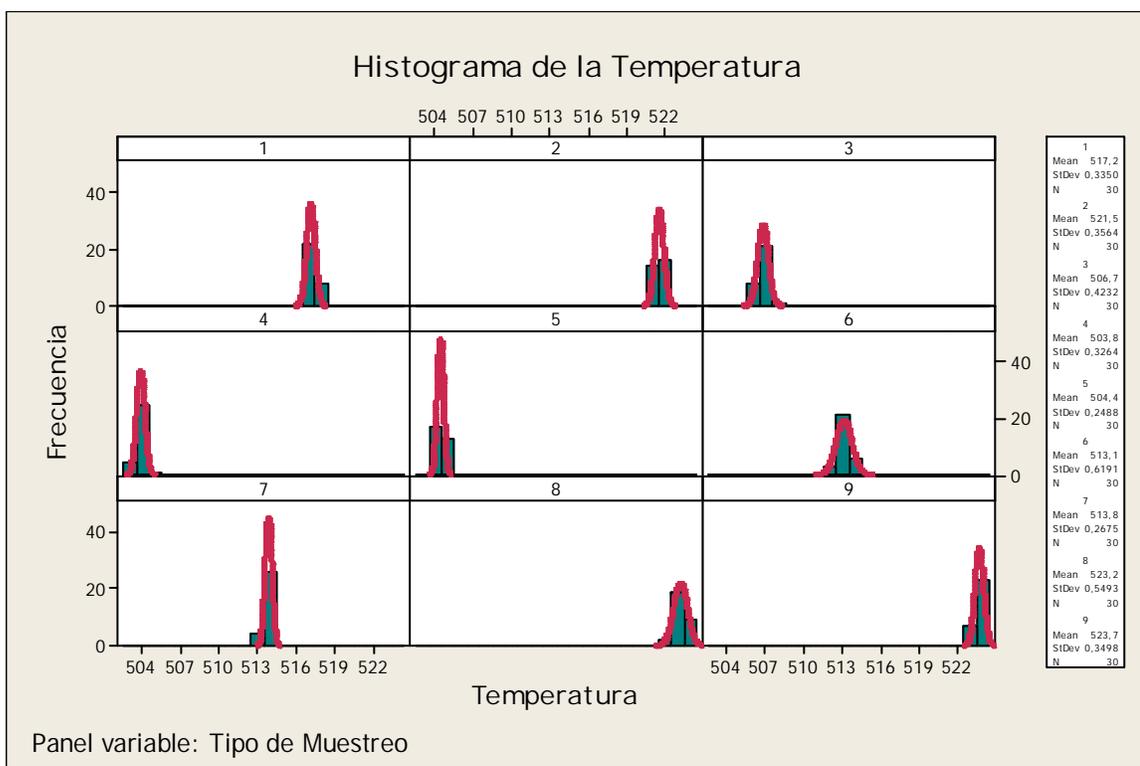
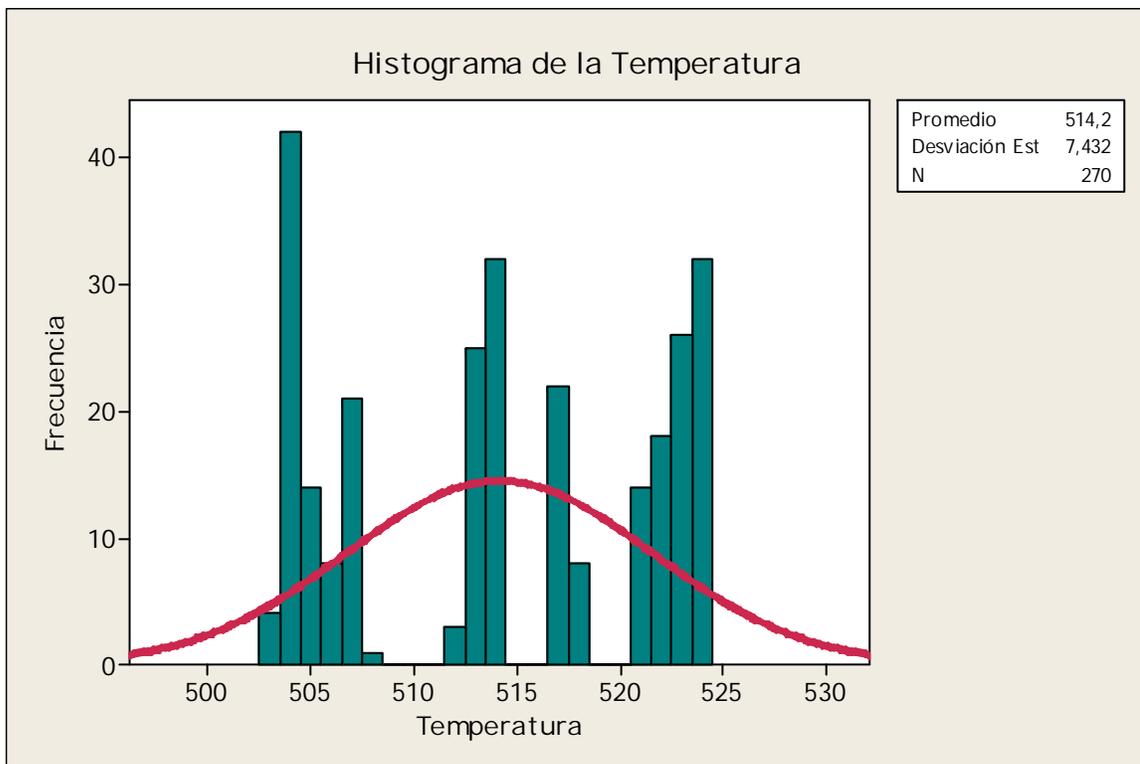
Histogramas del comportamiento de las principales dimensiones críticas de la pieza 30-51536-00H-01 y de las variables del proceso analizadas en el desarrollo del experimento para la determinación de correlaciones factoriales.





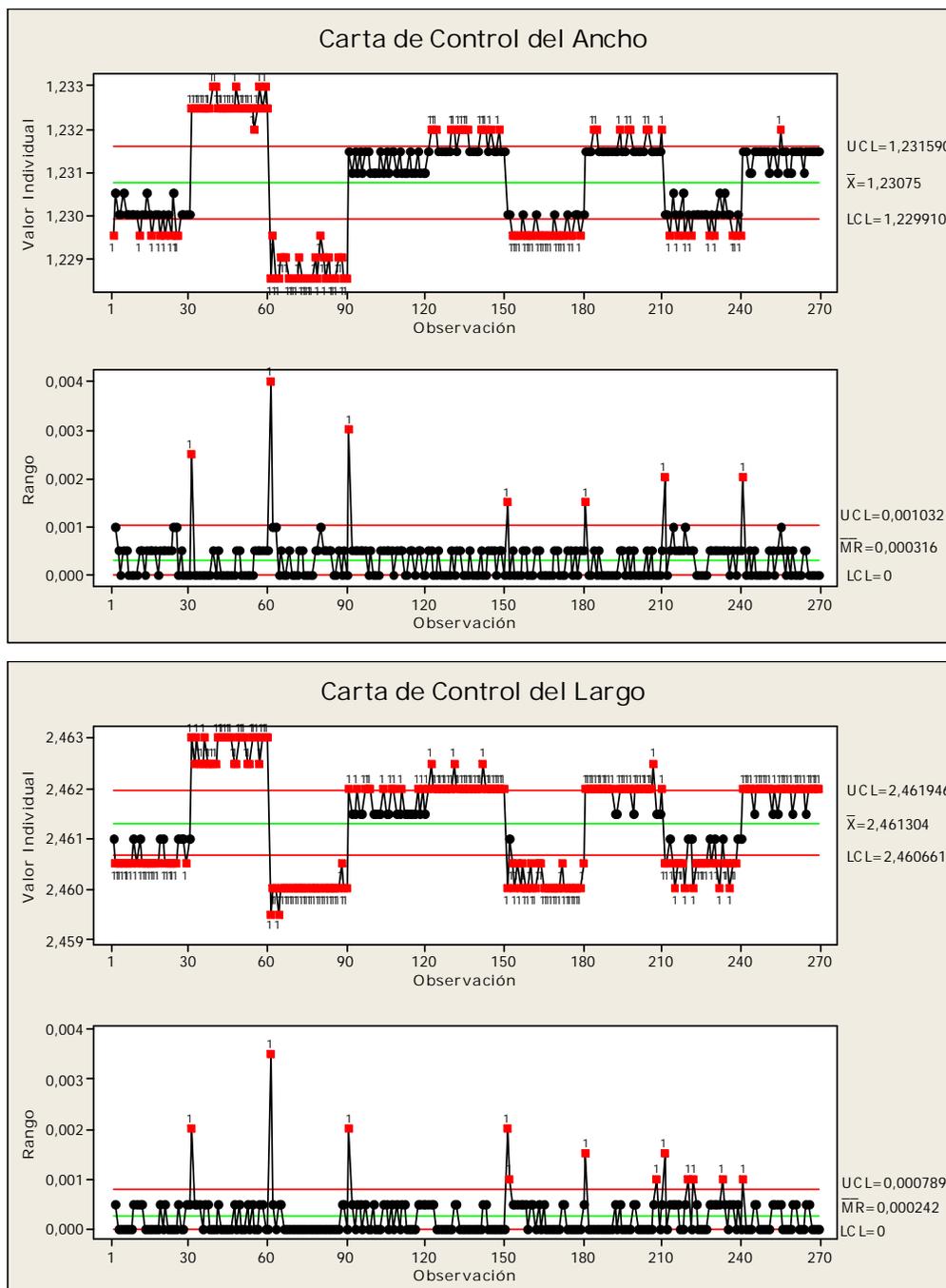


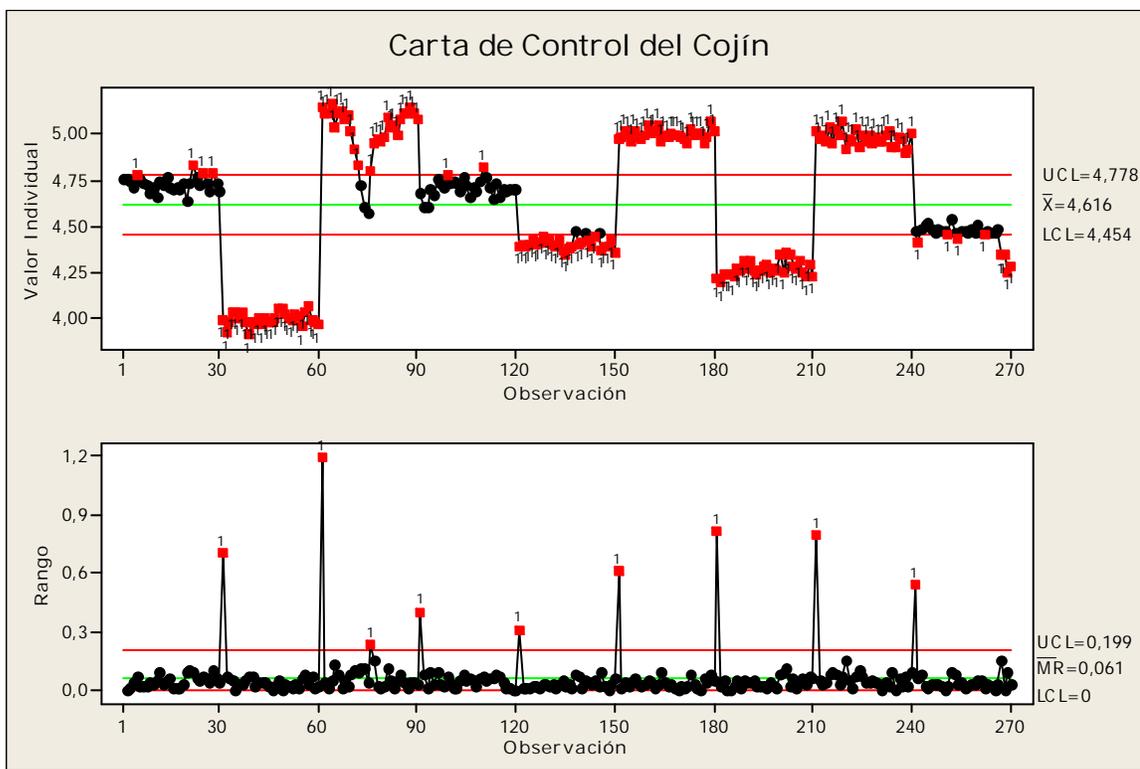
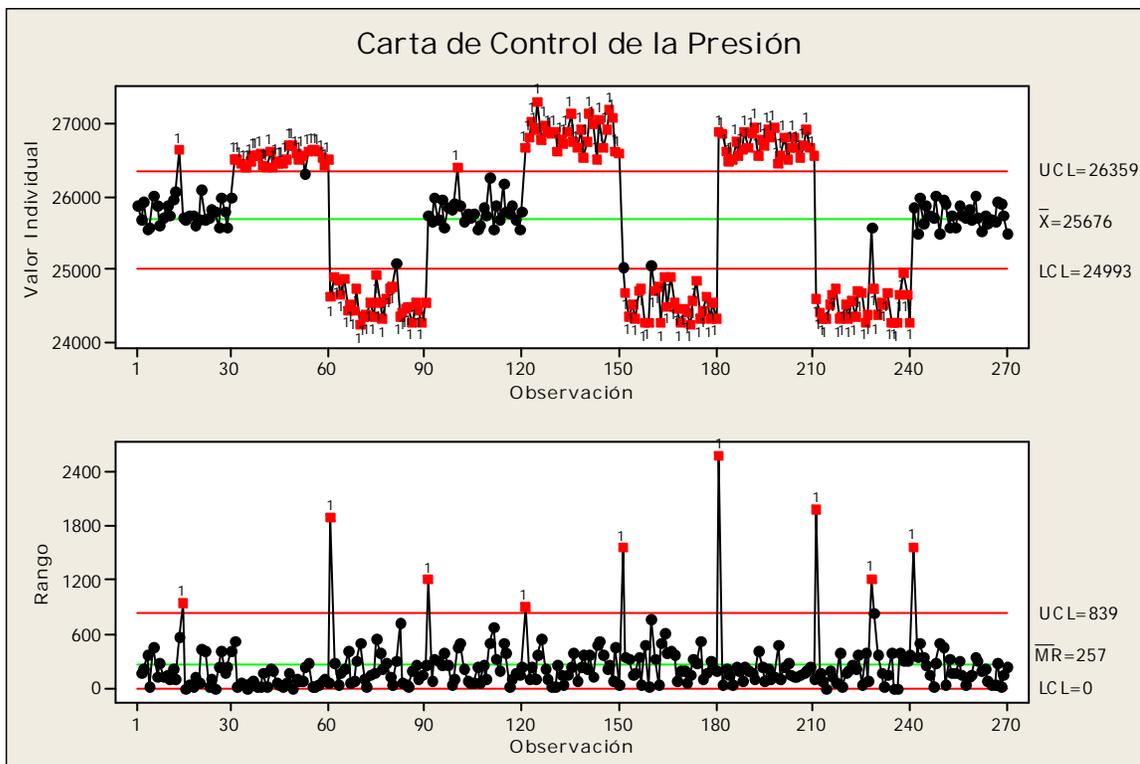


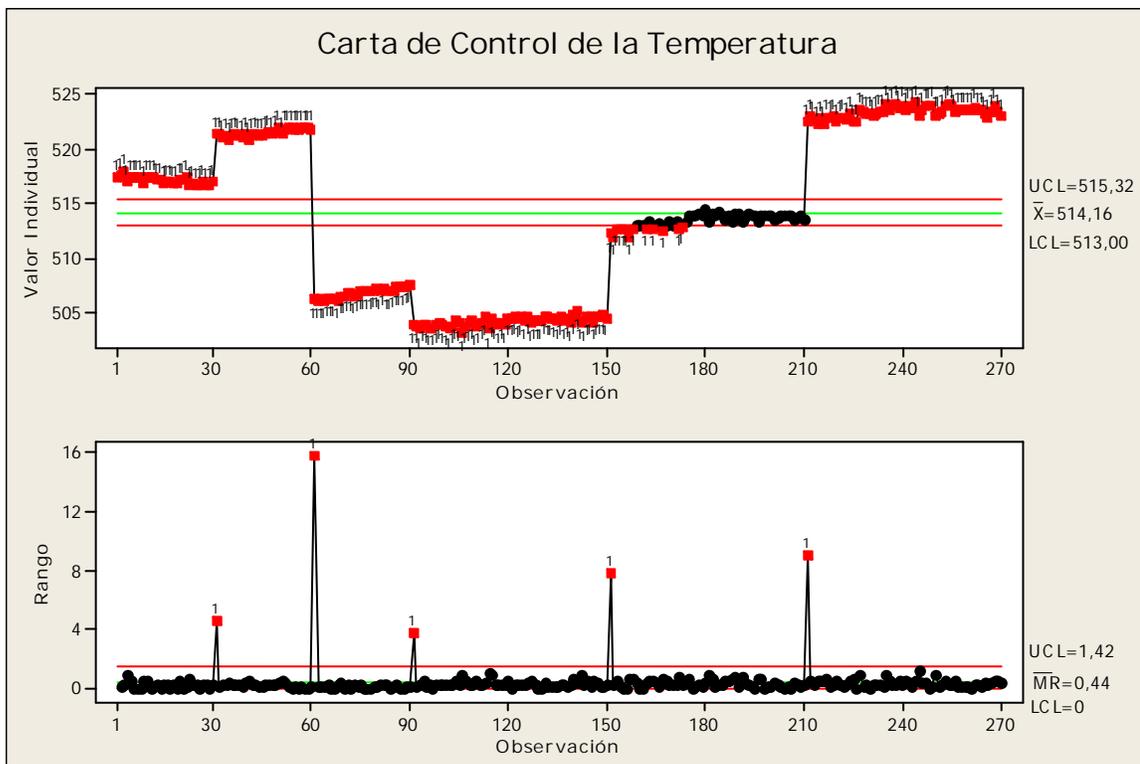


APÉNDICE L.

Gráficas de Control del comportamiento de las principales dimensiones críticas de unidades analizadas de la pieza 30-51536-00H-01 y de las variables del proceso en el desarrollo del experimento para establecer las correlaciones factoriales.

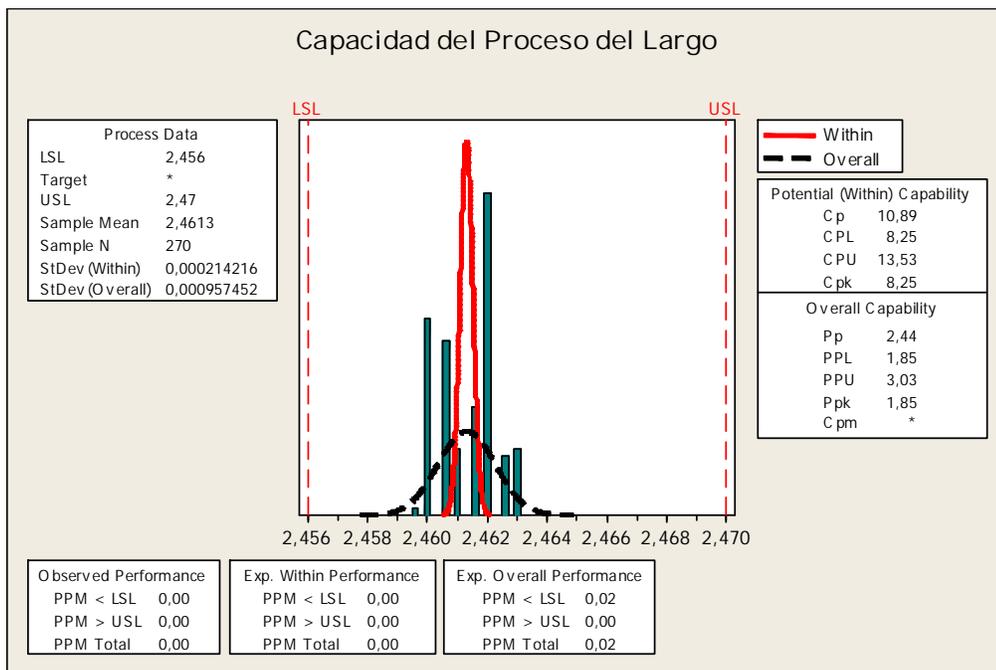
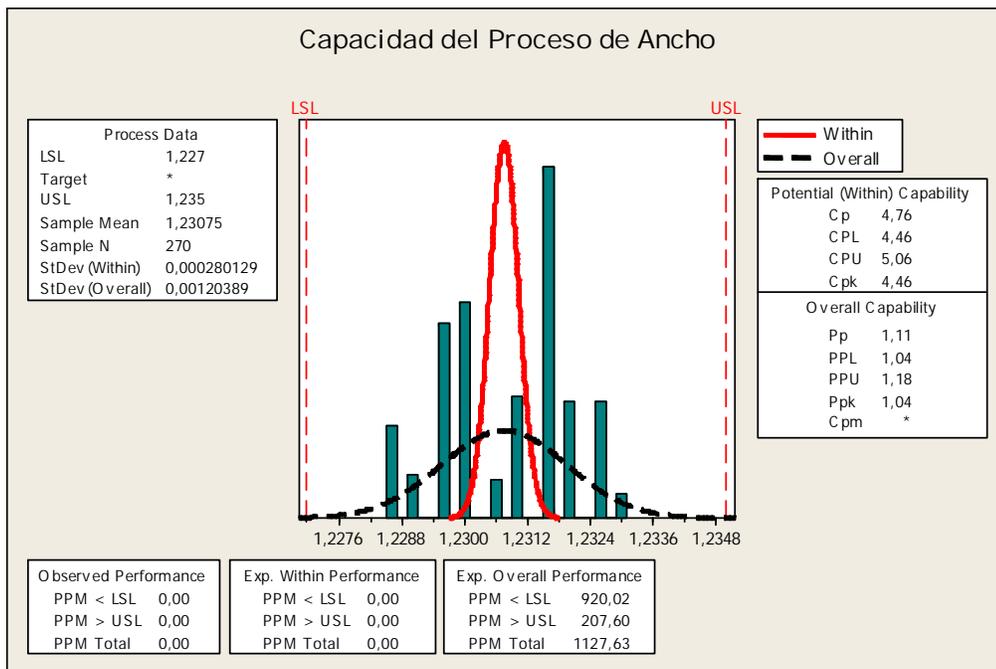


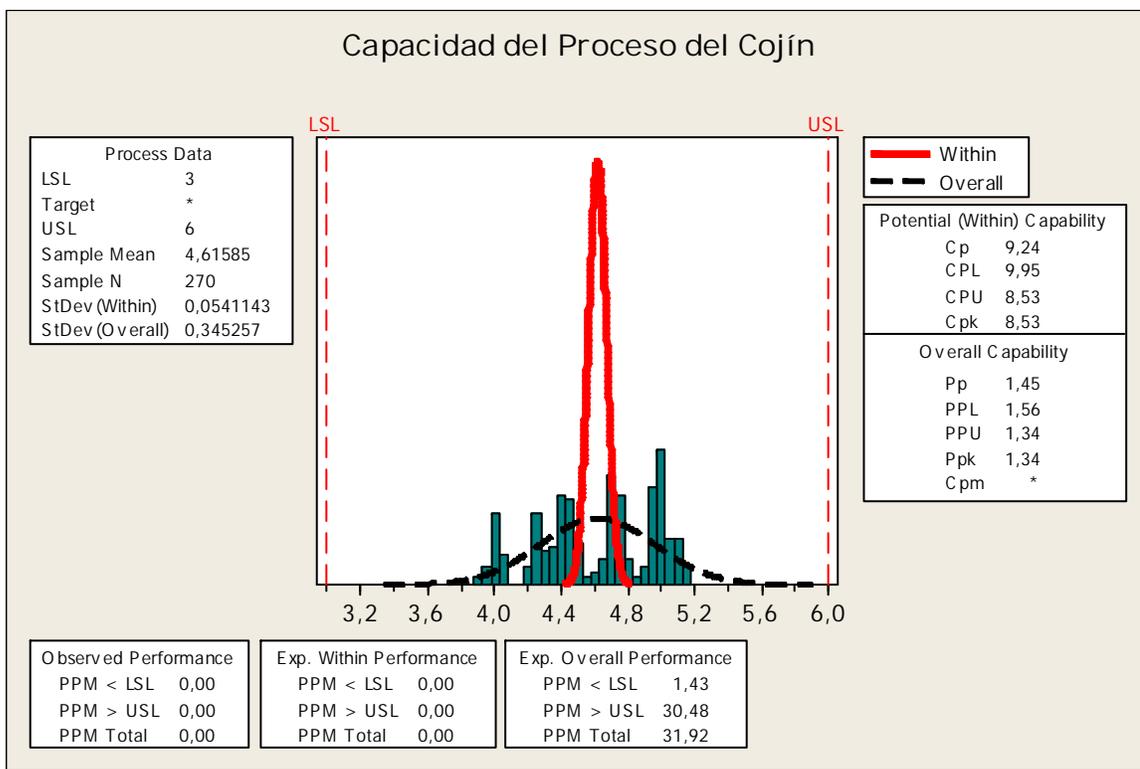
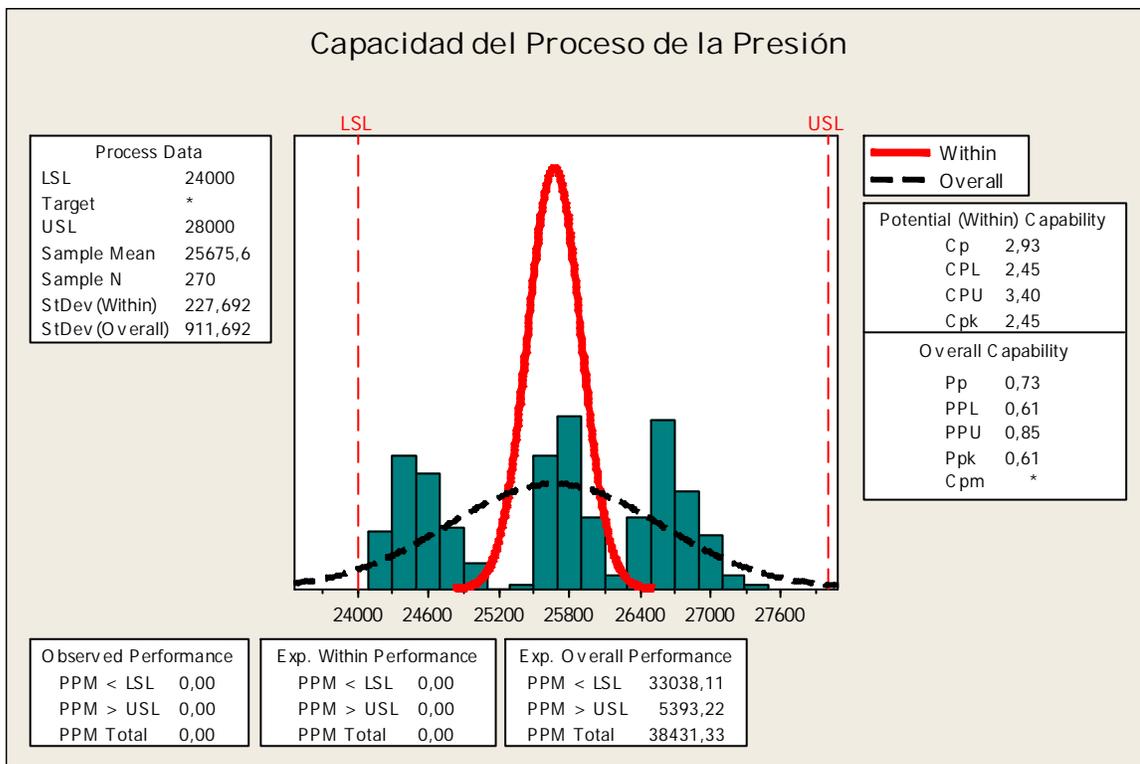




APÉNDICE M.

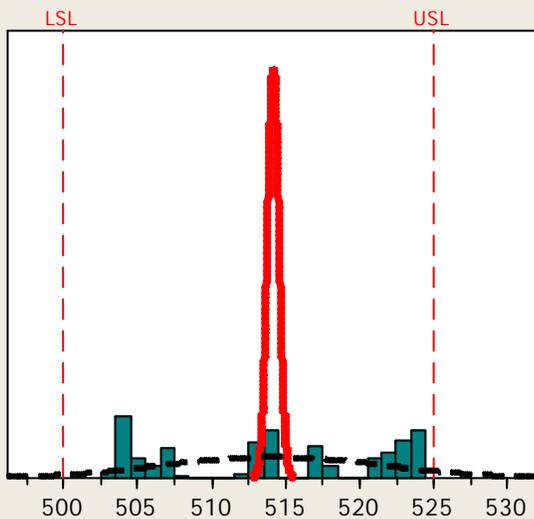
Análisis de Capacidad del proceso para las principales dimensiones críticas de las 500 unidades analizadas de la pieza 30-51536-00H-01.





Capacidad del Proceso de la Temperatura

Process Data	
LSL	500
Target	*
USL	525
Sample Mean	514,164
Sample N	270
StDev (Within)	0,386248
StDev (Overall)	7,43185



Potential (Within) Capability	
Cp	10,79
CPL	12,22
CPU	9,35
Cpk	9,35

Overall Capability	
Pp	0,56
PPL	0,64
PPU	0,49
Ppk	0,49
Cpm	*

Observed Performance	
PPM < LSL	0,00
PPM > USL	0,00
PPM Total	0,00

Exp. Within Performance	
PPM < LSL	0,00
PPM > USL	0,00
PPM Total	0,00

Exp. Overall Performance	
PPM < LSL	28337,39
PPM > USL	72408,12
PPM Total	100745,51

APÉNDICE N.

Regresiones lineales obtenidas y análisis de varianza para los datos recolectados en la realización del experimento para establecer las correlaciones factoriales de la pieza 30-51536-00H-01.

Regression Analysis: Ancho versus Presión. Cojín. Temperatura

The regression equation is

$$\text{Ancho} = 1,23 + 0,000000 \text{ Presión} - 0,00214 \text{ Cojín} + 0,000008 \text{ Temperatura}$$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	1,22585	0,00508	241,46	0,000
Presión	0,00000041	0,00000008	5,06	0,000
Cojín	-0,0021441	0,0002163	-9,91	0,000
Temperatura	0,00000836	0,00000530	1,58	0,116

$$S = 0,000527722 \quad R\text{-Sq} = 81,0\% \quad R\text{-Sq}(\text{adj}) = 80,8\%$$

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	3	0,00031580	0,00010527	377,99	0,000
Residual Error	266	0,00007408	0,00000028		
Total	269	0,00038988			

Regression Analysis: Ancho versus Presión. Cojín. Temperatura

The regression equation is

$$\text{Ancho} = 0,000018 \text{ Presión} + 0,0433 \text{ Cojín} + 0,00113 \text{ Temperatura}$$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Noconstant				
Presión	0,00001759	0,00000057	31,11	0,000
Cojín	0,043250	0,001585	27,29	0,000
Temperatura	0,00112688	0,00003813	29,55	0,000

$$S = 0,00781603$$

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	3	408,97	136,32	2231478,52	0,000
Residual Error	267	0,02	0,00		
Total	270	408,98			

Regression Analysis: Ancho versus Presión. Cojín. T2

The regression equation is

$$\text{Ancho} = 1,23 + 0,000000 \text{ Presión} - 0,00214 \text{ Cojín} + 0,000000 \text{ T2}$$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	1,22784	0,00394	311,42	0,000
Presión	0,00000041	0,00000008	5,09	0,000
Cojín	-0,0021378	0,0002163	-9,88	0,000
T2	0,00000001	0,00000001	1,63	0,105

S = 0,000527562 R-Sq = 81,0% R-Sq(adj) = 80,8%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	3	0,00031584	0,00010528	378,27	0,000
Residual Error	266	0,00007403	0,00000028		
Total	269	0,00038988			

Regression Analysis: Ancho versus Presión. Cojín. T2

The regression equation is

$$\text{Ancho} = 0,000024 \text{ Presión} + 0,0600 \text{ Cojín} + 0,000001 \text{ T2}$$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Noconstant				
Presión	0,00002415	0,00000051	47,56	0,000
Cojín	0,060005	0,001594	37,66	0,000
T2	0,00000126	0,00000006	20,50	0,000

S = 0,0100685

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	3	408,95	136,32	1344690,82	0,000
Residual Error	267	0,03	0,00		
Total	270	408,98			

Regression Analysis: Ancho versus P/T. P/T2. Cojín

The regression equation is

$$\text{Ancho} = 1,23 + 0,000452 \text{ P/T} - 0,131 \text{ P/T}^2 - 0,00221 \text{ Cojín}$$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	1,23114	0,00304	404,79	0,000
P/T	0,0004518	0,0001236	3,66	0,000
P/T ²	-0,13101	0,04414	-2,97	0,003
Cojín	-0,0022139	0,0002189	-10,11	0,000

S = 0,000529699 R-Sq = 80,9% R-Sq(adj) = 80,6%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	3	0,00031524	0,00010508	374,51	0,000
Residual Error	266	0,00007463	0,00000028		
Total	269	0,00038988			

Regression Analysis: Ancho versus P/T. P/T2. Cojín

The regression equation is

$$\text{Ancho} = 0,0470 \text{ P/T} - 15,4 \text{ P/T}^2 + 0,0823 \text{ Cojín}$$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Noconstant				
P/T	0,047025	0,001119	42,04	0,000
P/T ²	-15,4136	0,5669	-27,19	0,000
Cojín	0,082282	0,001636	50,30	0,000

S = 0,0131327

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	3	408,94	136,31	790366,75	0,000
Residual Error	267	0,05	0,00		
Total	270	408,98			

Regression Analysis: Ancho versus P2/T2. P/T. Cojín

The regression equation is

$$\text{Ancho} = 1,32 + 0,000033 \text{ P2/T2} - 0,00318 \text{ P/T} - 0,00288 \text{ Cojín}$$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	1,32149	0,02073	63,75	0,000
P2/T2	0,00003252	0,00000814	4,00	0,000
P/T	-0,0031776	0,0008179	-3,89	0,000
Cojín	-0,0028801	0,0001313	-21,93	0,000

S = 0,000522920 R-Sq = 81,3% R-Sq(adj) = 81,1%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	3	0,00031714	0,00010571	386,60	0,000
Residual Error	266	0,00007274	0,00000027		
Total	269	0,00038988			

Regression Analysis: Ancho versus P2/T2. P/T. Cojín

The regression equation is

$$\text{Ancho} = -0,000485 \text{ P2/T2} + 0,0489 \text{ P/T} - 0,000141 \text{ Cojín}$$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Noconstant				
P2/T2	-0,00048467	0,00000246	-197,15	0,000
P/T	0,0489001	0,0001642	297,85	0,000
Cojín	-0,0001408	0,0004999	-0,28	0,778

S = 0,00210595

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	3	408,98	136,33	30738633,38	0,000
Residual Error	267	0,00	0,00		
Total	270	408,98			

Regression Analysis: Ancho versus P3/T3. P2/T2. P/T. Cojín

The regression equation is

$$\text{Ancho} = 3,76 - 0,000020 \text{ P3/T3} + 0,00297 \text{ P2/T2} - 0,150 \text{ P/T} - 0,00269 \text{ Cojín}$$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	3,7631	0,4795	7,85	0,000
P3/T3	-0,00001959	0,00000384	-5,10	0,000
P2/T2	0,0029725	0,0005769	5,15	0,000
P/T	-0,15004	0,02883	-5,21	0,000
Cojín	-0,0026877	0,0001311	-20,50	0,000

$$S = 0,000499973 \quad R\text{-Sq} = 83,0\% \quad R\text{-Sq(adj)} = 82,8\%$$

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	4	0,000323632	0,000080908	323,67	0,000
Residual Error	265	0,000066243	0,000000250		
Total	269	0,000389875			

Regression Analysis: Ancho versus P3/T3. P2/T2. P/T. Cojín

The regression equation is

$$\text{Ancho} = 0,000011 \text{ P3/T3} - 0,00155 \text{ P2/T2} + 0,0762 \text{ P/T} - 0,00297 \text{ Cojín}$$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Noconstant				
P3/T3	0,00001055	0,00000018	59,93	0,000
P2/T2	-0,00155344	0,00001784	-87,06	0,000
P/T	0,0761770	0,0004572	166,63	0,000
Cojín	-0,0029704	0,0001397	-21,26	0,000

$$S = 0,000554005$$

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	4	408,98	102,25	3,33132E+08	0,000
Residual Error	266	0,00	0,00		
Total	270	408,98			

Regression Analysis: Ancho versus P3/T3. P2/T2. P/T. Presión. Temperatura. Cojín

The regression equation is

$$\text{Ancho} = 2,13 - 0,000014 \text{ P3/T3} + 0,00203 \text{ P2/T2} - 0,0848 \text{ P/T} - 0,000029 \text{ Presión} \\ + 0,00143 \text{ Temperatura} - 0,00285 \text{ Cojín}$$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	2,1301	0,4457	4,78	0,000
P3/T3	-0,00001384	0,00000335	-4,13	0,000
P2/T2	0,0020344	0,0005042	4,03	0,000
P/T	-0,08483	0,02565	-3,31	0,001
Presión	-0,00002859	0,00000317	-9,01	0,000
Temperatura	0,0014265	0,0001556	9,17	0,000
Cojín	-0,0028532	0,0001964	-14,53	0,000

S = 0,000428931 R-Sq = 87,6% R-Sq(adj) = 87,3%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	6	0,000341488	0,000056915	309,35	0,000
Residual Error	263	0,000048387	0,000000184		
Total	269	0,000389875			

Regression Analysis: Ancho versus P3/T3. P2/T2. P/T. Presión. Temperatura. Cojín

The regression equation is

$$\text{Ancho} = 0,000002 \text{ P3/T3} - 0,000324 \text{ P2/T2} + 0,0367 \text{ P/T} - 0,000034 \text{ Presión} \\ + 0,00171 \text{ Temperatura} - 0,00310 \text{ Cojín}$$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
P3/T3	0,00000178	0,00000077	2,29	0,023
P2/T2	-0,0003243	0,0001076	-3,01	0,003
P/T	0,036742	0,003413	10,76	0,000
Presión	-0,00003435	0,00000306	-11,24	0,000
Temperatura	0,0017109	0,0001496	11,44	0,000
Cojín	-0,0030952	0,0001974	-15,68	0,000

S = 0,000446323

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	6	408,982	68,164	3,42179E+08	0,000
Residual Error	264	0,000	0,000		
Total	270	408,982			

Regression Analysis: Largo versus Presión. Cojín. Temperatura

The regression equation is

$$\text{Largo} = 2,47 + 0,000000 \text{ Presión} - 0,00211 \text{ Cojín} - 0,000002 \text{ Temperatura}$$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	2,46725	0,00383	644,05	0,000
Presión	0,00000018	0,00000006	2,99	0,003
Cojín	-0,0021082	0,0001632	-12,92	0,000
Temperatura	-0,00000172	0,00000400	-0,43	0,667

S = 0,000398205 R-Sq = 82,9% R-Sq(adj) = 82,7%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	3	0,000204418	0,000068139	429,72	0,000
Residual Error	266	0,000042179	0,000000159		
Total	269	0,000246596			

Regression Analysis: Largo versus Presión. Cojín. Temperatura

The regression equation is

$$\text{Largo} = 0,000035 \text{ Presión} + 0,0893 \text{ Cojín} + 0,00225 \text{ Temperatura}$$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Noconstant				
Presión	0,00003476	0,00000114	30,61	0,000
Cojín	0,089256	0,003184	28,03	0,000
Temperatura	0,00224951	0,00007660	29,37	0,000

S = 0,0157004

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	3	1635,60	545,20	2211734,48	0,000
Residual Error	267	0,07	0,00		
Total	270	1635,66			

Regression Analysis: Largo versus Presión. Cojín. T2

The regression equation is

$$\text{Largo} = 2,47 + 0,000000 \text{ Presión} - 0,00210 \text{ Cojín} - 0,000000 \text{ T2}$$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	2,46665	0,00298	828,79	0,000
Presión	0,00000018	0,00000006	3,02	0,003
Cojín	-0,0021022	0,0001633	-12,87	0,000
T2	-0,00000000	0,00000000	-0,36	0,716

S = 0,000398244 R-Sq = 82,9% R-Sq(adj) = 82,7%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	3	0,000204409	0,000068136	429,62	0,000
Residual Error	266	0,000042187	0,000000159		
Total	269	0,000246596			

Regression Analysis: Largo versus Presión. Cojín. T2

The regression equation is

$$\text{Largo} = 0,000048 \text{ Presión} + 0,123 \text{ Cojín} + 0,000003 \text{ T2}$$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Noconstant				
Presión	0,00004787	0,00000102	46,98	0,000
Cojín	0,122739	0,003198	38,39	0,000
T2	0,00000252	0,00000012	20,37	0,000

S = 0,0202032

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	3	1635,56	545,19	1335683,96	0,000
Residual Error	267	0,11	0,00		
Total	270	1635,66			

Regression Analysis: Largo versus P/T. P/T2. Cojín

The regression equation is

$$\text{Largo} = 2,47 + 0,000126 \text{ P/T} - 0,0224 \text{ P/T}^2 - 0,00217 \text{ Cojín}$$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	2,46720	0,00229	1079,15	0,000
P/T	0,00012579	0,00009290	1,35	0,177
P/T2	-0,02241	0,03318	-0,68	0,500
Cojín	-0,0021669	0,0001646	-13,17	0,000

S = 0,000398173 R-Sq = 82,9% R-Sq(adj) = 82,7%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	3	0,000204424	0,000068141	429,80	0,000
Residual Error	266	0,000042172	0,000000159		
Total	269	0,000246596			

Regression Analysis: Largo versus P/T. P/T2. Cojín

The regression equation is

$$\text{Largo} = 0,0935 \text{ P/T} - 30,6 \text{ P/T}^2 + 0,167 \text{ Cojín}$$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Noconstant				
P/T	0,093460	0,002240	41,72	0,000
P/T2	-30,649	1,135	-27,00	0,000
Cojín	0,167164	0,003276	51,03	0,000

S = 0,0262995

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	3	1635,48	545,16	788184,02	0,000
Residual Error	267	0,18	0,00		
Total	270	1635,66			

Regression Analysis: Largo versus P2/T2. P/T. Cojín

The regression equation is

$$\text{Largo} = 2,50 + 0,000011 \text{ P2/T2} - 0,00100 \text{ P/T} - 0,00230 \text{ Cojín}$$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	2,49554	0,01571	158,86	0,000
P2/T2	0,00001063	0,00000617	1,72	0,086
P/T	-0,0010047	0,0006198	-1,62	0,106
Cojín	-0,00230264	0,00009954	-23,13	0,000

S = 0,000396304 R-Sq = 83,1% R-Sq(adj) = 82,9%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	3	0,000204819	0,000068273	434,70	0,000
Residual Error	266	0,000041777	0,000000157		
Total	269	0,000246596			

Regression Analysis: Largo versus P2/T2. P/T. Cojín

The regression equation is

$$\text{Largo} = -0,000966 \text{ P2/T2} + 0,0973 \text{ P/T} + 0,00287 \text{ Cojín}$$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Noconstant				
P2/T2	-0,00096604	0,00000452	-213,67	0,000
P/T	0,0973403	0,0003019	322,38	0,000
Cojín	0,0028704	0,0009193	3,12	0,002

S = 0,00387312

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	3	1635,66	545,22	36345503,12	0,000
Residual Error	267	0,00	0,00		
Total	270	1635,66			

Regression Analysis: Largo versus P3/T3. P2/T2. P/T. Cojín

The regression equation is

$$\text{Largo} = 3,80 - 0,000010 \text{ P3/T3} + 0,00158 \text{ P2/T2} - 0,0795 \text{ P/T} - 0,00220 \text{ Cojín}$$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	3,8005	0,3722	10,21	0,000
P3/T3	-0,00001047	0,00000298	-3,51	0,001
P2/T2	0,0015819	0,0004478	3,53	0,000
P/T	-0,07950	0,02238	-3,55	0,000
Cojín	-0,0021998	0,0001018	-21,61	0,000

$$S = 0,000388137 \quad R\text{-Sq} = 83,8\% \quad R\text{-Sq(ajd)} = 83,6\%$$

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	4	0,000206674	0,000051669	342,97	0,000
Residual Error	265	0,000039922	0,000000151		
Total	269	0,000246596			

Regression Analysis: Largo versus P3/T3. P2/T2. P/T. Cojín

The regression equation is

$$\text{Largo} = 0,000020 \text{ P3/T3} - 0,00299 \text{ P2/T2} + 0,149 \text{ P/T} - 0,00249 \text{ Cojín}$$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Noconstant				
P3/T3	0,00001997	0,00000015	137,43	0,000
P2/T2	-0,00298893	0,00001473	-202,92	0,000
P/T	0,148968	0,000377	394,76	0,000
Cojín	-0,0024853	0,0001153	-21,55	0,000

$$S = 0,000457304$$

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	4	1635,66	408,92	1,95535E+09	0,000
Residual Error	266	0,00	0,00		
Total	270	1635,66			

Regression Analysis: Largo versus P3/T3. P2/T2. P/T. Presión. Temperatura. Cojín.

The regression equation is

$$\text{Largo} = 2,44 - 0,000006 \text{ P3/T3} + 0,000823 \text{ P2/T2} - 0,0257 \text{ P/T} - 0,000025 \text{ Presión} \\ + 0,00123 \text{ Temperatura} - 0,00269 \text{ Cojín}$$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	2,4384	0,3409	7,15	0,000
P3/T3	-0,00000584	0,00000256	-2,28	0,023
P2/T2	0,0008232	0,0003857	2,13	0,034
P/T	-0,02565	0,01962	-1,31	0,192
Presión	-0,00002501	0,00000243	-10,30	0,000
Temperatura	0,0012314	0,0001190	10,35	0,000
Cojín	-0,0026899	0,0001502	-17,91	0,000

S = 0,000328111 R-Sq = 88,5% R-Sq(adj) = 88,3%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	6	0,000218283	0,000036380	337,93	0,000
Residual Error	263	0,000028314	0,00000108		
Total	269	0,000246596			

Regression Analysis: Largo versus P3/T3. P2/T2. P/T. Presión. Temperatura. Cojín.

The regression equation is

$$\text{Largo} = 0,000012 \text{ P3/T3} - 0,00188 \text{ P2/T2} + 0,114 \text{ P/T} - 0,000032 \text{ Presión} \\ + 0,00156 \text{ Temperatura} - 0,00297 \text{ Cojín}$$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
P3/T3	0,00001203	0,00000062	19,36	0,000
P2/T2	-0,00187686	0,00008627	-21,75	0,000
P/T	0,113510	0,002737	41,47	0,000
Presión	-0,00003161	0,00000245	-12,90	0,000
Temperatura	0,0015569	0,0001200	12,98	0,000
Cojín	-0,0029669	0,0001583	-18,74	0,000

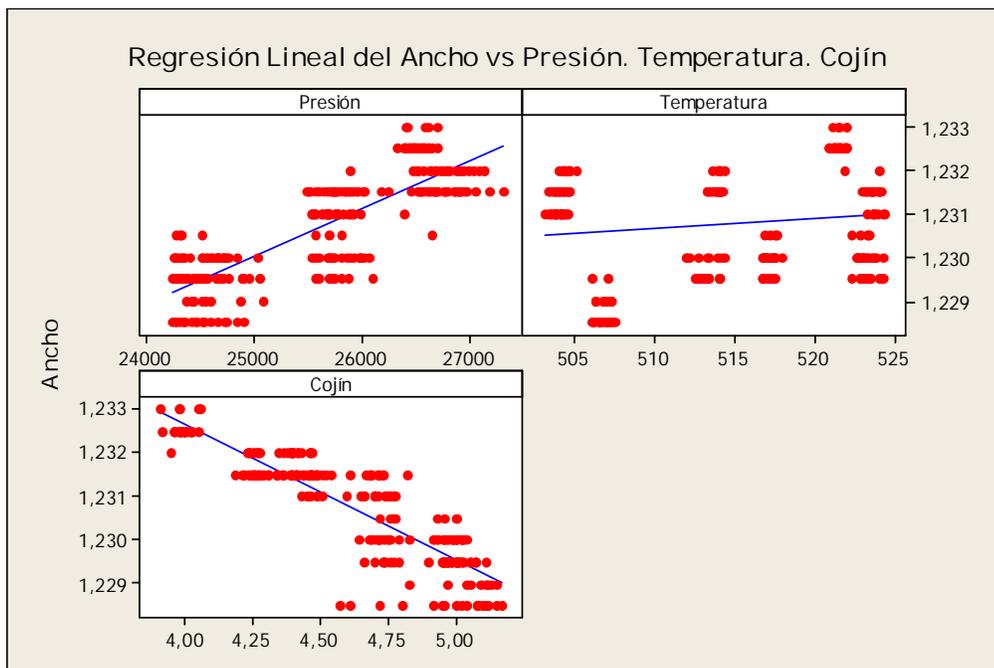
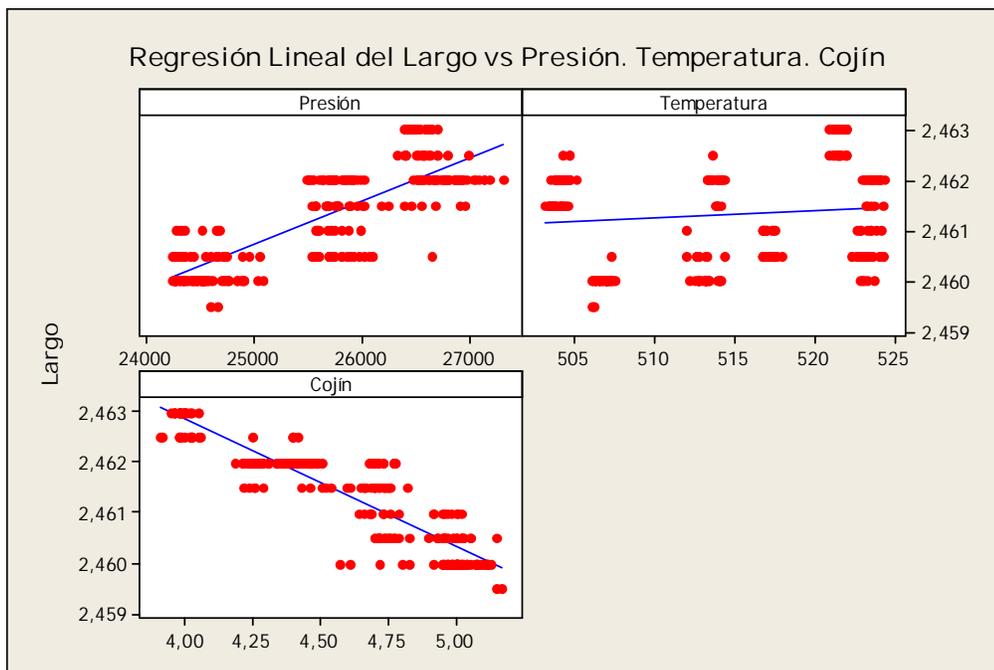
S = 0,000357926

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	6	1635,66	272,61	2,12793E+09	0,000
Residual Error	264	0,00	0,00		
Total	270	1635,66			

APÉNDICE O.

Gráficos de regresión lineal de las principales dimensiones críticas de las piezas 30-51536-00H-01 analizadas en el desarrollo del experimento para el establecimiento de correlaciones factoriales.



APÉNDICE P.

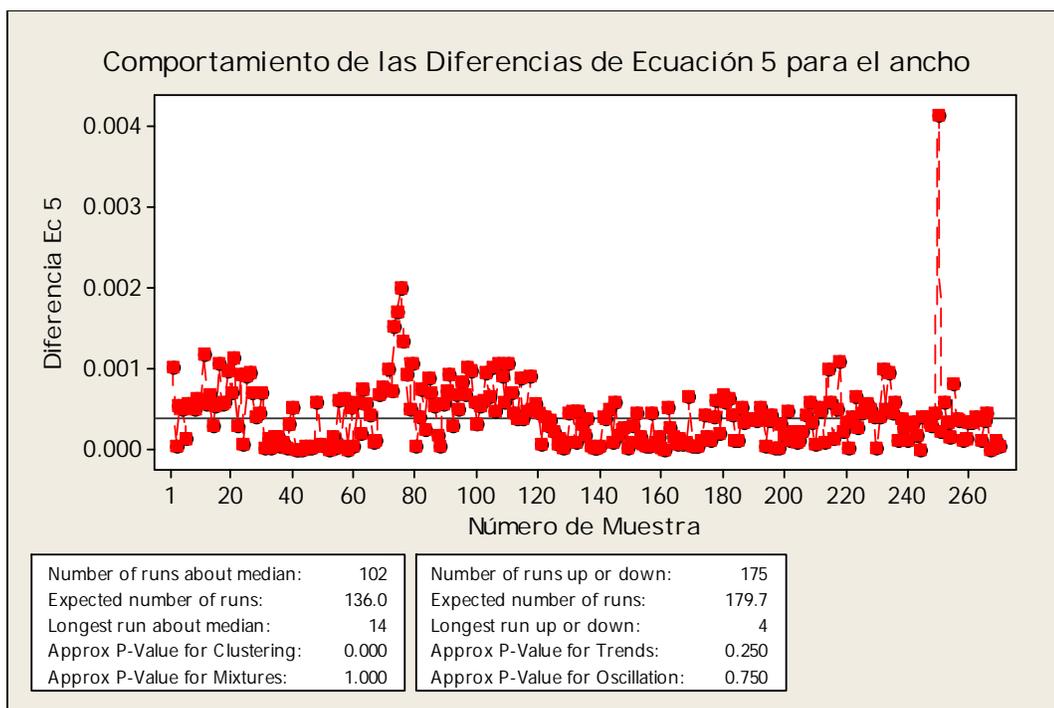
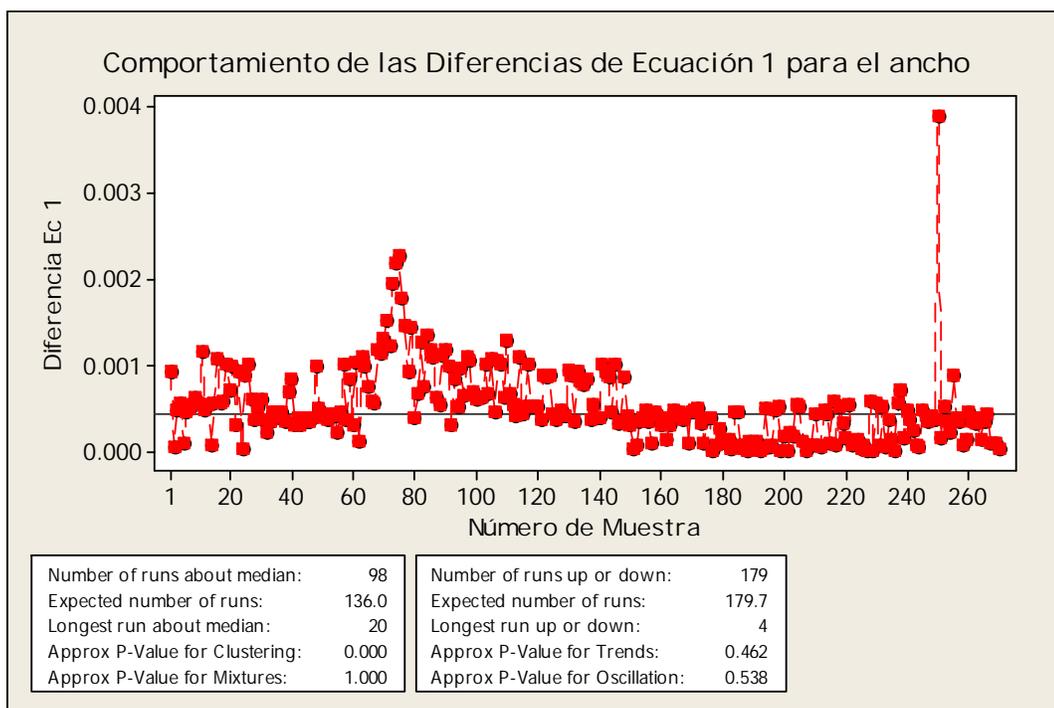
**Análisis de las diferencias obtenidas con la aplicación de las ecuaciones
obtenidas por regresión lineal.**

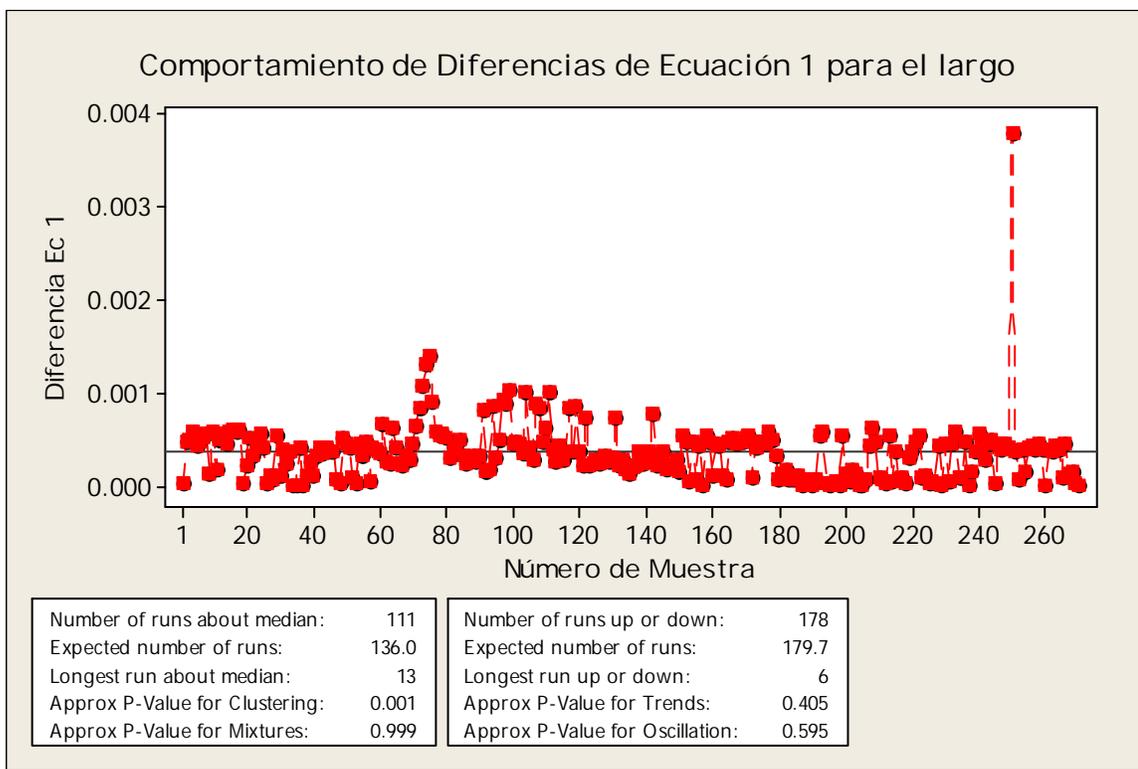
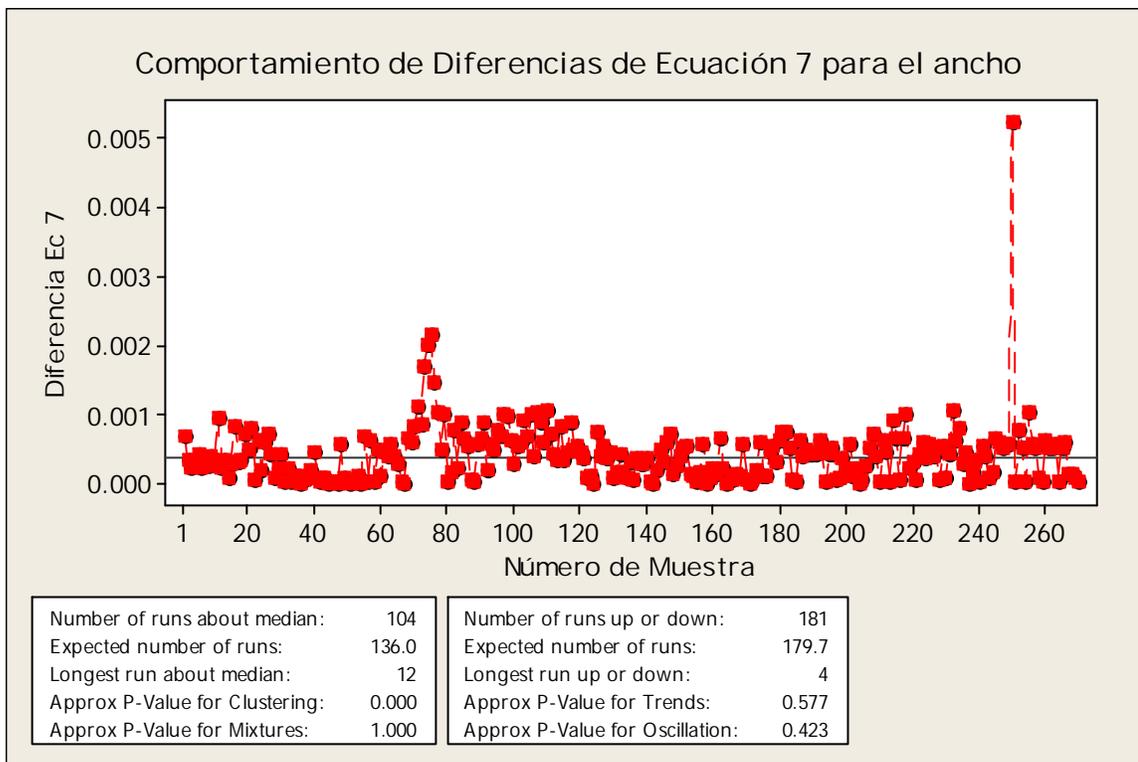
APÉNDICE Q.

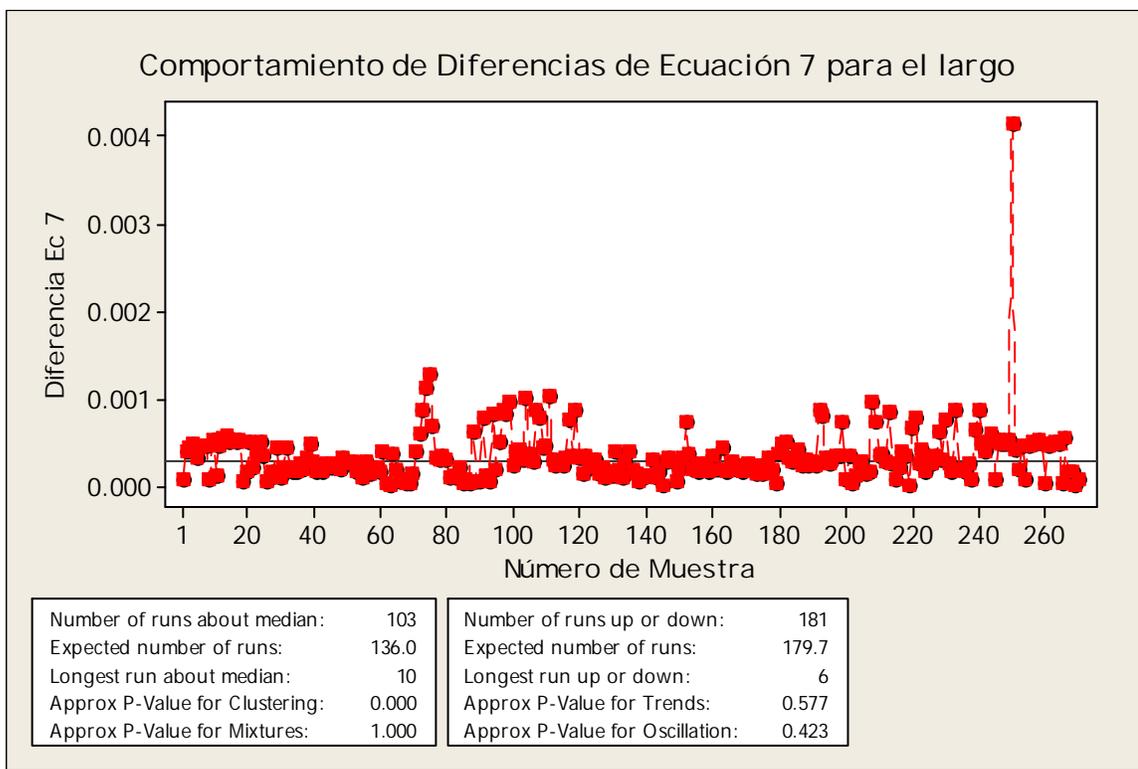
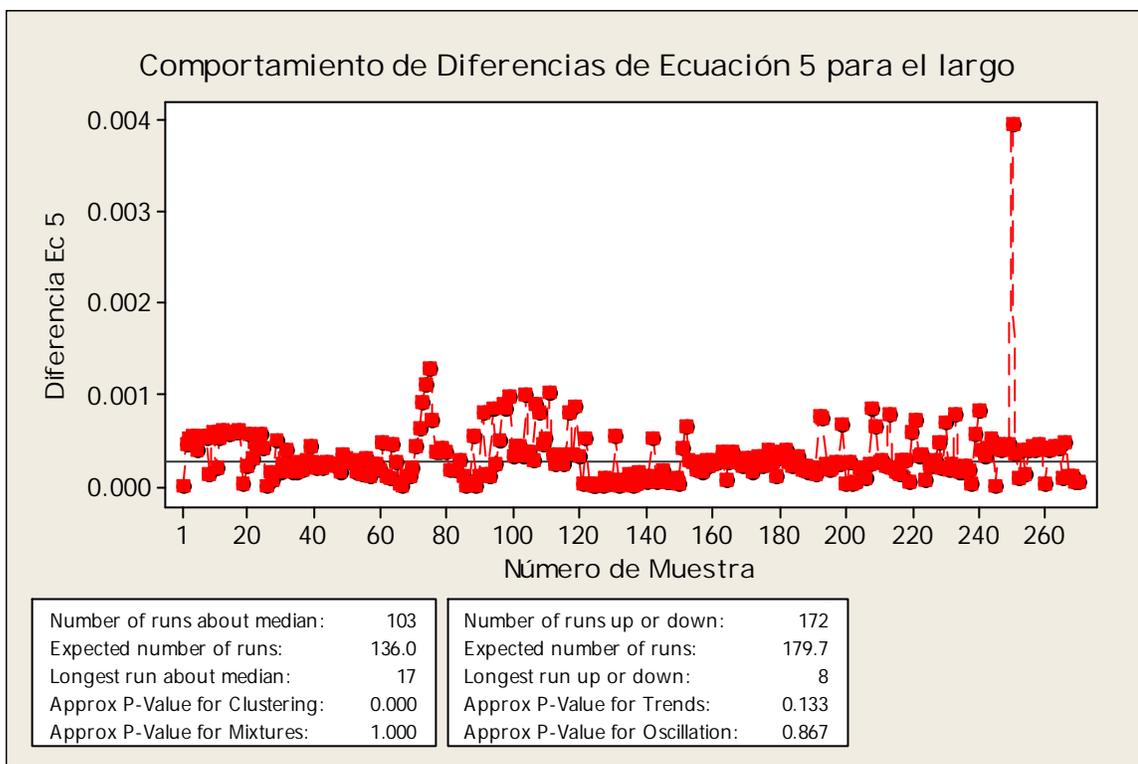
Análisis de las diferencias obtenidas con el factor de corrección en las ecuaciones obtenidas por regresión lineal.

APÉNDICE R.

Gráficos del Comportamiento de las diferencias de las ecuaciones 1, 5 y 7 de las dimensiones críticas de ancho y largo con el factor de corrección.



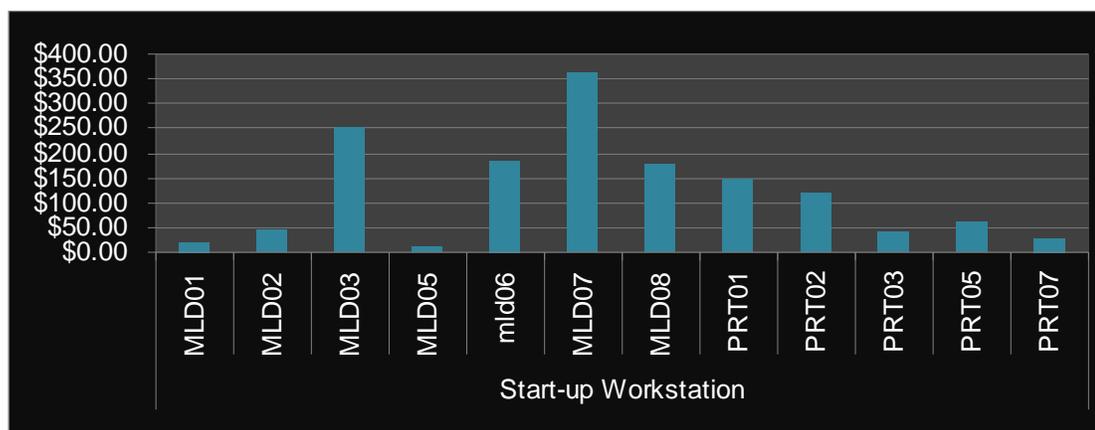




ANEXOS

ANEXO 1.

**Desglose de Costos por Tiempos Muertos por inspecciones de calidad de
Start Up en el mes de Agosto del 2007.**



Start-up Workstation	MLD01	\$22.00
	MLD02	\$44.00
	MLD03	\$253.00
	MLD05	\$11.00
	mld06	\$187.00
	MLD07	\$363.00
	MLD08	\$176.00
	PRT01	\$150.00
	PRT02	\$120.00
	PRT03	\$40.00
	PRT05	\$60.00
	PRT07	\$30.00
Start-up Workstation Total		\$1,456.00

Fuente: Medtech Costa Rica, S.A.

ANEXO 2.

Brochure del secador Matsui.

ANEXO 3.

Tablas Militares utilizada para establecer Plan de Muestreo de la Pieza 30-51536-00H-01.

MIL-STD-414
11 June 1987

TABLE A-1

AQL Conversion Table

For specified AQL values falling within these ranges	Use this AQL value
— to 0.049	0.04
0.050 to 0.069	0.065
0.070 to 0.109	0.10
0.110 to 0.164	0.15
0.165 to 0.279	0.25
0.280 to 0.439	0.40
0.440 to 0.699	0.65
0.700 to 1.09	1.0
1.10 to 1.64	1.5
1.65 to 2.79	2.5
2.80 to 4.39	4.0
4.40 to 6.99	6.5
7.00 to 10.9	10.0
11.00 to 16.4	15.0

TABLE A-2

Sample Size Code Letters¹

Lot Size	Inspection Levels				
	I	II	III	IV	V
3 to 8	B	B	B	B	C
9 to 15	B	B	B	B	D
16 to 25	B	B	B	C	E
26 to 40	B	B	B	D	F
41 to 65	B	B	C	E	G
66 to 110	B	B	D	F	H
111 to 180	B	C	E	G	I
181 to 300	B	D	F	H	J
301 to 500	C	E	G	I	K
501 to 800	D	F	H	J	L
801 to 1,300	E	G	I	K	L
1,301 to 3,200	F	H	J	L	M
3,201 to 8,000	G	I	L	M	N
8,001 to 22,000	H	J	M	N	O
22,001 to 110,000	I	K	N	O	P
110,001 to 550,000	I	K	O	P	Q
550,001 and over	I	K	P	Q	Q

¹Sample size code letters given in body of table are applicable when the indicated inspection levels are to be used.

MIL-STD-414
11 June 1957

TABLE B-3
Master Table for Normal and Tightened Inspection for Plans Based on Variability Unknown
(Double Specification Limit and Form 2 - Single Specification Limit)

Sample size code letter	Sample size	Acceptable Quality Levels (normal inspection)															
		.04	.065	.10	.15	.25	.40	.65	1.00	1.50	2.50	4.00	5.50	10.00	15.00		
B	3	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→		
C	4	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→		
D	5	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→		
E	7	→	→	→	→	0.422	1.05	1.33	1.53	1.53	1.53	1.53	1.53	1.53	1.53		
F	10	→	→	→	→	0.345	0.716	1.10	1.33	1.33	1.33	1.33	1.33	1.33	1.33		
G	15	0.099	0.186	0.312	0.503	0.818	1.31	2.11	3.05	4.31	6.56	9.46	13.71	18.94	25.61		
H	20	0.135	0.228	0.385	0.544	0.846	1.29	2.05	2.95	4.09	6.17	8.92	12.99	18.03	24.53		
I	25	0.155	0.250	0.380	0.551	0.837	1.29	2.00	2.86	3.97	5.97	8.63	12.57	17.51	23.97		
J	30	0.175	0.280	0.413	0.581	0.879	1.29	1.98	2.83	3.91	5.86	8.47	12.36	17.24	23.58		
K	35	0.170	0.264	0.388	0.535	0.847	1.23	1.87	2.68	3.70	5.57	8.10	11.87	16.65	22.91		
L	40	0.179	0.275	0.401	0.566	0.873	1.26	1.88	2.71	3.72	5.58	8.09	11.85	16.63	22.86		
M	50	0.163	0.250	0.363	0.503	0.789	1.17	1.71	2.48	3.45	5.20	7.61	11.23	15.67	22.00		
N	75	0.147	0.228	0.330	0.467	0.720	1.07	1.60	2.29	3.20	4.87	7.15	10.43	15.13	21.11		
O	100	0.145	0.220	0.317	0.447	0.689	1.02	1.53	2.20	3.07	4.69	6.91	10.12	14.75	20.66		
P	150	0.134	0.203	0.293	0.413	0.638	0.949	1.43	2.05	2.89	4.43	6.57	9.88	14.20	20.02		
Q	200	0.135	0.204	0.294	0.414	0.637	0.945	1.42	2.04	2.87	4.40	6.53	9.81	14.12	19.92		
		.065	.10	.15	.25	.40	.65	1.00	1.50	2.50	4.00	5.50	10.00	15.00			

All AQL and table values are in percent defective.

Use first sampling plan below arrow, that is, both sample size as well as M value. When sample size equals or exceeds lot size, every item in the lot must be inspected.

Acceptability Quality Levels (tightened inspection)

