





EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO

Instituto Tecnológico de Cd. Cuauhtémoc

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CD. CUAUHTÉMOC
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

“Mejoramiento del Proceso de Rotomoldeo con Flama Abierta”

Presentada por:

Ing. Silvia Judith Chávez Valdez

No. Control: G18610002

Tesis de grado para obtener el título de maestra en ingeniería

Directora de tesis:

M.C. Nancy Ivette Arana De las Casas

Cd. Cuauhtémoc, Chih. Septiembre del 2020



Av. Tecnológico, #137, C.P. 31500,
Cd. Cuauhtémoc, Chih., Tel. (625) 5811707





Cd. Cuauhtémoc, Chih. **20/Abril/2021**

OFICIO No. **DEPI/20-1/021**

C. SILVIA JUDITH CHÁVEZ VALDEZ
ESTUDIANTE DE MAESTRÍA EN INGENIERÍA
NO. CONTROL: G18610002
PRESENTE.

Por medio del presente, le comunico que la División de Estudios de Posgrado e Investigación, le ha concedido la autorización para la titulación mediante **TESIS** para la obtención del grado de **MAESTRO EN INGENIERÍA**, solicitándole 5 ejemplares electrónicos de la tesis aprobada, cuyo título es:

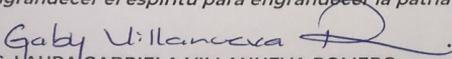
"Mejoramiento del proceso de rotomoldeo en flama abierta"

Y su contenido es:

1. INTRODUCCIÓN
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA
3. MARCO TEORICO
4. MATERIALES
5. METODOLOGÍA
6. RESULTADOS
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES
8. FUENTES DE INFORMACIÓN
9. ANEXOS

ATENTAMENTE

"Engrandecer el espíritu para engrandecer la patria"


M.C. LAURA GABRIELA VILLANUEVA ROMERO
JEFA DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS
DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN



S.E.P.
INSTITUTO
TECNOLÓGICO
CD. CUAUHTÉMOC
DEPTO. DE DIVISIÓN
DE ESTUDIOS
DE POSGRADO
E INVESTIGACIÓN

c.c.p. Archivo



Av. Tecnológico #137 C.P.31500
 Cuauhtémoc, Chih. Tel. 625 581 1707
www.cdcuauhtemoc.tecnm.mx





EDUCACIÓN

SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO

Instituto Tecnológico de Cd. Cuauhtémoc

Cd. Cuauhtémoc, Chih. **20/Abril/2021**

OFICIO No. **DEPI/20-1/020**

ASUNTO: AUTORIZACIÓN DE TESIS DE GRADO

C. SILVIA JUDITH CHÁVEZ VALDEZ
ESTUDIANTE DE MAESTRÍA EN INGENIERÍA
NO. CONTROL: G18610002
PRESENTE.

Por medio de este conducto se hace de su conocimiento, que de acuerdo al Reglamento de la Dirección General del Tecnológico Nacional de México, dependiente de la Secretaría de Educación Pública, y habiendo cumplido con todas las indicaciones que el Comité tutorial le hizo con respecto a su Tesis, para obtener el grado de Maestro en Ingeniería, cuyo título es:

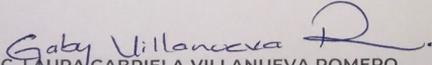
"Mejoramiento del proceso de rotomoldeo en flama abierta"

El Departamento de División de Estudios de Posgrado e Investigación, le concede autorización para que proceda a la impresión de la misma.

Sin más por el momento, quedo de Usted

ATENTAMENTE

"Engrandecer el espíritu para engrandecer la patria"


M.C. LAURA GABRIELA VILLANUEVA ROMERO
JEFA DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS
DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

c.c.p. Archivo



S.E.P.
INSTITUTO
TECNOLÓGICO
CD. CUAUHTÉMOC
DEPTO. DE DIVISIÓN
DE ESTUDIOS
DE POSGRADO
E INVESTIGACIÓN



Av. Tecnológico #137 C.P.31500
Cuauhtémoc, Chih. Tel. 625 581 1707
www.cdecuauhtemoc.tecnm.mx





Cd. Cuauhtémoc, Chih. 20/Abril/2021

OFICIO No. DEPI/20-1/016
ASUNTO: ACTA DE APROBACIÓN DE TESIS

**C. SILVIA JUDITH CHÁVEZ VALDEZ
PRESENTE.**

Por medio del presente se le informa que la tesis "Mejoramiento del proceso de rotomoldeo en flama abierta", ha sido aprobada y se autoriza la impresión de la misma, para que se realicen los trámites correspondientes para la presentación del examen de grado.

Sin otro particular por el momento, quedamos de usted:

COMITÉ TUTORIAL

M.C. NANCY IVETTE ARANA DE LAS CASAS.
DIRECTORA

DR. DAVID SAENZ ZAMARRÓN
CODIRECTOR

M.C. DANIEL CHAPA NÚÑEZ
ASESOR

M.C. JOSÉ FRANCISCO ALATORRE ÁVILA
ASESOR

c.c.p. Archivo



AGRADECIMIENTOS

Agradezco primeramente a Dios por ser la fuente de la vida.

A mis padres por ayudarme en todo momento y ser el mayor ejemplo en mi vida.

A mis hermanos y hermanas por compartir su tiempo para alcanzar mis metas.

A mis maestros por ser la guía y ejemplo.

A mis amigos y compañeros de clase por el apoyo incondicional en todo momento.

CONTENIDO

CAPÍTULO I	7
1 INTRODUCCIÓN	7
CAPÍTULO II	9
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	9
2.1. Antecedentes	9
2.2. El proceso	9
2.3. Materiales.....	10
2.5. Definición del problema	11
2.6. Preguntas de investigación	12
2.7. Objetivo general	12
2.8. Objetivos específicos	12
2.9. Hipótesis.....	13
2.10. Justificación.....	13
2.11. Estudios previos	13
CAPÍTULO III	14
3. MARCO TEÓRICO.....	14
3.1. Importancia de la calidad.....	14
3.1.2. El control estadístico de los procesos.....	15
3.2. La industria actual de rotomoldeo	16
3.3. Características generales de los polímeros.....	18
3.4. Polímeros como Polvos y Líquidos	19
3.5. Tipos de polietileno	19
3.6. Polietileno de Baja Densidad.....	20
3.7. Polietileno de Media Densidad	20
3.8. Polietileno de Alta Densidad.....	21
3.9. Características deseables de una resina de moldeo rotacional.....	21

3.10. Tipos de máquinas de moldeo rotacional	22
3.11. Máquinas de rock and roll	23
3.12. Máquinas de almeja	24
3.13 Máquina de carrusel de brazo fijo.....	25
3.14. Máquinas de flama abierta	26
3.15. Anatomía general del ciclo de moldeo rotacional	27
3.16. Las características del flujo del polímero en polvo	30
3.17. La circulación en estado estacionario del polímero en polvo	31
3.18. Conceptos generales del diseño	32
3.19. Algunas consideraciones generales del diseño de moldes en rotomoldeo.....	35
CAPÍTULO IV.....	36
4. MATERIALES.....	36
4.1 Materiales utilizados en la investigación.....	36
4.2 Materiales utilizados en el desarrollo del prototipo	37
CAPÍTULO V.....	42
5. METODOLOGÍA.....	42
CAPÍTULO VI.....	43
6. RESULTADOS	43
CAPÍTULO VII.....	58
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	58
CAPÍTULO VIII.....	61
FUENTES DE INFORMACION	61
CAPÍTULO IX.....	63
ANEXOS	63
Anexo 1 Bases de datos	63
Anexo 2 Bases de datos (continuación).....	65
Anexo 3 Artículo publicado	66

Anexo 4 Pirómetro digital.....	67
Anexo 5 MAX 6675 Datasheet.....	68

INDÍCE DE FIGURAS

Figura 2.1 Proceso de Rotomoldeo o Moldeo Rotacional (Roy J, 2002).	10
Figura 3.1 Nivel de cristalinidad en los diferentes polímeros (Dominghaus, 1988). 19	
Figura 3.2 Características de la cadena molecular de tres polietilenos comunes (Brydson, 1999).....	20
Figura 3.3 Típica máquina de rock and roll (Roy J, 2002).	24
Figura 3.4 Típica máquina de rock and roll (Roy J, 2002).	25
Figura 3.5 Máquina de Carrusel de brazo fijo (Roy J, 2002).	26
Figura 3.6 Máquina de rotomoldeo por flama abierta (Alba, 2013).....	27
Figura 3.7 Trazas térmicas típicas de varias regiones obtenidas usando el sistema de medición de temperatura Rotolog (Roy J, 2002).	28
Figura 3.8 Rastros reales de la temperatura del aire de la cavidad del molde, que muestran el efecto del medio de enfriamiento sobre tiempo de enfriamiento (Roy J, 2002).	29
Figura 3.9 Tres tipos de circulación del polímero en polvo (R.J. Crawford and A. Spence, 1996).	32
Figura 4.1 Máquina de rotomoldeo por medio de flama abierta (Alba, 2013).....	36
Figura 4.2 Pirómetro (C&M, 2014) Ver anexo 4	37
Figura 4.3 Termocupla tipo K. (Isma, 2016).	37
Figura 4.4 Max 6675. (Integrated, 2014) Ver anexo 5	38
Figura 4.5 Arduino uno (Integrated, 2014).....	39
Figura 4.6 Características de servo motor (101, 2018).	39
Figura 4.7 Control de circuito cerrado	40
Figura 4.8 Montaje de elementos de prototipo	41

Figura 6.1 Gráfica de grados centígrados en el fondo del molde de tinacos.....	44
Figura 6.2 Límites de temperatura en fondo del molde para tinaco de 750L.....	45
Figura 6.3 Límites de temperatura en fondo del molde para tinaco de 750L.....	46
Figura 6.4 Colocación de sensor en máquina de flama abierta 1	47
Figura 6.5 Prototipo instalado en máquina de flama abierta 1	48
Figura 6.6 Lecturas de temperaturas que arroja el prototipo mediante el sensor.....	49
Figura 6.7 Segunda prueba estabilización del sistema	50
Figura 6.8 Sistema de monitoreo realizado en Visual Basic.Net, administrado en base de datos Access.	52
Figura 6.9 Gráfica de pruebas de mediciones de temperaturas, Ver anexo 1	53
Figura 6.10 Tipica máquina de rock and roll (Roy JC, 2002).....	54
Figura 6.11 Segunda gráfica de monitoreo de temperaturas con prototipo. Anexo 2.55	
Figura 6.12 Gráfica de grados centígrados después de la implementación del prototipo	56

INDÍCE DE TABLAS

Tabla 6.1 Gráfica de grados centígrados después de la implementación del prototipo.	44
Tabla 6.2 Grados centígrados de 61 muestras después de la implementación del prototipo en máquina de flama abierta	56

CAPÍTULO I

1 INTRODUCCIÓN

En la presente investigación se tiene por objetivo implementar un prototipo para el control de temperatura y validarlo mediante métodos estadísticos, para mejoramiento del proceso de rotomoldeo por medio de flama abierta en máquina 1 en la empresa Rotoplastic de Cuauhtémoc, con ello se busca reducir la cantidad tinacos defectuosos y aumentar la productividad de la empresa. Las principales variables que afectan la calidad en los productos son: la temperatura, el tiempo de cocción, el enfriamiento, entre otras, encontrándose la mayor parte de los productos defectuosos a causa de la temperatura no controlada. En este trabajo se explica por qué es necesaria la implementación de un sistema de control de temperatura en la máquina de rotomoldeo y se explica a detalle la funcionalidad en prototipo del control de temperatura. La importancia de estudiar este tema es principalmente para analizar los márgenes de temperatura en la fabricación de los productos. Atacando al problema de los tinacos defectuosos traerá muchos beneficios, por ejemplo; reducir inventario de defectos, ahorro en tiempo de mano de obra, producción en tiempo y forma, costos bajos y automatización.

A continuación, se presenta el orden de la elaboración del proyecto. Primeramente, en el capítulo uno se abordaron las cuestiones teóricas que sustentan el planteamiento del problema. Se realiza un breve repaso del tema en general del rotomoldeo, sus características y diferencias entre otros sistemas de moldeo. Luego se realiza una descripción de los pasos del moldeo rotacional. Enseguida se presentan las preguntas de investigación, así como los objetivos, hipótesis, justificación y estudios previos.

En el capítulo dos se presenta el marco teórico en el que se realiza un estudio más profundo acerca del moldeo rotacional o rotomoldeo, detallando las características del material a utilizar, y sus propiedades, el tipo de máquinas existentes, las variables de mayor importancia que se requiere tomar en cuenta para que un producto sea de calidad, como las temperaturas que se presentan dentro y fuera del molde, entre otras.

En el capítulo tres se explican los métodos utilizados para la realización de las pruebas con el prototipo, las mediciones de temperaturas alcanzadas por el molde, y la elaboración del análisis de las temperaturas.

En el capítulo cuatro se presentan los resultados a los que se llegó con la investigación, se muestran las gráficas de las temperaturas que se lograron monitorear por medio del prototipo y cómo se logra la implementación en la máquina.

En el capítulo cinco se presentan las conclusiones y recomendaciones. Los objetivos planteados fueron alcanzados se logró implementar un control de temperatura manteniendo un rango constante con monitoreo cada cinco segundos para que el operador pueda hacer cualquier cambio en caso de que se presente cualquier avería, incluyendo algunas recomendaciones a la empresa como es la implementación de un sistema de control estadístico en área, e implementación de control de temperatura en máquina 2.

CAPÍTULO II

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1. Antecedentes

El moldeo rotacional, conocido también como rotomoldeo o rotocasting, es un proceso para la fabricación de productos plásticos huecos. Aunque hay competencia de golpe moldeo, termoformado y moldeo por inyección para la fabricación de tales productos, el moldeo rotacional tiene ventajas particulares en términos relativamente bajos, niveles de tensiones residuales y moldes económicos. El moldeo rotacional también tiene pocos competidores para la producción de objetos huecos grandes ($> 2 \text{ m}^3$). El moldeo rotacional es mejor conocido por la fabricación de tanques, pero también se puede usar para fabricar productos médicos complejos, juguetes, embarcaciones de recreo y productos de punto de venta altamente estéticos (Roy J, 2002).

2.2. El proceso

El principio del moldeo rotacional de plásticos es simple. Básicamente el proceso consiste en introducir una cantidad conocida de plástico en polvo, granular o el líquido viscoso se transforma en un molde hueco. El molde gira y/o se balancea alrededor de dos ejes principales a velocidades relativamente bajas, a medida que se calienta el plástico encerrado en el molde se adhiere y forma una capa monolítica en contra de la superficie del molde. La rotación del molde continúa durante la fase de enfriamiento para que el plástico conserve su forma deseada a medida que se solidifica. Cuando el plástico es suficientemente rígido, el enfriamiento y la rotación del molde se detiene

para permitir la extracción del producto plástico del molde. En esta etapa, el proceso cíclico puede ser repetido. Los pasos básicos de (a) carga del molde, (b) calentamiento del molde, (c) enfriamiento del molde, y (d) expulsión de la pieza, se muestran en la Figura 2.1 (Roy J, 2002).

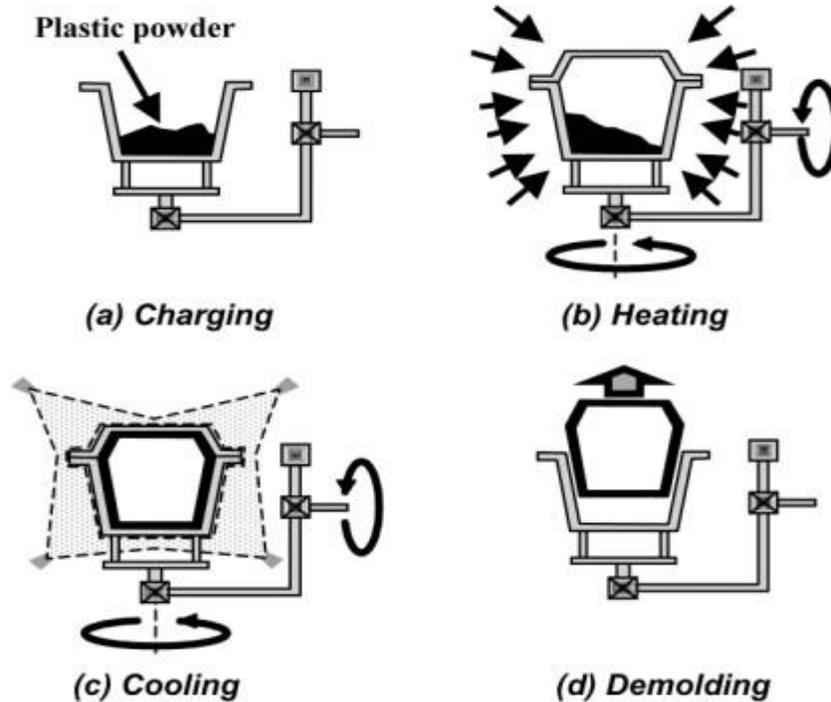


Figura 2.1 Proceso de Rotomoldeo o Moldeo Rotacional (Roy J, 2002).

2.3. Materiales

Actualmente, el polietileno, en sus múltiples formas, representa alrededor del 85% al 90% de todos los polímeros moldeados rotacionalmente (Roy J, 2002). Los grados reticulados de polietileno son también comúnmente usados en moldeo rotacional. PVC plastisoles alrededor del 12% del consumo mundial, y policarbonato, nylon, polipropileno, poliésteres insaturados, ABS, poliacetato, acrílicos, celulósicos, epoxis, fluorocarbonos, fenólicos, polibutilenos, poliestirenos, los poliuretanos y las siliconas constituyen el resto (Roy J, 2002).

2.4. Ventajas y desventajas del rotomoldeo

Según Roy J Creawford (2012) las principales atracciones del moldeo rotacional son:

- a) Se puede hacer una pieza hueca en una sola pieza sin líneas de soldadura o juntas.
- b) El producto final es esencialmente libre de estrés.
- c) Los moldes son relativamente baratos.
- d) El tiempo de entrega para la fabricación de un molde es relativamente corto.
- e) Las tiradas cortas de producción pueden ser económicamente viables.
- f) No hay desperdicio de material porque la carga completa de material se consume normalmente al hacer la pieza.
- g) Es posible hacer productos multicapa.
- h) Se pueden moldear diferentes tipos de productos en una sola máquina.
- i) Los insertos son relativamente fáciles de moldear.
- j) Se pueden moldear gráficos de alta calidad.
- k) Las principales desventajas del moldeo rotacional son: Los tiempos de fabricación son largos.
- l) La elección de los materiales de moldeo es limitada.
- m) Los costos del material son relativamente altos debido a la necesidad de paquetes especiales de aditivos y al hecho de que el material debe ser molido hasta obtener un polvo fino.
- n) Algunas características geométricas (como las costillas) son difíciles de moldear (Roy J, 2002).

2.5. Definición del problema

En la empresa Rotoplastic de Cuauhtémoc dedicada a la fabricación de tinacos de plástico por medio de rotomoldeo, se tiene problema con el número de tinacos defectuosos, la principal causa de dichos defectos se encuentra en el control de la temperatura puesto que es una de las variables de mayor importancia con respecto a

otras como: el tipo de polímero, tiempo de cocción, velocidad de giros de la máquina, tipo de material del que está elaborado el molde, etcétera.

Para atacar el problema anteriormente mencionado se desea implementar un control de temperatura en el proceso de producción de flama abierta en la maquina 1 que permita monitorear las temperaturas por cada cierto tiempo y controlarlas y así poder evitar las temperaturas no deseadas que generan los defectos. Se pretende con estas acciones disminuir el inventario de defectos y de esta manera reducir costos, aumentando la productividad de la empresa.

2.6. Preguntas de investigación

- a) ¿Cuáles son las principales variables que afectan al proceso de rotomoldeo?
- b) ¿Cómo se pueden controlar las variables que afectan el proceso?
- c) ¿Cuáles son los rangos de temperatura necesarios para cumplir con los requerimientos del cliente?
- d) ¿Cómo se obtienen los rangos de control de temperatura necesarios?
- e) ¿Cuáles son las herramientas estadísticas que nos pueden permitir controlar el proceso del control de temperatura en flama abierta máquina 1?

2.7. Objetivo general

El objetivo de esta investigación es analizar las temperaturas del proceso de rotomoldeo en los moldes de los tinacos que se fabrican en el área de flama abierta 1 posterior a la implementación de un prototipo que controle y monitoree la temperatura con el fin de disminuir los defectos en los tinacos.

2.8. Objetivos específicos

- a) Analizar los rangos de temperatura que se manejan actualmente para el proceso de rotomoldeo por medio de flama abierta.
- b) Identificar los rangos de temperatura en los que se han generado mayor número de productos defectuosos.

- c) Implementar y validar un control de temperatura por medio de un prototipo en el área de flama abierta en la máquina 1.

2.9. Hipótesis

Es posible disminuir el porcentaje de productos defectuosos por medio de la implementación de un control de temperatura en el área de flama abierta en la máquina 1 de la empresa Rotoplastic de Cuauhtémoc. La efectividad del prototipo para control de temperatura puede ser validado por medio de un análisis estadístico de las temperaturas que nos arroja.

2.10. Justificación

Es muy importante que exista un control estandarizado en las temperaturas que alcanza el molde en la producción de tinacos por medio del proceso de rotomoldeo en flama abierta para poder evitar los problemas referentes a la no calidad que se presentan, al efectuar un análisis de temperaturas se estará atacando al problema de los tinacos defectuosos y consigo traerá muchos beneficios, como por ejemplo, reducir inventario de defectos, ahorro en tiempo de mano de obra, producción en tiempo y forma, costos bajos, automatización. Con ello asegurar la calidad en cada uno de los productos, puesto que la calidad cuesta, pero cuesta más no tenerla.

2.11. Estudios previos

Se consultaron las siguientes investigaciones similares a esta tesis.

- a) Tesis de innovación en roto moldeo en México (Martinez, 2014).
- b) Desarrollo y fabricación de una máquina de rotomoldeo (Lasso de la Vega Romero, 2016).
- c) Análisis de rotomoldeo. análisis sobre la nueva generación de formulaciones en la manufactura de productos plásticos producidos por rotomoldeo (Martínez J.A.,2011).

CAPÍTULO III

3. MARCO TEÓRICO

3.1. Importancia de la calidad

La calidad no es un concepto nuevo en los negocios modernos. En octubre de 1887, William Cooper Procter, nieto del fundador de Procter & Gamble, dijo a sus empleados: “El primer trabajo que tenemos es producir mercancía de calidad que los consumidores comprarán y seguirán comprando. Si la producimos de manera eficiente y económica, obtendremos una ganancia, que ustedes compartirán” (Lindsay, 2015). La declaración de Procter aborda tres cuestiones que son vitales para los gerentes de las organizaciones de manufactura y servicios: productividad, costo y calidad. La productividad definida como la medida de la eficiencia definida como la cantidad de producción lograda por unidad de insumos (Lindsay, 2015). El costo de las operaciones y la calidad de los bienes y servicios que crean satisfacción en el cliente contribuyen en la rentabilidad. De estos tres determinantes de la rentabilidad, el factor más significativo para decidir el éxito o el fracaso de cualquier organización a largo plazo es la calidad. Aproximadamente 125 años después, este sentimiento encontró eco en el Conference Board, que concluyó, a partir de una encuesta a más de 700 directores ejecutivos y gerentes de todo el mundo, determinando que la calidad está posicionada en forma única para acelerar el crecimiento organizacional por medio de ejecución y una alineación más adecuada y también proporciona la voz crítica del cliente para el desarrollo de productos y servicios innovadores.

Los bienes y servicios de alta calidad pueden proporcionar a una organización una ventaja competitiva. Una reputación de alta calidad genera clientes satisfechos leales

que compensan a la organización con fidelidad continua y favorable publicidad de boca en boca, lo que a menudo resulta en nuevos clientes. En contraste, las consecuencias de no abordar la calidad en forma adecuada pueden ser devastadoras (Lindsay, 2015).

3.1.2. El control estadístico de los procesos

El desarrollo de nuevos métodos y herramientas para la mejora de la calidad dio un salto a partir de los estudios sobre Control estadístico de Procesos realizados por Walter A. Shewhart, ingeniero y estadístico que a principios del siglo XX trabajaba en la compañía americana Bell Telephone. El control estadístico de procesos permite evaluar las variaciones en su comportamiento que puedan afectar la calidad del producto final. En definitiva, permite a la compañía anticiparse e identificar problemas que afecten a la producción. Shewhart demostró que con un sencillo gráfico de control era posible controlar la variabilidad de los procesos, aquellas variaciones producidas por causas identificables y controlables, y de esta forma puso por primera vez en marcha un método que no se limitaba a controlar la calidad del producto, sino a evaluar la calidad del proceso (Lemos, 2016).

En los años anteriores la gestión de la calidad era responsabilidad de los propios mandos intermedios que tenían a su cargo la fabricación. La utilización de la inferencia estadística y la de la teoría de la probabilidad en aplicaciones empresariales para el control de la calidad fue potenciada por los trabajos de H.F.D Roa Ming en los laboratorios de la compañía telefónica Bell, quienes desarrollaron la teoría del muestreo estadístico y publicaron las primeras tablas técnicas para aplicar esa técnica al control de calidad. Las tablas fueron lentamente aceptadas en aquellos tiempos, aunque son de uso generalizado hoy en día. También tuvo gran influencia en el pensamiento científico más que en las aplicaciones prácticas, el trabajo de Ronald Fisher, que facilitó el avance de la estadística bayesiana, la teoría del muestreo y el diseño de experimentos. En la posguerra destacan los trabajos de W.E Deming y J. M

Juran que son los autores que mayor influencia han tenido en el mundo a lo largo del siglo XX en el tema de la calidad (Lemos, 2016).

Por lo que se refiere a la Ingeniería, de acuerdo con la definición del Consejo de Acreditación para la Ingeniería y la Tecnología de Estados Unidos de América, Según (Baca Urbina 2014) la ingeniería es la profesión en la que los conocimientos de matemáticas y ciencias naturales, obtenidos a través del estudio, la experiencia y la práctica, se aplican con juicio para desarrollar diversas formas de utilizar, de manera económica, las fuerzas y los materiales de la naturaleza en beneficio de la humanidad. Con base en esta definición, se considera que la ingeniería no es una ciencia, sino una aplicación de la ciencia. Como la mayoría de las profesiones, es más un arte que una ciencia, ya que no basta estudiar ingeniería en cualquiera de sus ramas para ser un buen ingeniero. Hay que tener juicio y habilidad para aplicar los conocimientos científicos en la solución de problemas de la vida diaria. Según el Diccionario Merriam Webster de la lengua inglesa, la palabra ingeniero proviene del vocablo inglés engine, y éste a su vez del latín ingenium, y se define como disponer de un talento natural, o bien, un dispositivo mecánico; de ahí que, por deducción, se considera que un ingeniero es aquella persona que, con cierta base científica, diseña o construye máquinas y aplica su conocimiento e ingenio para resolver problemas en bien de la comunidad; también, tiene la acepción de guía o líder. Esto concuerda con la primera definición, que establece que un ingeniero es aquel profesional que tiene conocimientos adquiridos con base en estudio, que posee un talento natural, que es creativo y que aplica sus conocimientos en el diseño de máquinas y procesos industriales para el beneficio de la humanidad (Baca Urbina, 2014).

3.2. La industria actual de rotomoldeo

Según Urbina (2018) el rotomoldeo es un proceso sencillo, pero con muchas variables. Al ser sencillo las máquinas son económicas y los moldes son de bajo costo comparados con los de inyección o soplado. Esta baja inversión de capital inicial hace

que muchos entusiastas adquirieran equipos de rotomoldeo, aún sin comprender bien el mercado y a riesgo de perder la inversión debido a sobrecostos por ineficiencia en el proceso. El conformismo, resultado de la baja inversión y la producción artesanal, han llevado al rotomoldeo a tener un desarrollo limitado y a la baja competitividad a nivel mundial. Frente a esta realidad, particularmente en América Latina, surge la necesidad de realizar un análisis exhaustivo y ordenado del sector para identificar oportunidades de mejora.

La población mundial pasará, hasta el 2056, de 7 a 10 billones de habitantes; con esto se espera una mayor demanda en el consumo de diferentes bienes y servicios que abrirán las puertas de los mercados de alta calidad. Este dato muestra el potencial de crecimiento que tienen los sectores de transformación de plástico, y en particular el rotomoldeo. Pero para poder aprovechar este potencial será necesario invertir en el desarrollo de tres ejes: maquinaria, moldes y entrenamiento, e incursionar en otros sectores adicionales a contenedores y tinacos, que hoy en día representa el 80% del mercado de rotomoldeo en México (Urbina, 2018).

En el mercado estadounidense se demandan cerca de 360 mil toneladas de resina para rotomoldeo. México, entre tanto, consume apenas una sexta parte de este volumen. Para alcanzar alto nivel técnico en los productos, terminados estéticos, producción a gran escala, materiales avanzados y diseño complejo, es menester invertir en los tres ejes anteriormente mencionados, para soportar la demanda. Sin embargo, el alcance limitado de las compañías de la actualidad no permite realizar estas inversiones y las compañías se conforman con la simplicidad de sus productos y la habilidad del operario como camino hacia el éxito (Urbina, 2018).

El tema no es sólo del productor, fabricante de molde, fabricante de maquinaria o del desarrollo de materiales, sino también de los rotomoldeadores, quienes necesitan ver el panorama completo de desafíos y oportunidades para tomar decisiones de cara al futuro (Urbina, 2018).

3.3. Características generales de los polímeros

Según Brydson, J. (1999) Todos los polímeros exhiben temperaturas de transición vítrea. La temperatura de transición vítrea (T_g) se define como la temperatura igual o superior a la cual la estructura molecular exhibe movilidad macromolecular. Por lo general, esto es cuando cincuenta carbonos a lo largo de la cadena molecular pueden moverse en concierto. Más prácticamente, se define como el rango de temperatura donde la estructura molecular se transforma de un sólido frágil a un sólido dúctil o gomoso. Los polímeros termoplásticos son generalmente de dos tipos morfológicos. Los polímeros amorfos, como el PVC, el ABS y el policarbonato, se caracterizan por no tener estructura cristalina ni tampoco orden cristalino (Brydson, 1999).

Los polímeros termoplásticos amorfos y esencialmente todos los polímeros termoestables tienen solo una transición termodinámica, la transición vítrea. Los polímeros termoplásticos simplemente se vuelven más y más suaves a medida que la temperatura se eleva. Los polímeros cristalinos, por otro lado, tienen una estructura molecular ordenada. La estructura molecular de un polímero cristalino está, en su mayor parte, dictada por su estructura cristalina o morfología. Como ejemplo, el polietileno tiene una temperatura de transición vítrea de aproximadamente -100°C y una temperatura de fusión de aproximadamente 135°C . La estructura cristalina del polietileno permite que las piezas retengan sus formas a temperaturas de agua hirviendo o más de 200°C por encima de su T_g (Dominghaus, 1988).

Polymer	Condition	Crystallinity [%]
LDPE	All	40–50
LLDPE	All	60
HDPE	All	60–80
Polypropylene (PP)	Rapidly cooled	45–50
Nylon 6 (PA6)	Slowly cooled	40–50
Nylon 6 (PA6)	Quenched	10
Polyethylene Terephthalate (PET)	Slowly cooled	20–30
Polyethylene Terephthalate (PET)	Quenched	0–10

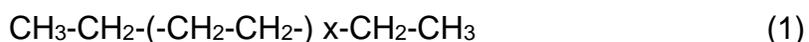
Figura 3.1 Nivel de cristalinidad en los diferentes polímeros (Domininghaus, 1988).

3.4. Polímeros como Polvos y Líquidos

La forma principal para la gran mayoría de los polímeros utilizados en el moldeo rotacional es como polvo de malla -35. Casi todos los polímeros termoplásticos están disponibles como polvos o como gránulos que se pueden moler (Brydson, 1999).

3.5. Tipos de polietileno

Según (Morawetz, 1995) El polietileno (PE) es una molécula químicamente simple:



Cuando x es del orden de 50, la molécula es una cera a alta temperatura. Cuando x es del orden de 500, el polímero es un polietileno de bajo peso molecular, que tiene un punto de fusión de alrededor de 120°C. Cuando x es alrededor de 2500, el polímero es un polietileno cristalino de alto peso molecular, que tiene un punto de fusión de alrededor de 135°C y una densidad de temperatura ambiente de aproximadamente 950 kg/m³. Cuando x es alrededor de 250,000, el polímero es polietileno de peso molecular ultra alto (ultra-high molecular weight polyethylene) (UHMWPE), con una

temperatura de fusión de aproximadamente 137°C y una densidad de temperatura ambiente de aproximadamente 965 kg/m³. Como ejemplo, el peso molecular de un polietileno de alta densidad (highdensity polyethylene) (HDPE) de grado de moldeo rotacional típico es de aproximadamente 35,000 x es de aproximadamente 1250, con una densidad nominal de aproximadamente 950 kg/m³ (Morawetz, 1995).

3.6. Polietileno de Baja Densidad

Además de la densidad, los polietilenos se caracterizan por el grado de ramificación, (Figura 3.2 Polietileno de baja densidad (LDPE)), a veces denominado polietileno de alta presión o polietileno ramificado tiene cadenas laterales extensas, hasta quizás 100 unidades de etileno de longitud. Las ramas largas tienden a inhibir la organización molecular durante el enfriamiento. Como resultado, los LDPE típicamente tienen densidades relativamente bajas de 910 kg/m³ a 925 kg/m³ más o menos y cristalinidades relativamente bajas de 45% a 66% (Brydson, 1999).

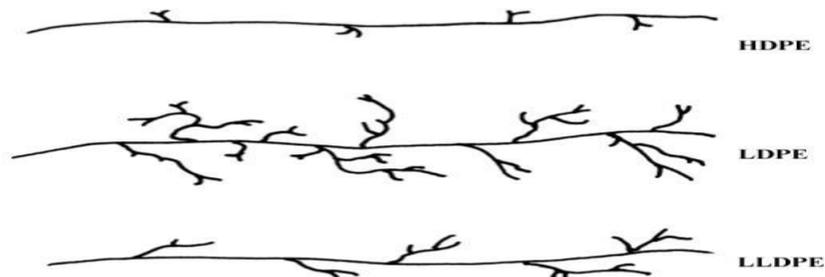


Figura 3.2 Características de la cadena molecular de tres polietilenos comunes (Brydson, 1999).

3.7. Polietileno de Media Densidad

Por lo general, se prefiere el polietileno de densidad media (MDPE) sobre el LDPE para muchas aplicaciones que requieren resistencia o rigidez, además de la facilidad de procesamiento. El MDPE se caracteriza por menos cadenas laterales y más cortas que el LDPE. Como resultado, los MDPE típicamente tienen densidades en el rango

de 925 kg/m^3 a 940 kg/m^3 más o menos y cristalinidades en el rango de 55% a 75%. Los MDPE son algo más rígidos que los LDPE.

3.8. Polietileno de Alta Densidad

El polietileno de alta densidad (HDPE), también conocido como polietileno lineal o polietileno de baja presión, es el polietileno preferido para envases químicos de todos los tamaños, principalmente debido a su excepcional resistencia al agrietamiento por estrés ambiental. Tiene una excelente rigidez desde la temperatura ambiente hasta el punto de ebullición del agua. El rango del módulo de flexión para HDPE es de 0.93 a 1.52 GPa (Grade Point average) ($135,000$ a $220,000 \text{ lb/in}^2$). Aunque el HDPE con frecuencia se llama polietileno lineal, todavía tiene algunas ramificaciones de cadena corta. Sin embargo, su naturaleza lineal y su alta movilidad troncal le permiten cristalizar del 75 al 90% de lo teórico. La estructura cristalina se caracteriza por ser predominantemente esferulítica. Es decir, el cristalito formado es esférico con un diámetro de reposo de 50 micras o más. Dado que estos cristalitos son mucho mayores que la longitud de onda de la luz visible (0.4 a 0.7 micras), hacen que el producto tenga una apariencia lechosa y translúcida. Dado que el cristalito está más ordenado y apretado que la fase amorfa, la densidad del HDPE es típicamente de alrededor de 960 kg/m^3 , acercándose al valor teórico de 1000 kg/m^3 . Muchos HDPE están formulados para aplicaciones de extrusión y moldeo por soplado y, como resultado, existen muchos índices de fusión fraccional. Las piezas moldeadas rotacionalmente sin huecos generalmente se logran con índices de fusión de HDPE en el rango de 2 a 10 más o menos.

3.9. Características deseables de una resina de moldeo rotacional

A medida que más y más resinas estén disponibles para el moldeador rotacional, puede ser difícil hacer frente a una amplia gama de características de procesamiento. La naturaleza física de las resinas puede variar en términos de la calidad del polvo (diferentes formas de partículas, distribuciones, etc.) así como diferentes formas de gránulos, micro gránulos, líquidos, etc. Además, las características reológicas de los

materiales pueden ser bastante diferentes en términos de sus viscosidades de fusión, elasticidades, etc. Así que esto plantea la pregunta ¿Podemos definir las mejores características? en una resina de moldeo rotacional? Desafortunadamente, no hay una respuesta simple a esto, aunque a partir de la experiencia pasada y los resultados de investigaciones recientes podemos identificar algunas de las características que son deseables para hacer que una resina sea susceptible al moldeo rotacional (Troner, 1993).

3.10. Tipos de máquinas de moldeo rotacional

Dado que las piezas moldeadas por rotación varían en volumen desde 0.05 litros hasta más De 10.000 litros, la generalización en tipos de máquinas es difícil. Los aspectos comunes del proceso son que el molde y su contenido debe ser girado, calentado y enfriado. También tiene que haber una oportunidad conveniente para quitar el producto final del molde y poner una carga nueva de plástico en el molde. Además, mientras que la estación de servicio es siempre necesaria, No todas las máquinas necesitan hornos o estaciones de enfriamiento. Si un líquido reactivo tal como polímero se utiliza resina epoxi o poliéster insaturado catalizado, la formación de la estructura monolítica se produce sin calor externo y la forma del producto final se conserva sin necesidad de enfriamiento. Además, en algunos casos, el ciclo de calentamiento es tan largo que la refrigeración puede ser lograda simplemente permitiendo que el molde gire en el aire de la habitación inactiva.

Sin embargo, hay algunos tipos básicos de máquinas de moldeo rotacional comerciales que son comunes en toda la industria. Las variedades de máquinas que están disponibles se describen a continuación.

3.11. Máquinas de rock and roll

Este concepto de diseño de una acción oscilante alrededor de un eje ("roca") y una completa la rotación de 360° sobre un eje perpendicular ("rollo") fue una de las más antiguas utilizado para moldeo rotacional (Figura 3.3). Se ha aceptado en general que las máquinas que son capaces de proporcionar una rotación completa de 360° alrededor de dos ejes perpendiculares tienen el concepto de "rock and roll". Durante mucho tiempo se ha pensado que las máquinas de rock and roll son más adecuadas para los productos finales que son aproximadamente simétricos con respecto a un eje central, como postes de lámparas, canoas, y kayaks. Sin embargo, en los últimos años ha habido un renovado interés en máquinas de rock and roll porque ofrecen simplicidad en el diseño y tienen la principal ventaja es que es más fácil obtener servicios desde y hacia el molde.

También se ha encontrado que el control sobre la distribución del espesor de la pared puede ser tan bueno como el logrado en una máquina de rotación biaxial, para la gran mayoría de formas de moldes (Roy J, 2002).

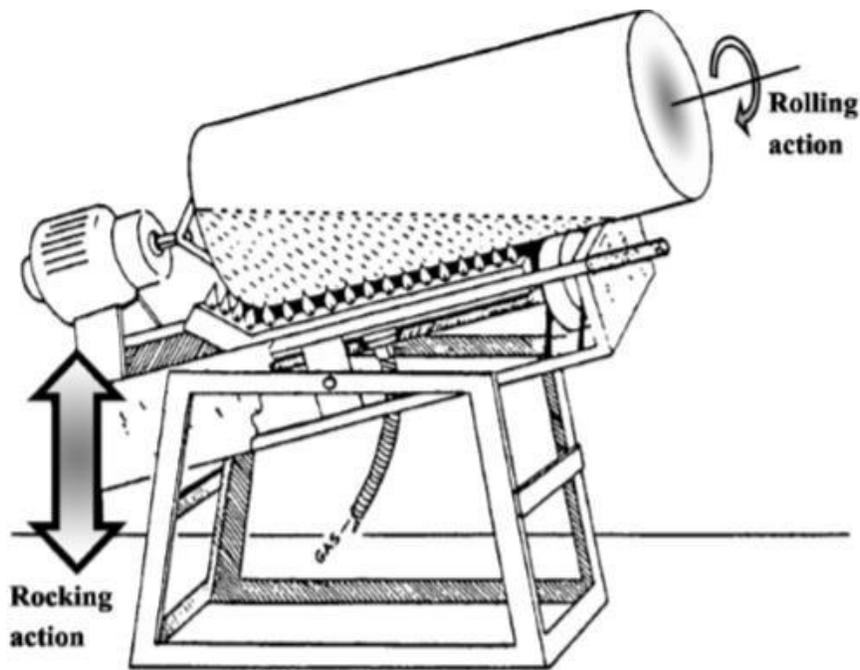


Figura 3.3 Típica máquina de rock and roll (Roy J, 2002).

3.12. Máquinas de almeja

Esta máquina se caracteriza por un horno que se cierra en una "almeja" (Figura 3.4) Estas máquinas tienen la atracción de una pequeña huella de suelo. La máquina proporciona una rotación biaxial completa y tiene la ventaja de que el eje horizontal puede apoyarse en ambos extremos. Los moldes están ubicados en ensamblajes que a su vez están montados en plataformas giratorias orientadas a través del eje principal. Cuando la puerta del horno está cerrada, el eje principal gira, girando los moldes en forma de noria y a través del engranaje giran los moldes sobre sus ejes.

El aire caliente circula a través del gabinete hasta que el polímero alcanza la temperatura apropiada, luego el enfriamiento se produce mediante aire frío y / o agua niebla. Al finalizar el ciclo de enfriamiento, la puerta del gabinete se abre, se abren los moldes y se retiran las piezas de los moldes, luego se limpian, inspeccionan y rellenan

con polímero y el siguiente ciclo comienza. En algunos diseños de máquinas de concha, los moldes salen del horno al final de la fase de calentamiento para que el enfriamiento pueda tener lugar externamente. Esto hace que la cámara del horno sea libre de recibir otro juego de moldes mientras que el conjunto de moldes anterior se está enfriando y revisando.

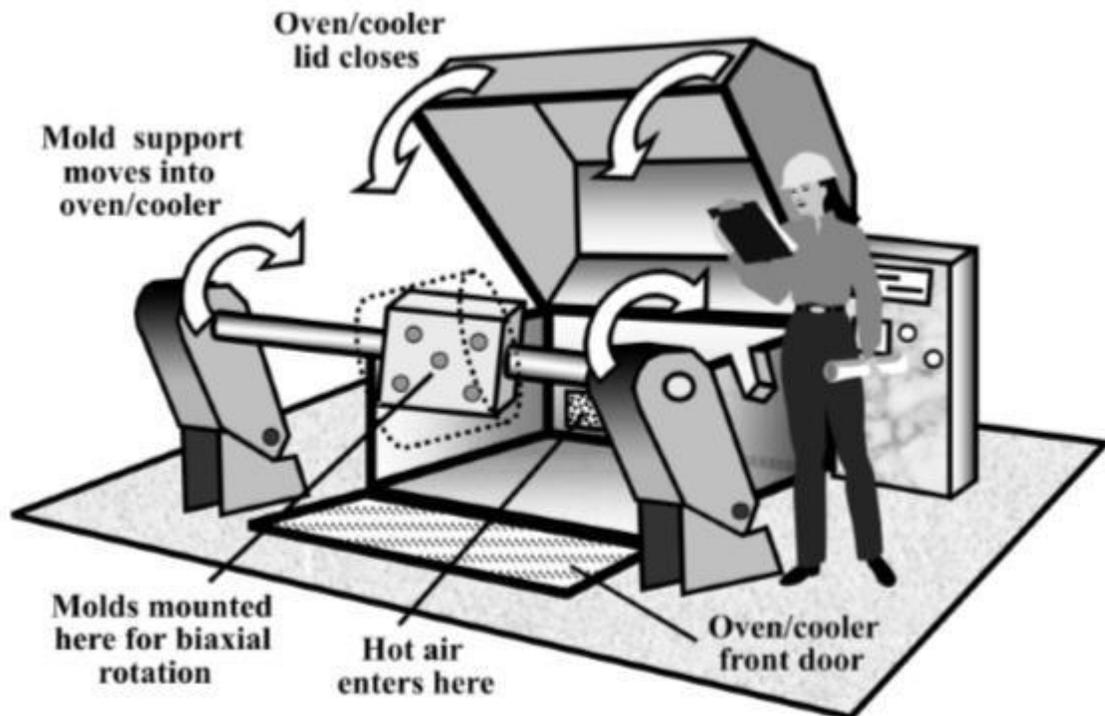


Figura 3.4 Típica máquina de rock and roll (Roy J, 2002).

3.13 Máquina de carrusel de brazo fijo

El carrusel, torreta o máquina rotativa fue desarrollado para una larga producción (Figura 3.5). Ahora es uno de los tipos de máquinas más comunes en la industria. Las primeras máquinas tenían tres brazos separados a 120° que fueron empujados desde una sola torreta. Todos los brazos giran juntos en máquinas de brazo fijo. Un brazo está en cada una de las tres estaciones. La máquina de carrusel ejemplifica las ventajas del moldeo rotacional proceso en que diferentes moldes, y tal vez diferentes

materiales se pueden ejecutar en cada brazo. Es posible cambiar las combinaciones de moldes en uno o en los otros brazos a intervalos regulares para que haya una gran versatilidad en los programas de producción (Roy J.C, 2002).

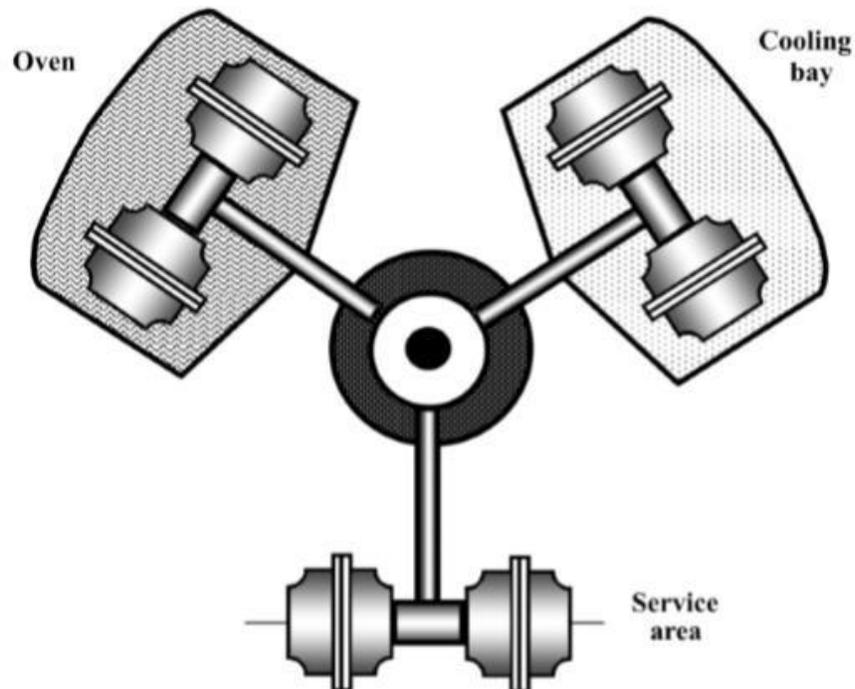


Figura 3.5 Máquina de Carrusel de brazo fijo (Roy J, 2002).

3.14. Máquinas de flama abierta

En este tipo de máquinas el calentamiento se realiza mediante varios sopletes, y no existe horno, de manera que las pérdidas de calor son mayores y el ciclo de producción será mucho más largo (Figura 3.6) (Alba, 2013).



Figura 3.6 Máquina de rotomoldeo por flama abierta (Alba, 2013).

3.15. Anatomía general del ciclo de moldeo rotacional

La Figura 3.7 muestra temperaturas continuas en varios lugares dentro y alrededor del molde, estas temperaturas para todo el ciclo de calentamiento y enfriamiento de un molde que gira en un aire caliente casi isotérmico. La temperatura exterior de la superficie del molde exhibe una respuesta transitoria clásica de primer orden a un cambio gradual en la temperatura ambiental. Para la mayoría de los materiales del molde, debe haber una diferencia relativamente pequeña entre la temperatura de la superficie del molde exterior y la temperatura de la superficie del molde interior. Como se muestra en la Figura 3.7, la diferencia de temperatura a través del molde se mide a aproximadamente 10°C a 30°C , un valor mucho mayor de lo esperado. Sin embargo, las diferencias de temperatura de esta magnitud se han medido en moldes estáticos mantenidos en hornos de aire caliente. Mientras que la pérdida de calor en el aire de la cavidad ambiental del molde y el polvo de polímero frío puede explicar una parte de esta diferencia de temperatura, la fuente de la mayoría de la diferencia permanece sin explicación (Roy JC. 2002).

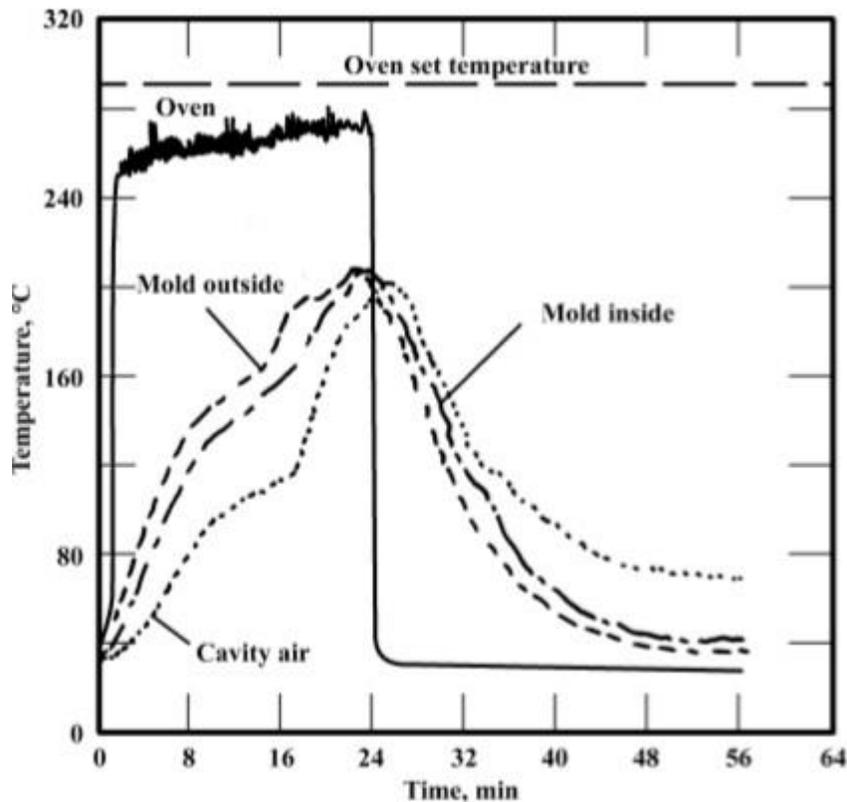


Figura 3.7 Trazas térmicas típicas de varias regiones obtenidas usando el sistema de medición de temperatura Rotolog (Roy J, 2002).

La figura 3.8 muestra la deformación en la temperatura del aire de la cavidad del molde en el punto B produce información heurística adicional. Primero, la forma de esta curva hasta este punto es un resultado directo del polvo adherido a la superficie del molde. Dado que la capa de polvo se vuelve más gruesa a medida que se consume el lecho de polvo, aumenta la resistencia a la transmisión de energía. Como resultado, aumenta la diferencia de temperatura entre la superficie exterior del molde y el aire de la cavidad del molde. La disminución en la tasa de aumento de la temperatura interna del aire también es el resultado de la fusión del plástico y de la absorción de la mayor parte del calor del horno. Dado que la temperatura del aire de la cavidad del molde imita la temperatura de la superficie interior del lecho polimérico, una transición (punto B) indica aproximadamente el tiempo en que el último polímero se ha adherido a la pared del molde y se produce la coalescencia y la densificación (Roy JC, 2002).

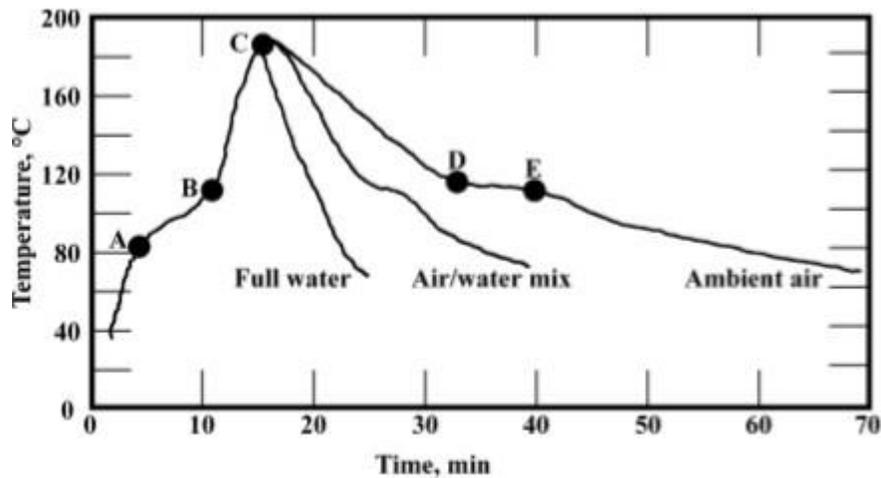


Figura 3.8 Rastros reales de la temperatura del aire de la cavidad del molde, que muestran el efecto del medio de enfriamiento sobre tiempo de enfriamiento (Roy J, 2002).

Durante la coalescencia y la densificación, el aire se elimina del polímero y la capa de polímero disminuye en espesor. Como resultado, la resistencia a la transmisión de energía disminuye y la diferencia de temperatura entre la superficie exterior del molde y el aire de la cavidad del molde disminuye. Esto se ve como una disminución en la diferencia entre la temperatura exterior de la superficie del molde y la temperatura del aire de la cavidad del molde. Además, como el polímero se funde casi por completo, existe una correlación más estrecha entre el molde y los perfiles de temperatura del aire. Esto es evidente al comparar las Figuras 3.7 y 3.8, entre los puntos B y C. Una vez que se completan la coalescencia y la densificación y la capa de polímero es monolítica, el molde puede retirarse del horno. Este evento se ve en la Figura 3.8 por la caída abrupta de la temperatura exterior de la superficie del molde. Como se espera, la temperatura de la superficie del molde disminuye como respuesta de primer orden a un cambio en la temperatura externa. La superficie del molde interior temperatura, exhibiendo una resistencia térmica, se queda atrás de la temperatura exterior de la superficie del molde. Como se esperaba, la temperatura del aire de la cavidad del molde responde aún más lentamente al cambio en la temperatura ambiental. La redondez de la curva de temperatura del aire de la cavidad del molde en su vértice,

punto C, se debe a la inversión térmica en la capa de fusión del polímero. Es decir, cuando el molde sale por primera vez del horno, el polímero contra la superficie del molde está más caliente que el que está en contacto con el aire de la cavidad del molde. A medida que el molde se enfría, la temperatura del polímero contra la superficie del molde cae rápidamente por debajo de la que está en contacto con el aire de la cavidad del molde. El proceso de inversión térmica a través del espesor del polímero lleva tiempo. El resultado medido es un redondeo del vértice de la temperatura del aire de la cavidad del molde. El alcance del sobreimpulso de la temperatura del aire interno de la cavidad depende del grosor de la pared de la pieza, como se detalla más adelante en este capítulo. El polímero ahora se enfría durante un tiempo a una velocidad aproximadamente la del molde en sí mismo, con la temperatura del aire de la cavidad del molde por detrás de la temperatura del aire de la superficie del molde debido a la resistencia térmica de la capa de polímero fundido. Otra curvatura, para polímeros cristalinos como el polietileno y polipropileno, se observa en el punto D, donde se produce la cristalización. Dado que la cristalización es un proceso exotérmico, que emite calor, el efecto se ve como una inflexión o aplanamiento de la temperatura del aire de la cavidad del molde. Esta condición continúa hasta que cesa la cristalización del polímero, punto E. Con frecuencia, se ve otra inflexión bastante mal definida, el punto F, en el rastro de temperatura del aire de la cavidad del molde. Esta inflexión se atribuye al punto donde la parte plástica se encoge lejos de la superficie interna del molde (Roy J, 2002).

3.16. Las características del flujo del polímero en polvo

Las velocidades de moldeo rotacional son bastante bajas, típicamente de aproximadamente 4 a 20 rev/min más o menos. Como resultado, la carga de polvo permanece como un lecho de polvo cerca del fondo del molde durante la primera parte del ciclo de calentamiento. Los polvos poliméricos se pueden clasificar como polvos de flujo Coulomb o polvos de flujo viscoso (Rawendaal, 1986). Las partículas

permanecen en contacto continuo con sus vecinos en cualquier situación. Para el polvo de flujo viscoso, las fuerzas de contacto son resistidas por la transferencia de impulso entre las partículas que se mueven una con respecto a la otra. Estas dos clasificaciones se ven en el moldeo rotacional. Se han observado tres tipos de movimiento (R.J. Crawford and A. Spence, 1996).

3.17. La circulación en estado estacionario del polímero en polvo

Para la circulación en estado estable del polvo en el lecho, el polvo en la superficie del molde se mueve con la superficie del molde hasta que la masa excede el ángulo dinámico de reposo (Figura 3.9). Para la mayoría de los polvos poliméricos, este ángulo está entre 25 y 50 por encima de la horizontal. En ese punto, la masa se separa de la pared del molde y cae en cascada a través de la superficie estática de la mayor parte del lecho de polvo. Este tipo de flujo es continuo y el caudal se altera solo por la geometría del molde. El polvo que tiene este tipo de comportamiento de flujo generalmente se caracteriza por tener forma esférica o de huevo cuadrado y fluir libremente. Los polvos que exhiben circulación en estado estacionario se clasifican como polvos de flujo viscoso. La circulación en estado estacionario se observa cuando la superficie del molde es bastante rugosa, los tamaños de partícula son bastante grandes y el volumen de polvo es moderado en comparación con el volumen del molde (R.J. Crawford and A. Spence, 1996).

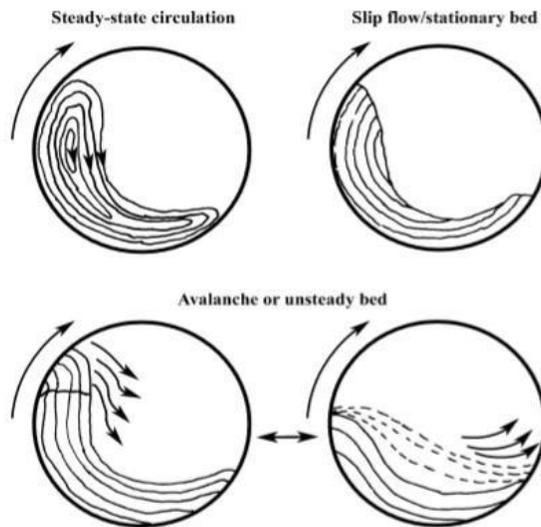


Figura 3.9 Tres tipos de circulación del polímero en polvo (R.J. Crawford and A. Spence, 1996).

3.18. Conceptos generales del diseño

De los tres procesos de un solo lado de la competencia, el termoformado, el moldeo por soplado y el moldeo rotacional solo el moldeo rotacional tiene el potencial de producir un espesor de pared uniforme incluso para la parte más compleja. Muy simple, esto se debe a que el polvo de polímero se adherirá preferentemente a la superficie más caliente. Mientras el polvo de polímero llegue a todas las superficies de la cavidad del molde, la adhesión se producirá de manera uniforme. Sin embargo, esto no implica que cada pieza moldeada rotacionalmente tenga un espesor de pared uniforme. Las paredes del molde pueden tener superficies localmente calientes y frías. El flujo de polvo puede estar restringido en algunas áreas del molde y puede quedar atrapado en otras (Beall, 1998).

Sin embargo, ciertas pautas generales son útiles cuando se consideran los aspectos de diseño mecánico de las piezas moldeadas rotacionalmente. Los principales se dan a continuación (Beall, 1998).

La humedad del polímero conducirá a la formación de microburbujas, que actúan como concentradores de estrés. La presencia de burbujas también puede conducir a una menor resistencia al impacto.

Se debe tener cuidado al extraer una pieza tibia de polipropileno o nylon del molde, ya que el polímero puede no cristalizarse completamente y cualquier distorsión puede volverse permanente.

Si la deformación es severa, se debe reducir la velocidad de enfriamiento durante el moldeo. Si la deformación continúa siendo severa, puede ser necesaria la presurización del molde.

El moldeo rotacional se usa para hacer piezas con paredes paralelas o casi paralelas. La distancia entre las paredes debe ser suficiente para permitir el flujo de polvo y minimizar el puente. La distancia entre paredes debe ser al menos tres veces el espesor de pared deseado. Se recomiendan cinco veces.

Si la parte está puenteada en una región determinada, tardará más tiempo en enfriarse en esa región. El resultado será la generación de vacíos internos y la contracción diferencial, lo que puede provocar distorsión parcial y marcas de hundimiento localizadas. En su mayor parte, el moldeo rotacional produce piezas libres de tensión. Sin embargo, en las áreas puenteadas, las tensiones locales pueden ser bastante altas y pueden provocar fallas en la parte local por fatiga o flexión.

Si la profundidad de la cavidad externa del molde es mayor que el ancho a través de la cavidad, la transferencia de calor al fondo de la cavidad puede estar restringida. El resultado será que el grosor de la pared en el interior de la pared doble puede volverse muy delgado, especialmente en la parte inferior de la pared. Los deflectores estacionarios en la superficie del molde son efectivos para cavidades con relaciones de profundidad a ancho inferiores a aproximadamente 0,5.

Las almohadillas de aislamiento se aplican a un área local para minimizar el grosor en esa área. Las regiones donde se desea poco o nada de plástico incluirían áreas para

recortar en la parte final. Si la pieza necesita tener una pared más gruesa en un área determinada, la pared del molde se hace más delgada o el molde está hecho de un metal de conductividad térmica más alta en esa área.

El radio pequeño dentro de las esquinas del molde generalmente tarda más en calentarse y enfriarse y, por lo tanto, las paredes parciales pueden ser más delgadas en las esquinas que en las paredes laterales adyacentes. Los radios generosos mitigan este problema. Las esquinas exteriores de radio pequeño tienden a calentarse y enfriarse más rápidamente y, por lo tanto, las paredes parciales pueden ser más gruesas en las esquinas que en las paredes laterales adyacentes. Una vez más, los radios generosos mitigan este problema.

Las piezas rotacionalmente moldeadas generalmente se forman en moldes hembra a presión atmosférica, y la contracción permite que la pieza se separe del molde. Esto permite que las piezas se moldeen sin ángulo de tiro y, por lo tanto, lados verticales.

Aunque el moldeo rotacional no utiliza presión, el polímero contra la pared del molde está fundido. Como resultado, es posible transferir una textura bastante fina desde la pared del molde a la parte terminada. Los procesos competitivos como el termoformado y el moldeo por soplado requieren presiones diferenciales de 3 a 10 atmósferas para lograr resultados similares (Berins, 2012).

Los cortes profundos, que incluyen roscas internas complejas, son posibles mediante un diseño de molde adecuado.

En muchos casos, la parte rotacionalmente moldeada debe ensamblarse a otras partes utilizando tornillos o sujetadores metálicos. Los insertos metálicos se han desarrollado especialmente para el moldeo rotacional. Estos insertos, generalmente de un metal de alta conductividad térmica, se colocan en el molde antes del llenado del polvo. El polvo se derrite y fusiona el inserto con la parte del cuerpo. A medida que el polímero se contrae, se comprime alrededor del inserto, manteniéndolo en su lugar. Sin embargo, el metal evita que el polímero se contraiga por completo. Como resultado, se imparten

tensiones residuales en la región de inserción. Estas tensiones pueden ser una fuente de falla parcial durante el uso. Para minimizar las correas y la concentración de tensión indebida, los insertos metálicos deben estar a tres o cinco espesores de pared lejos de las esquinas.

La resistencia mecánica de una pieza moldeada rotacionalmente siempre debe considerarse en el diseño de la pieza, ya sea que el producto sea un tobogán acuático para niños, un tanque de combustible para un vehículo militar o una puerta de acceso para un armario eléctrico. El rendimiento mecánico de las piezas de polímero se entiende mejor en términos del tiempo durante el cual la pieza está sujeta a carga. El término carga moderada se ejemplifica por las propiedades de flexión, compresión y tracción tales como el módulo y la resistencia. La carga a corto plazo se caracteriza por el impacto. La carga a largo plazo se caracteriza en términos de relajación del estrés, fluencia y fatiga por flexión (Beall, 1998).

3.19. Algunas consideraciones generales del diseño de moldes en rotomoldeo.

El diseño de productos rotomoldeados requiere una relación de trabajo entre estética y rendimiento. Moldeo rotacional ofrece al diseñador. Una forma única de fabricar artículos voluminosos, desde bolas simples hasta complejas estructuras de paredes casi paralelas. Dado que se aplica muy poca presión y cizallamiento durante el procesamiento, los productos están esencialmente libres de tensiones (Beall, 1998).

CAPÍTULO IV

4. MATERIALES

4.1 Materiales utilizados en la investigación.

- a) Computadora portátil: Se utilizó para realizar los análisis estadísticos requeridos.
- b) Máquina de rotomoldeo: En esta máquina fue en donde se realizaron las mediciones de las temperaturas a lo largo de toda la investigación (Figura 4.1).



Figura 4.1 Máquina de rotomoldeo por medio de flama abierta (Alba, 2013).

- c) Pirómetro: Es un termómetro manual que nos permitió la medición de las temperaturas en el interior del molde por medio de luz infrarroja (Figura 4.2). Ver anexo 3.



Figura 4.2 Pirómetro (C&M, 2014) Ver anexo 4.

4.2 Materiales utilizados en el desarrollo del prototipo.

- a) Computadora portátil: En ella se encuentra instalado el sistema que nos permite monitorear los grados centígrados que nos arroja el prototipo.
- b) Termocupla tipo K: Una termocupla o termopar, es un transductor que se forma al unir dos metales distintos para que así se produzca una diferencia de potencial que es pequeña (de acuerdo con el orden de los milivoltios), lo que es función de la diferencia de la temperatura entre uno de sus extremos que se denomina punto caliente y el otro llamado punto frío. Por lo anterior, este dispositivo sirve como transductor, es decir traduce un tipo de señal en otra. En este caso si se aplica temperatura a la unión de los metales, se generará una diferencia de tensión entre los dos alambres. Por lo que en este caso la termocupla sirve para traducir una señal de temperatura en una señal de voltaje (Isma, 2016).



Figura 4.3 Termocupla tipo K. (Isma, 2016).

- c) Convertidor analógico a la digital para termocupla tipo K Max6675: El MAX6675 es un sofisticado convertidor de termopar a digital con un convertidor analógico a la digital (ADC) incorporado de 12 bits. El MAX6675 también contiene unión fría de detección y corrección de compensación, un controlador digital, una interfaz compatible con SPI y asociados lógica de control. El MAX6675 está diseñado para funcionar junto con un microcontrolador externo (μ C) u otra inteligencia en aplicaciones termostáticas, de control de procesos o de monitoreo (Integrated, 2014).

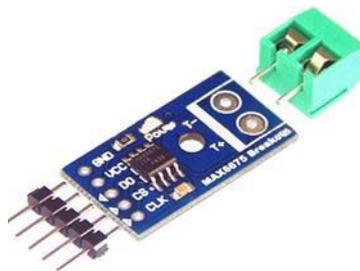


Figura 4.4 Max 6675 (Integrated, 2014) Ver anexo 5.

- d) Arduino Uno: Es una plataforma de creación de electrónica de código abierto, la cual está basada en hardware y software libre, flexible y fácil de utilizar para los creadores y desarrolladores. Esta plataforma permite crear diferentes tipos de microordenadores de una sola placa a los que la comunidad de creadores puede darles diferentes tipos de uso (F, 2018).



Figura 4.5 Arduino uno (Integrated, 2014).

- e) Servomotor MG995: Un servomotor conocido como servo o servo de es un dispositivo actuador que tiene la capacidad de ubicarse en cualquier posición dentro de su rango de operación, y de mantenerse estable en dicha posición. Está formado por un motor de corriente continua, una caja reductora y un circuito de control, y su margen de funcionamiento suele ser de menos de una vuelta completa.



MG995 Servo Motor

Figura 4.6 Características de servo motor (101, 2018).

- f) Válvula comercial de gas: La válvula que en conjunto con el servomotor crean el actuador. La válvula es un mecanismo que sirve para regular el flujo de algún gas o fluido.

- g) Quemador comercial de gas: Dispositivo que facilita la mezcla de un combustible y un comburente y en el que se produce la combustión.

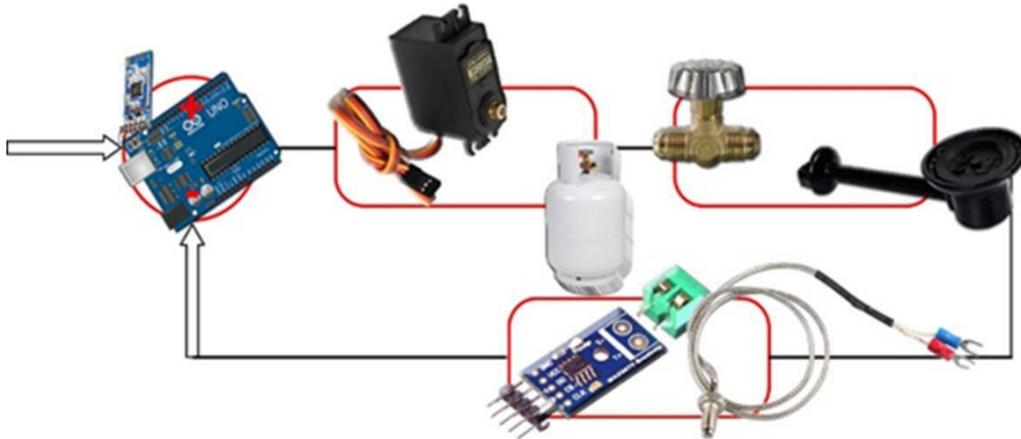


Figura 4.7 Control de circuito cerrado.

En la figura 4.7 se muestra el control de circuito cerrado, está formado por estos elementos descritos anteriormente que se inician mediante el censo de la temperatura que procesa y evalúa el Arduino, de esa manera controla el actuador que, en consecuencia, acciona la válvula colocándola con los grados de apertura apropiados y regulando así el sistema de forma independiente. El prototipo consiste en un sistema de control de temperatura que consta de dos sensores de temperatura termopar tipo K con el módulo Max6675 que detectan la temperatura de la llama y la temperatura ambiente, ambas señales se envían al Arduino; el servomotor está controlado por Arduino y su biblioteca de servos; Este servomotor controla directamente la válvula que permite el flujo del gas al quemador que genera la llama. En la Figura 4.8, se muestran los elementos físicos que hacen posible el sistema de circuito cerrado.

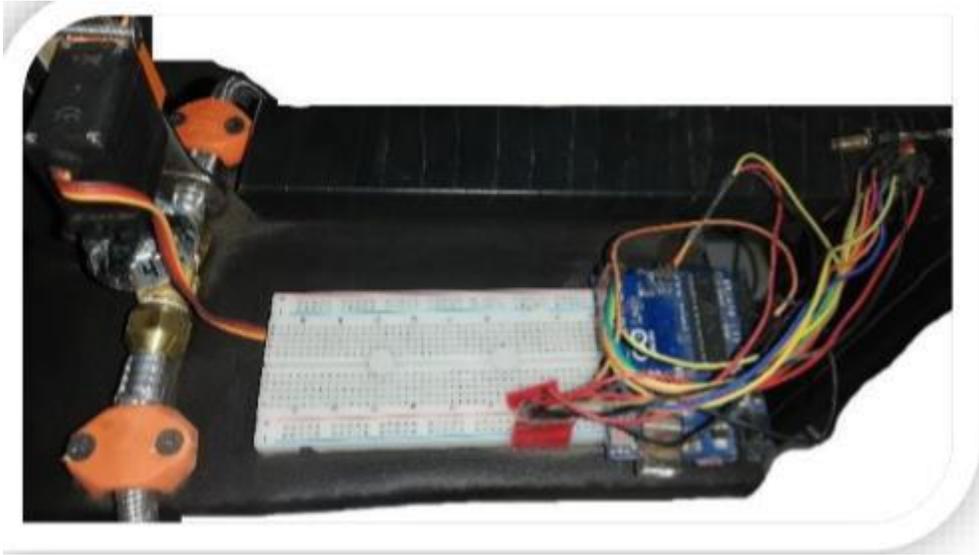


Figura 4.8 Montaje de elementos de prototipo.

CAPÍTULO V

5. METODOLOGÍA

El presente trabajo de investigación se realizó sobre el siguiente diseño de etapas:

Etapa 1: Formulación y planteamiento del problema.

Etapa 2: Revisión bibliográfica y documental.

Etapa 3: Revisión del objetivo general y específico.

Etapa 4: Redacción de los interrogantes.

Etapa 5: Caracterización y selección de las fuentes de información.

Etapa 6: Selección de las técnicas de investigación.

Etapa 7: Investigación documental.

Etapa 8: Investigación de campo tomando temperaturas como punto de referencia.

Etapa 9: Análisis estadístico de temperaturas como punto de referencia.

Etapa 10: Diseño de prototipo.

Etapa 11: Implementación de prototipo en máquina de flama abierta por medio de rotomoldeo.

Etapa 12: Obtención de base de datos por medio de prototipo.

Etapa 13: Análisis estadístico de temperaturas obtenidos con prototipo.

Etapa 14: Resultados obtenidos por medio de análisis estadístico de temperaturas después de la implementación de prototipo.

Etapa 15: Elaboración de conclusiones y recomendaciones.

Etapa 16: Descripción de trabajos futuros.

Etapa 17: Elaboración de anexos.

CAPÍTULO VI

6. RESULTADOS

Como ya se explicó en capítulos anteriores el proceso de rotomoldeo consiste en introducir material en el molde hasta que por medio de calor se adhiera por completo en las paredes de este, por lo cual, Uno de los puntos más importantes en el proceso de rotomoldeo es cuando el material en este caso polietileno de media densidad es adherido completamente al molde. Las temperaturas ideales en grados centígrados por recomendación del proveedor y en base a las pruebas de calidad que se realizan mediante la norma NMX-C-374-ONNCCE-CNCP-2012 son dentro de un rango de 180°C a 205°C, de tal manera que se desea que por medio del prototipo se mantenga la temperatura dentro de estos límites establecidos en la norma.

Se tomó una muestra de sesenta y de la temperatura alcanzada cuando el material estaba adherido por completo en la pared del fondo del molde, siendo esta temperatura la más importante de todo el ciclo.

A continuación, se muestra la Tabla 6.1, en la que podemos observar los resultados de las muestras de temperaturas alcanzadas cuando el material estaba completamente adherido al molde, cada una de ellas representa un ciclo del proceso de tal manera que fueron sesenta y un productos terminados. En la Figura 6.1 se muestran las temperaturas graficadas, de tal manera que nos podemos dar cuenta a simple vista de las variaciones que existen en cada proceso.

Muestreo de temperatura en el fondo del molde del tinaco en grados centígrados.

Tabla 6.1 Gráfica de grados centígrados después de la implementación del prototipo.

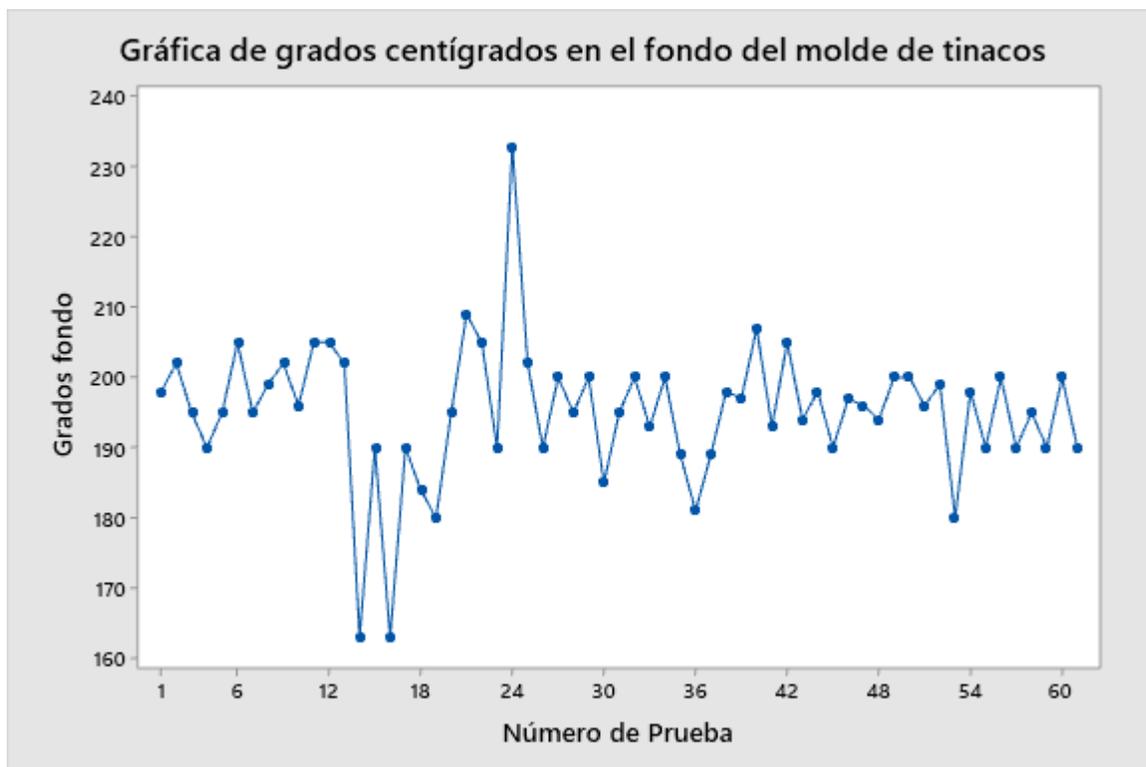


Figura 6.1 Gráfica de grados centígrados en el fondo del molde de tinacos.

En la Figura 6.2 se muestra la gráfica con los límites de las temperaturas ideales en grados centígrados para el interior del fondo del molde del tinaco de 750L, de tal forma que se pueden observar tres temperaturas sobre el límite superior y dos temperaturas por debajo del límite inferior, lo que significa que un 8% del producto terminado de esta muestra no cumple con las temperaturas esperadas, por lo tanto, estamos hablando de producto defectuoso.

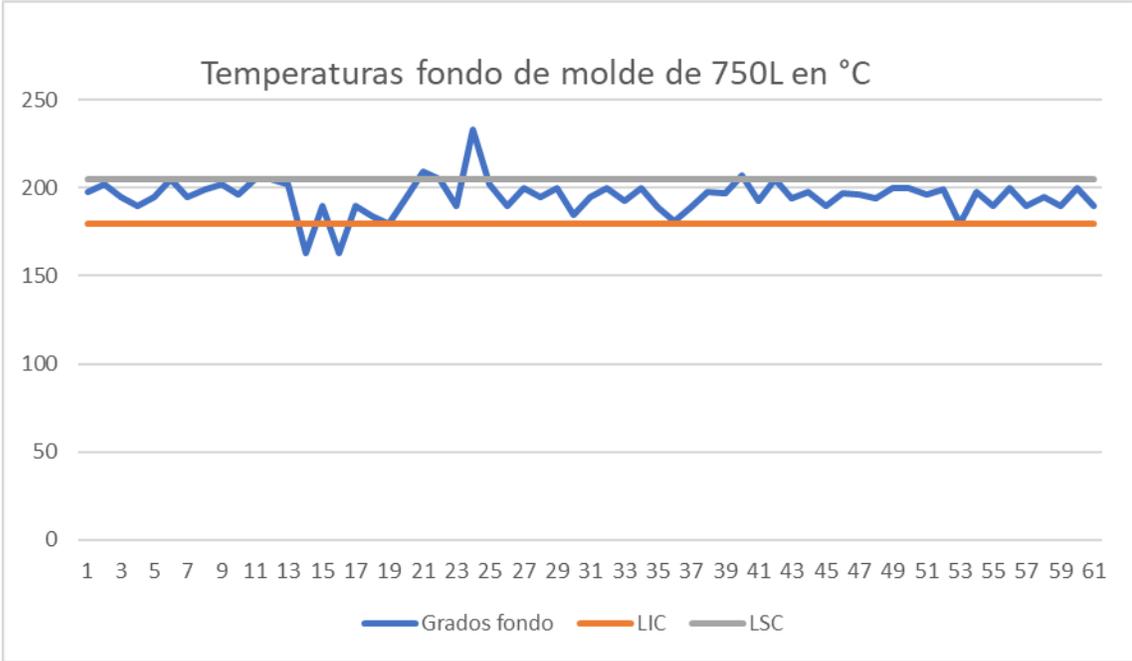


Figura 6.2 Límites de temperatura en fondo del molde para tinaco de 750L.

En la figura 6.3 se muestra un ejemplo de defecto por cuestión del exceso de temperatura en un producto terminado, se observa que el tinaco ha perdido sus propiedades y no cumple con la calidad esperada por el cliente. Cabe mencionar que

un defecto no solo representa pérdida del producto, sino que también impacta en el que la empresa deje de producir en el tiempo que se emplea para la solución del problema, de tal forma que dependiendo del defecto que ocasionen las altas temperaturas o las bajas temperaturas la empresa deja de tener ganancias económicas, retraso de la producción, el costo de producción se eleva, y hasta puede ser la causa de pérdida de clientes.



Figura 6.3 Límites de temperatura en fondo del molde para tinaco de 750L.

Por lo que una vez analizadas las temperaturas de los procesos en el área de rotomoldeo en la máquina de flama abierta 1 se procede a realizar pruebas por medio de prototipo descrito con anterioridad, el cual permitirá la estandarización de la temperatura en cada proceso.

Primeramente, fue la colocación de prototipo en máquina de flama abierta 1: Se instaló el sensor de temperatura directo en la flama del fondo del tinaco. Cabe mencionar que el prototipo lo que mide es la temperatura de la flama de tal manera que si controlamos la temperatura de la flama podemos estar controlando la temperatura que alcanza el interior del molde.

En la Figura 6.4 y 6.5 se observa la parte del sensor del prototipo instalado en la máquina de rotomoldeo el cual nos permitirá obtener las lecturas de temperatura, según el set point establecido.



Figura 6.4 Colocación de sensor en máquina de flama abierta 1.

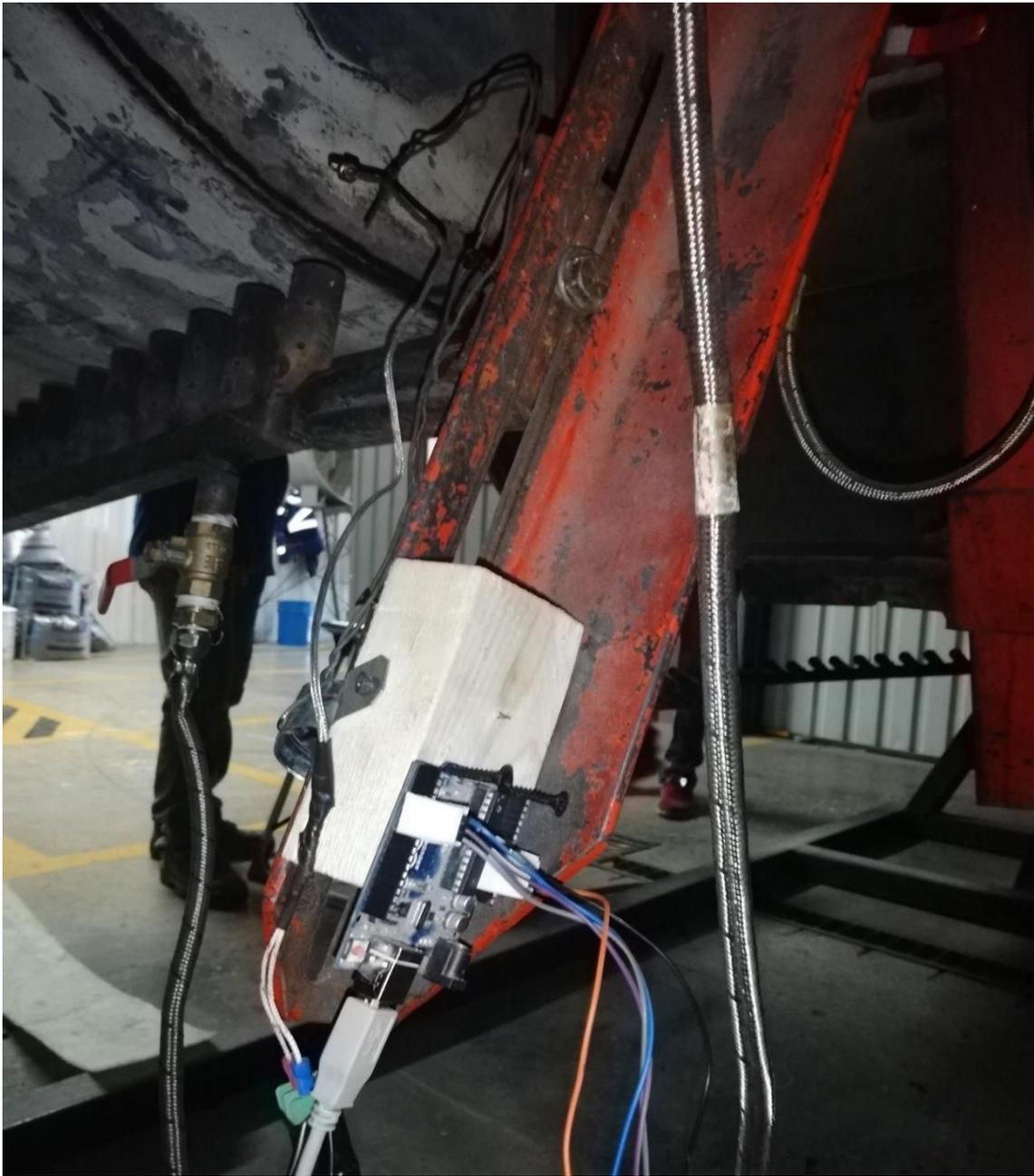
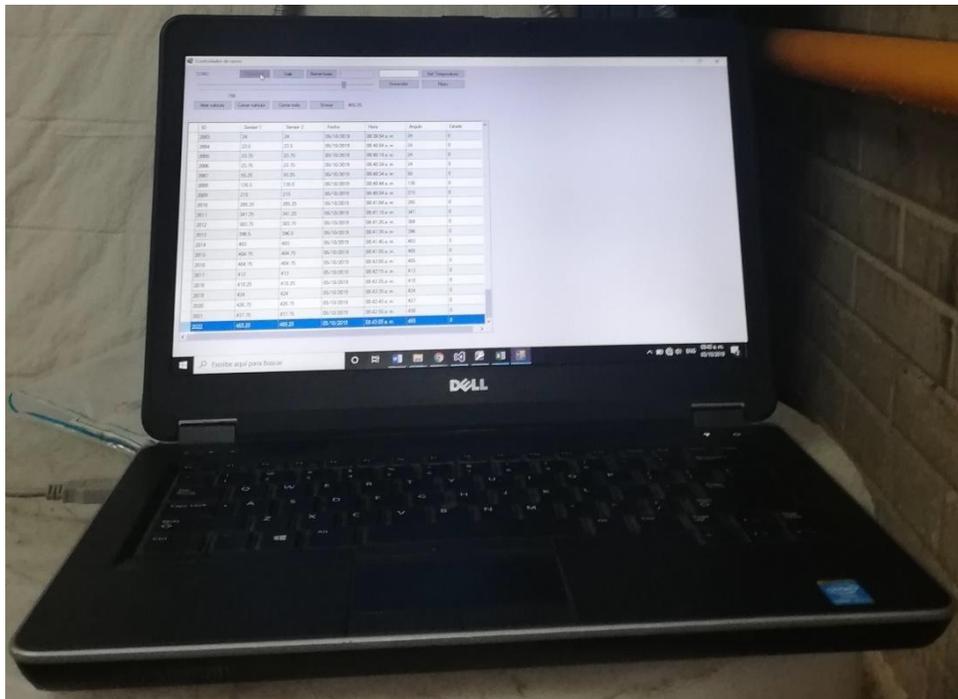
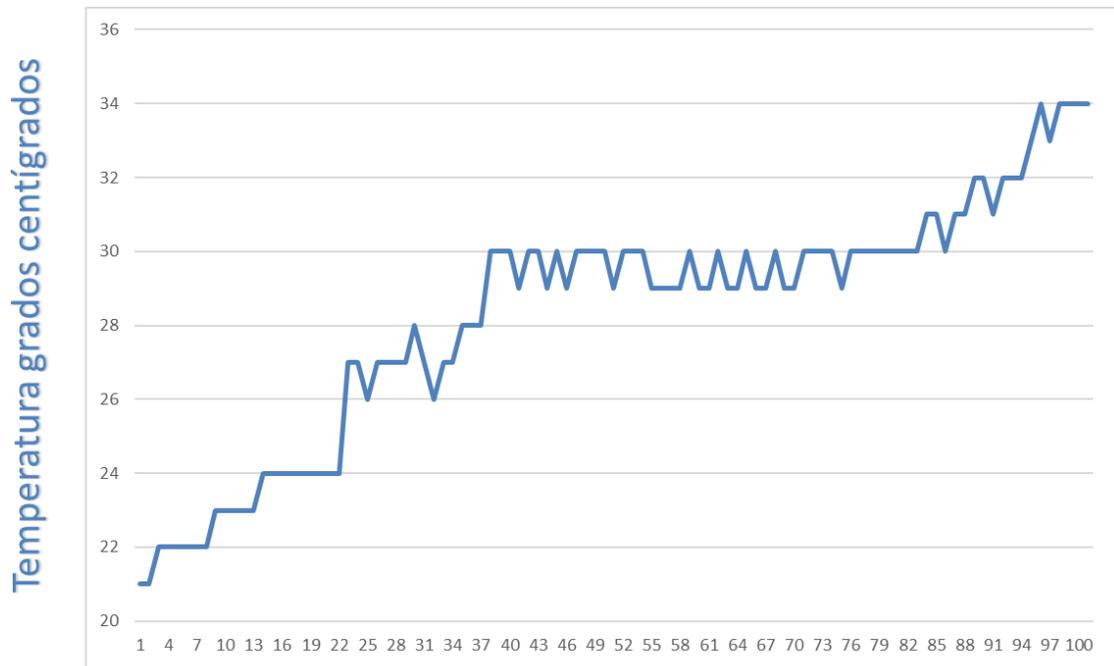


Figura 6.5 Prototipo instalado en máquina de flama abierta 1.





Muestreo cada 5 segundos

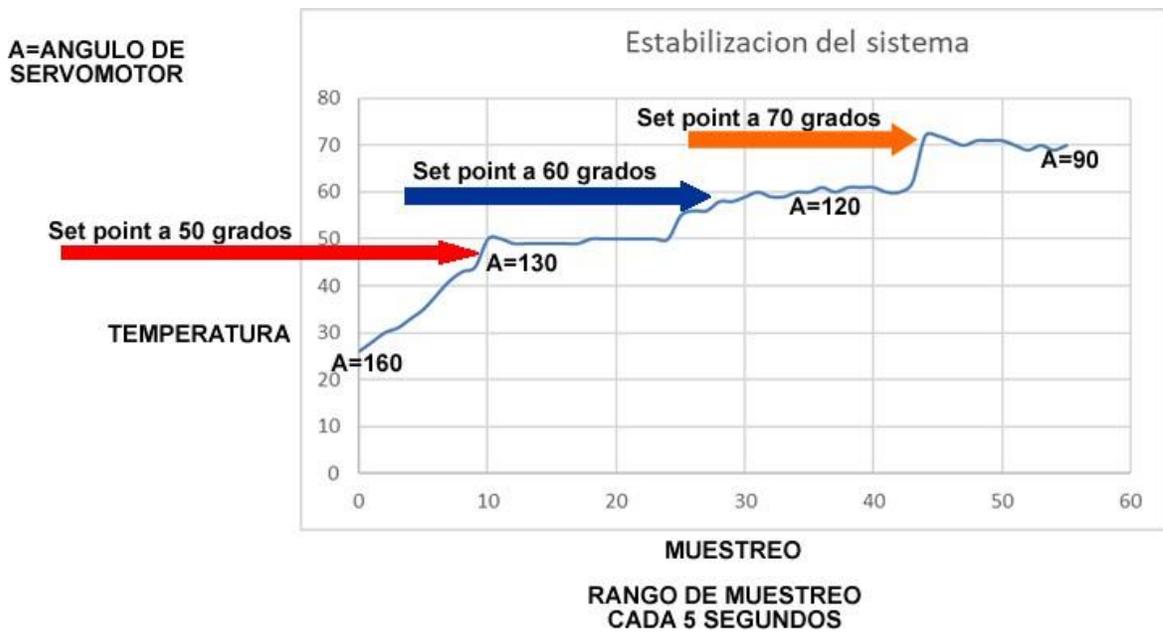


Figura 6.7 Segunda prueba estabilización del sistema.

En la figura 6.7 se establecen diferentes puntos de ajuste en el prototipo para saber si efectivamente realiza su función con exactitud, primeramente, se estableció a 50 grados aumentando de 10 en 10 hasta llegar a 70 grados y se observa que efectivamente la temperatura responde a las temperaturas indicadas. Con la certeza de que el prototipo responde correctamente se procede a realizarlos monitoreos en los procesos ya con el prototipo instalado en máquina de flama abierta 1.

En la figura 6.8 se muestra el sistema de monitoreo que fue realizado en Visual Basic exclusivamente para obtener las lecturas de las temperaturas que nos arroja el sensor de temperatura, beneficiando a la empresa para obtener un mayor número de temperaturas en cada ciclo del proceso, las bases de datos de temperaturas ayudarán al departamento de reclamación por garantía, porque se tendrán absolutamente todas las temperaturas cada 5 segundos en cada uno de los procesos, lo cual impacta directamente el servicio al cliente y el compromiso que la empresa tiene de cumplir con la completa satisfacción de sus cliente, ofreciéndoles un producto con una calidad verificada mediante el control de sus variables.

Controlador de servo

COM3

0

ARDUINO

ID	Sensor 1	Sensor 2	Fecha	Hora	Angulo	Estado
1815	29	23	05/05/2019	11:56:56 p. m.	120	0
1816	28	22	05/05/2019	11:57:01 p. m.	120	0
1817	28	22	05/05/2019	11:57:07 p. m.	120	0
1818	29	22	05/05/2019	11:57:12 p. m.	115	0
1819	28	22	05/05/2019	11:57:17 p. m.	115	0
1820	28	23	05/05/2019	11:57:32 p. m.	115	0
1821	28	22	05/05/2019	11:57:33 p. m.	110	0
1822	28	22	05/05/2019	11:57:33 p. m.	110	0
1823	28	23	05/05/2019	11:57:37 p. m.	110	0
1824	28	22	05/05/2019	11:57:42 p. m.	110	0
1825	28	22	05/05/2019	11:57:47 p. m.	105	0
1826	29	22	05/05/2019	11:57:52 p. m.	105	0
1827	29	22	05/05/2019	11:57:57 p. m.	105	0
1828	29	22	05/05/2019	11:58:02 p. m.	105	0
1829	30	22	05/05/2019	11:58:07 p. m.	100	0
1830	30	22	05/05/2019	11:58:12 p. m.	100	0

Figura 6.8 Sistema de monitoreo realizado en Visual Basic.Net, administrado en base de datos Access.

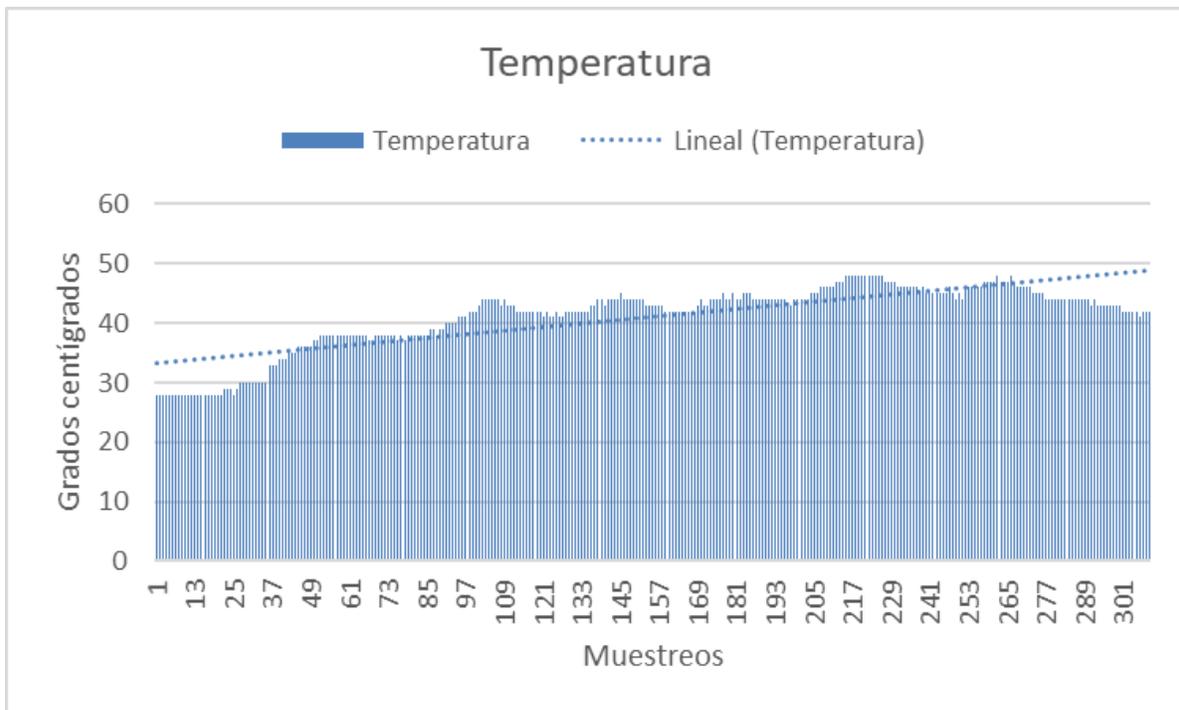


Figura 6.9 Gráfica de pruebas de mediciones de temperaturas, Ver anexo 1.

En la gráfica 6.9 se observan las temperaturas arrojadas por el prototipo en dónde se puede observar que el prototipo funciona como lo esperado puesto que nos podemos dar cuenta en esta grafica de la estabilización del proceso. Si observamos a detalle tenemos que las temperaturas ascienden y descienden constantemente, esto sucede porque el proceso de rotomoldeo consiste en tres movimientos, como se muestra en la Figura 6.10, si realizamos un plano cartesiano podemos decir que la primera posición del molde se encuentra a 60 grados de inclinación, luego baja a la posición 0 grados de inclinación y por último se encuentra a 300 grados de inclinación, es por eso la variación de la temperatura en la gráfica (Figura 6.9) a causa del movimiento se pierden unos cuantos grados de temperatura hasta que se vuelve a estabilizar el movimiento la temperatura alcanza de nuevo el punto de ajuste establecido.

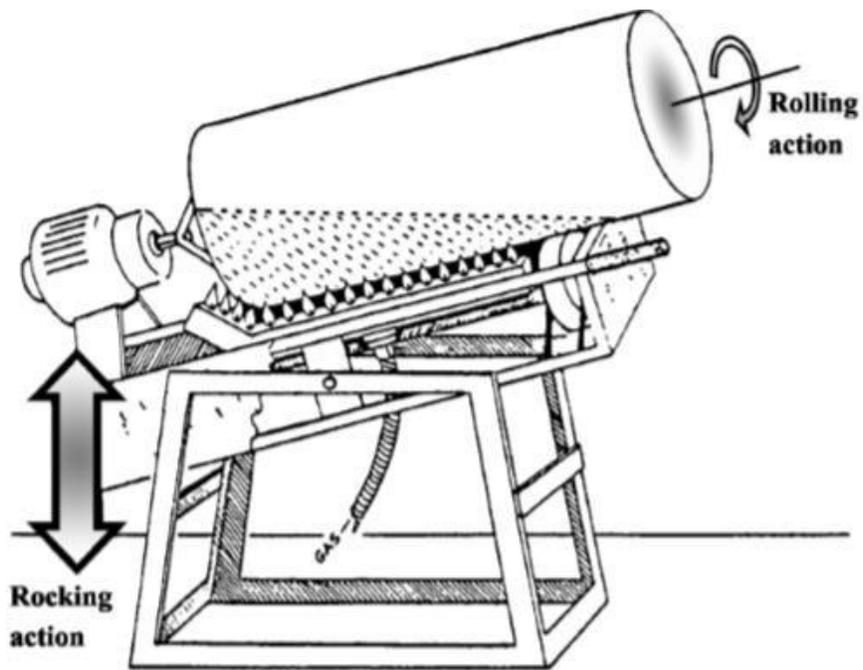


Figura 6.10 Tipica máquina de rock and roll (Roy JC, 2002).

En la Figura 6.10 podemos observar las posiciones de la máquina, cómo se encuentra la colocación de la flama y por último la parte sombreada dentro del molde que representa el polímero.

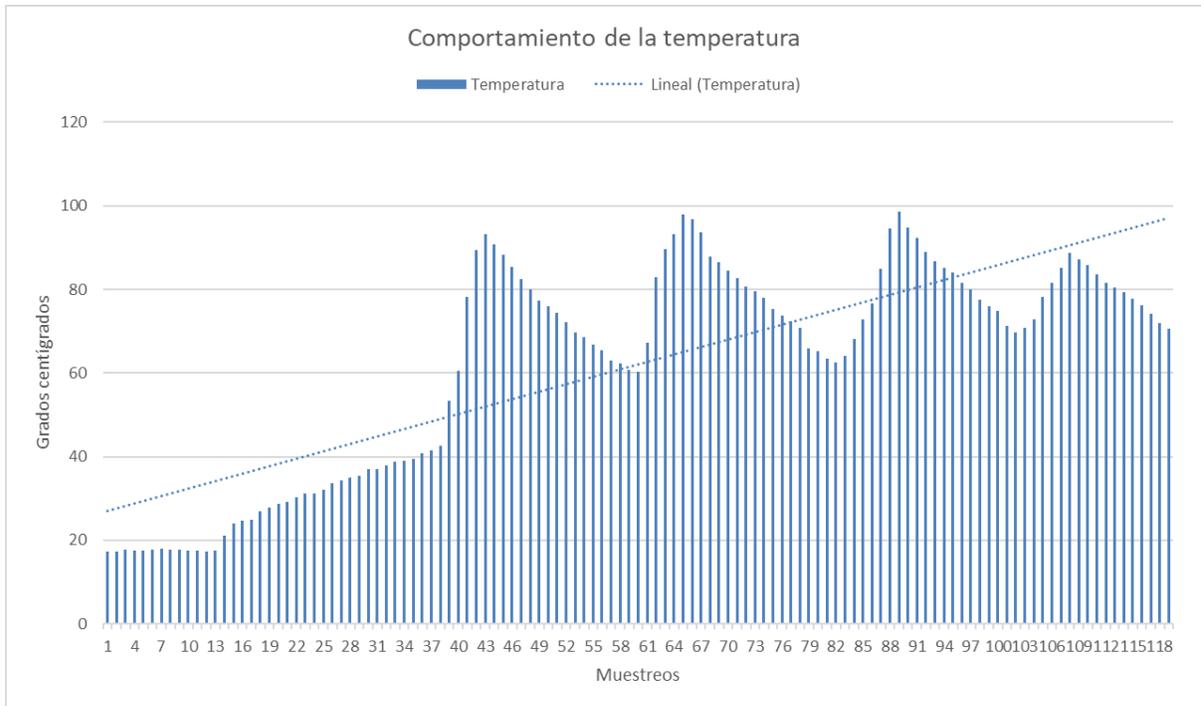


Figura 6.11 Segunda gráfica de monitoreo de temperaturas con prototipo. Anexo 2.

En la figura 6.11 se muestran las temperaturas arrojadas por medio del prototipo, pero con diferente punto de ajuste y nos damos cuenta de que efectivamente el prototipo funciona como lo esperado. De igual manera las variaciones en las ascencias y descendencias de temperatura a causa del movimiento natural del molde.

Una vez establecidos los límites de las temperaturas en el prototipo se procede a realizar un nuevo muestreo de temperaturas en el interior del molde para probar que efectivamente el prototipo mantiene los límites de temperatura establecidos. Para ello se utilizó el pirómetro descrito anteriormente.

En la Tabla 6.2 se muestra la base de datos de la nueva muestra. Las temperaturas son las siguientes:

Tabla 6.2 Grados centígrados de 61 muestras después de la implementación del prototipo en máquina de flama abierta.

1	191	16	193	31	197	46
2	187	17	200	32	189	47
3	193	18	201	33	197	
4	188	19	197	34	196	
5	192	20	189	35		
6	194	21	200	36		
7	190	22	194			
8	190	23	195			
9	194	24	1			
10	195	25				
11	200					
12	190					
13	1					
14						

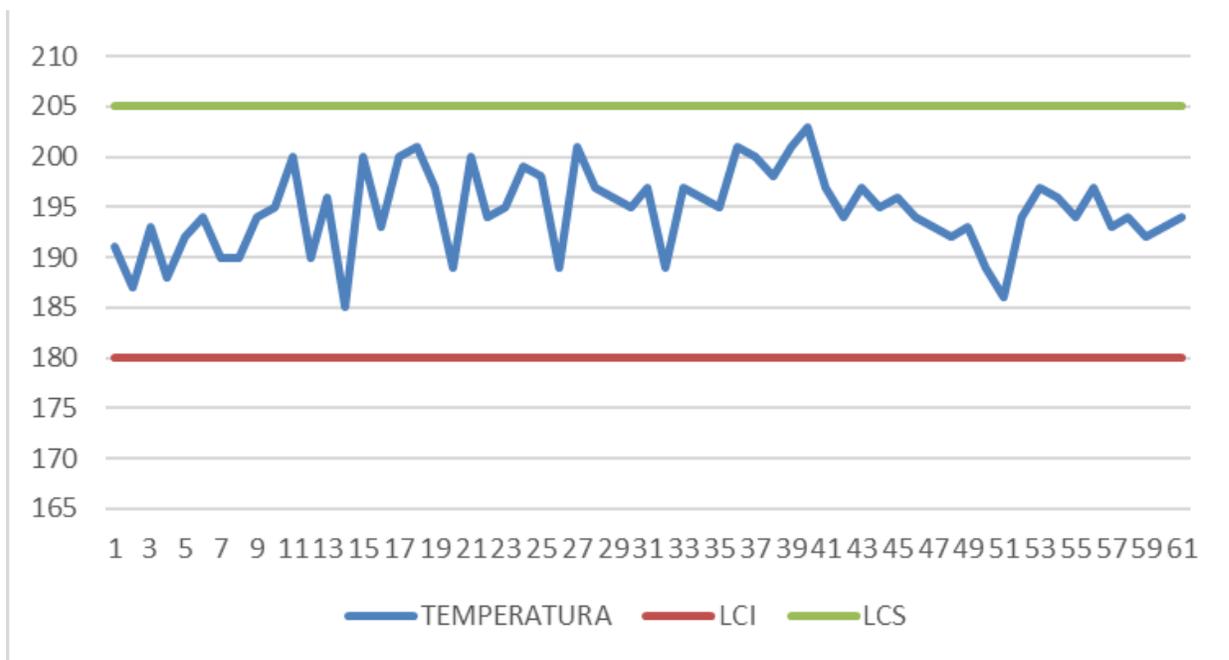


Figura 6.12 Gráfica de grados centígrados después de la implementación del prototipo.

En la Figura 6.12 se observa que de acuerdo a la muestra realizada después de la implementación del prototipo todas las temperaturas se encuentran dentro de los límites establecidos, lo cual nos dice que no se han encontrado en esta muestra defectos a causa de las altas o bajas temperaturas en el fondo del molde, podemos decir con toda seguridad que el prototipo es validado según la hipótesis establecida en la investigación ya que se demuestra que nos permite demostrar que mediante el control de la temperatura por el prototipo se disminuyen los defectos en el proceso, y además se demuestra que si es viable la implementación del mismo.

En base a los datos obtenidos por medio del prototipo para el control de temperaturas en el proceso de flama abierta en maquina 1 se puede determinar qué, el objetivo general se ha cumplido ya que se demuestra que se pueden analizar las temperaturas del proceso de rotomoldeo en los moldes de los tinacos que se fabrican en el área de flama abierta 1 para que por medio de la implementación de un control de temperatura se disminuyan los defectos en los tinacos.

Fue tan significativo e importante el impacto que se logró con el prototipo y su validación que se publicó un artículo en el Congreso Internacional en Ingeniería Electrónica, Memorias, ELECTRO, Vol. 41, pp. 26-31, oct. 2019, Chihuahua, Chih. México. http://electro.itchihuahua.edu.mx/memorias_electro/MemoriaElectro2019.zip ISSN 1405-2172. (Ver Anexo 3)

CAPÍTULO VII

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En base a los resultados obtenidos, se puede concluir que: La hipótesis se aprueba puesto que si es posible disminuir el porcentaje de productos defectuosos por medio de la implementación de un control de temperatura en el molde en el área de flama abierta en la máquina 1. Ya que con la implementación del prototipo fue posible estandarizar los límites de temperatura en el proceso de flama abierta por medio de rotomoldeo, de tal forma que en la última muestra de temperaturas no se encontró ninguna temperatura fuera de límites, lo que nos indica que el prototipo está realizando su función acerca de los puntos de control establecidos.

Así que el objetivo de la investigación se ha cumplido puesto que se ha realizado el análisis de las temperaturas alcanzadas en los moldes del proceso de rotomoldeo en la máquina de flama abierta 1 e implementado un control de temperatura por medio de prototipo, dando como resultado la obtención del monitoreo de las temperaturas cada cinco segundos, siendo éste el tiempo más óptimo para el monitoreo de las temperaturas, de tal manera que el operador se dará cuenta en cuanto se presenten variaciones de temperaturas que se salgan de los límites establecidos por el proveedor y de acuerdo con las pruebas de calidad que lleva a cabo la empresa. De esta forma el operador podrá actuar al instante para evitar los defectos en los tinacos a causa de las altas o bajas temperaturas, además se genera una base de datos que puede ser auxiliar en otro tipo de toma de decisiones o utilizarse para validar el control de la variable en el proceso en cumplimiento con los requerimientos de calidad de los clientes.

Los beneficios que la empresa obtiene con la investigación son de gran importancia debido a que, el prototipo es económico de implementar, podrá obtener las temperaturas en tiempo y forma, solución al problema de temperaturas al instante, ahorros en tiempos muertos por solución de dicho problema porque en ocasiones un inconveniente a causa de las temperaturas no deseadas representa un día completo para reparar el daño y que el molde siga siendo funcional, aquí no se habla solo de pérdida de un producto, también está la no ganancia de los procesos que se dejaron de hacer por estar solucionando problemas, los cuales se pueden evitar con la implementación del control de temperatura, por otra parte está la mejora en productividad en cada uno de los procesos, de tal manera que las entregas de los productos terminados se estarán dando en tiempo y forma a los clientes, lo que permite el posicionamiento de la empresa en alto nivel de confianza en servicio y calidad con sus clientes. Al tener una base de datos de todas las temperaturas alcanzadas a lo largo de los procesos se tiene más información para poder dar respuesta a las garantías de los productos.

Otra de las ventajas que surgió fue en base a la parte de seguridad e higiene porque el operador tenía que estar entrando constantemente al interior del área en dónde está girando el molde para tomar las temperaturas con un pirómetro, pero con la implementación del nuevo sistema de control de temperaturas se reduce el riesgo por quemaduras, ya que no será necesario que el operador este entrando al área porque el monitoreo será desde afuera y de forma automática. Dando a la empresa un punto a cumplir con la secretaria de trabajo y previsión social, por una parte y de mayor trascendencia cuidando la integridad física de los trabajadores de la empresa que se considera el recurso más importante

Recomendaciones:

Se recomienda a la empresa trabajar bajo un sistema de gestión de la calidad. Inversión en sensores industriales y la implementación del control de temperatura no solo en el fondo del molde, sino que también el cuerpo y en la tapa, con el prototipo

implementado se están eliminando los defectos a causa de temperaturas únicamente en la parte del fondo del tinaco, de tal manera que es necesario tener monitoreadas las temperaturas de todas las partes del molde.

Trabajos futuros:

Como trabajos futuros está la posibilidad de automatizar la máquina de flama abierta 2 con el mismo sistema, e implementar el encendido automático de la flama, para evitar que el operador tenga contacto en la flama.

Por otro lado, se puede realizar la implementación de una aplicación para que se puedan estar monitoreando las temperaturas desde cualquier dispositivo móvil, brindando más información el corporativo en tiempo y forma.

CAPÍTULO VIII

FUENTES DE INFORMACION

- 101, C. (20 de 11 de 2018). *Components 101*. Obtenido de <https://components101.com/motors/mg995-servo-motor>
- Alba, D. F. (01 de 11 de 2013). *Docplayer*. Obtenido de <https://docplayer.es/54096163-Universidad-politecnica-salesiana-sede-quito.html>
- Beall, G. L. (1998). *Rotational Molding: Design, Materials, Tooling and Processing*. Cincinnati: Hanser Publications.
- Berins, M. L. (2012). *Plastics Engineering Handbook of the Society of the plastics Industry*. Springer Science & Business Media.
- Brydson, J. (1999). *Plastic Materials*. London: Butterworth-Heinemann.
- Crawford R.J. and A. Spence. (1996). Roto speed. *Report for Ferry RotoSpeed/Borealis*.
- C&M, G. (12 de 05 de 2014). *Grupo C&M*. Obtenido de http://www.grupocym.pe/cms/_imgs/ficha/FICHA-TECNICA-PIROMETRO-DIGITAL.pdf
- Dominghaus, H. (1988). *Plastics for Engineers: Materials, Properties, Applications*. Munich: Carl Hanser Verla.
- F.Y. (03 de 08 de 2018). *xataka*. Obtenido de <https://www.xataka.com/basics/que-arduino-como-funciona-que-puedes-hacer-uno>
- Integrated, M. (2014). *Maxim Integrated*. Obtenido de <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/MAX6675.pdf>
- Isma. (03 de 09 de 2016). *Como funciona*. Obtenido de <https://comofunciona.co.com/author/isma/>

- Lasso de la Vega Romero, R. (2016). Desarrollo y fabricación de una máquina de rotomoldeo. *Universidad Carlos III*.
- Llopis, M. G. (2010). Análisis sobre la nueva generación de formulaciones en la manufactura de productos plásticos producidos por rotomoldeo. *Universitat Jaume*.
- Martinez, J. A. (2011). Análisis sobre la nueva generación de formulaciones en la manufactura de productos plásticos producidos por rotomoldeo. *Ciqa Repositorio*.
- Martinez, M. S. (2014). Innovación en rotomoldeo en México. *Instituto Politécnico Nacional*, 125.
- Morawetz, H. (1995). *Polymers: The Origins and Growth of a Science*. New York: Dover Publications.
- Rawendaal, C. (1986). Extrusion. Munich: Carl Hanser Verlag.
- Roy J, C. (2002). *Rotational molding Technology*. Norwich, New York: ISBN.
- Troner, R. C. (1993). *Polymer Engineering Principles: Properties, Processes, Test for design*. Hanser.
- Urbina, A. (1 de Enero de 2018). *Tecnología del plástico*. Obtenido de <http://www.plastico.com/temas/Como-lograr-el-crecimiento-en-rotomoldeo+123404>

CAPÍTULO IX

ANEXOS

Anexo 1 Bases de datos

Medición	Temperatura								
1	28	32	30	63	38	94	40	125	41
2	28	33	30	64	38	95	40	126	42
3	28	34	30	65	38	96	41	127	41
4	28	35	30	66	38	97	41	128	41
5	28	36	33	67	37	98	41	129	42
6	28	37	33	68	37	99	42	130	42
7	28	38	33	69	38	100	42	131	42
8	28	39	34	70	38	101	42	132	42
9	28	40	34	71	38	102	43	133	42
10	28	41	34	72	38	103	44	134	42
11	28	42	35	73	38	104	44	135	42
12	28	43	35	74	38	105	44	136	42
13	28	44	35	75	38	106	44	137	43
14	28	45	36	76	37	107	44	138	43
15	28	46	36	77	38	108	44	139	44
16	28	47	36	78	37	109	43	140	44
17	28	48	36	79	38	110	44	141	43
18	28	49	36	80	38	111	43	142	44
19	28	50	37	81	38	112	43	143	44
20	28	51	37	82	38	113	43	144	44
21	28	52	38	83	38	114	42	145	44
22	29	53	38	84	38	115	42	146	45
23	29	54	38	85	38	116	42	147	44
24	29	55	38	86	39	117	42	148	44
25	28	56	38	87	39	118	42	149	44
26	29	57	38	88	38	119	42	150	44
27	30	58	38	89	39	120	42	151	44
28	30	59	38	90	39	121	42	152	44
29	30	60	38	91	40	122	41	153	44
30	30	61	38	92	40	123	42	154	43
31	30	62	38	93	40	124	41	155	43

Anexo 2 Bases de datos (continuación)

Me dición	T e m p e r a t u r a	Me dición	T e m p e r a t u r a	Me dición	T e m p e r a t u r a	Me dición	T e m p e r a t u r a
1	17.25	32	38	62	83	92	89
2	17.25	33	38.75	63	89.75	93	86.75
3	17.75	34	39	64	93.25	94	85.25
4	17.5	35	39.5	65	98	95	84
5	17.5	36	40.75	66	96.75	96	81.5
6	17.75	37	41.5	67	93.75	97	80
7	18	38	42.5	68	87.75	98	77.5
8	17.75	39	53.25	69	86.5	99	76
9	17.75	40	60.5	70	84.5	100	74.75
10	17.5	41	78.25	71	82.75	101	71.25
11	17.5	42	89.5	72	80.75	102	69.75
12	17.25	43	93.25	73	79.5	103	70.75
13	17.5	44	90.75	74	78	104	72.75
14	21	45	88.25	75	75.25	105	78.25
15	24	46	85.5	76	73.75	106	81.5
16	24.75	47	82.5	77	72.5	107	85.25
17	25	48	80	78	70.75	108	88.75
18	27	49	77.25	79	66	109	87.25
19	27.75	50	76	80	65.25	110	85.75
20	28.75	51	74.5	81	63.5	111	83.5
21	29.25	52	72.25	82	62.5	112	81.5
22	30.25	53	69.75	83	64	113	80.5
23	31.25	54	68.5	84	68.25	114	79.25
24	31.25	55	66.75	85	72.75	115	77.75
25	32	56	65.5	86	76.75	116	76.25
26	33.75	57	63	87	85	117	74.25
27	34.25	58	62.25	88	94.5	118	72
28	35	59	60.75	89	98.5	119	70.5
29	35.5	60	60.25	90	94.75		
30	37	61	67.25	91	92.25		

Anexo 3 Artículo publicado

Congr. Int. en Ing. Electrónica. Mem. ELECTRO, Vol. 41, pp. 26-31, Oct 2019, Chihuahua, Chih. México
http://electro.itchihuahua.edu.mx/memorias_electro/MemoriaElectro2019.zip ISSN 1405-2172

TEMPERATURE CONTROL FOR ROTOMOLDING MACHINE

¹José Luis Manríquez-Legarda, Silvia Judith Chávez-Valdez, David Sáenz-Zamarrón, Nancy Ivette Arana-de-las-Casas

Instituto Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Cd. Cuauhtémoc
Maestría en Ingeniería

Av. Tecnológico No. 137, Cuauhtémoc, Chih. México. C.P. 31500
52 (625) 581 1707

limanriquez@gmail.com davsaenz@gmail.com

RESUMEN

El moldeo rotacional o roto moldeo es el proceso de transformación del plástico empleado para producir piezas huecas en el que plástico en polvo o líquido se vierte dentro de un molde luego se le hace girar en dos ejes biaxiales mientras se calienta. En este trabajo se establece un control para mantener estable la temperatura sin importar las perturbaciones y producir con calidad tinacos domésticos de 750 litros basados en esta técnica. En dicho control se utiliza un sensor de temperatura que permite saber en todo momento en que valor se encuentra; como actuador se utiliza un prototipo de servo válvula que permite el paso de gas al quemador que produce el calentamiento y finalmente todo esto está asociado a un sistema embebido basado en Arduino que permite cerrar el lazo y mantener el control dinámico de la temperatura. Palabras Clave: Control, Temperatura, Embebido.

ABSTRACT

The rotational molding or roto molding is the process of plastic transformation used to produce hollow parts in which plastic in powder or liquid form it is poured into a mold that is rotated in two biaxial axes while it is heated. In this investigation, a control established to keep the temperature stable regardless of the disturbances and produce quality domestic water tanks of 750 liters using this technique. In this control, a temperature sensor utilized which allows knowing at all times what value it is. As an actuator a servo valve prototype is used that allows the gas to the burner that produces the heating and finally this is associated to an embedded system based on Arduino that allows to close the loop and maintain the temperature control. Keywords: Control, Temperature, Embedded.

1. INTRODUCTION

There are currently many applications of control systems for the different production processes in the metal-mechanical industry, mining, dairy, polymer processes, etc. The study of these industries or processes leads the engineer to delve into the development of prototypes or experimental systems that are scaled and tested. The main problems of the process are those which produce more tanks, this is the reason to implement a control system that allows maintaining the temperature of agents or

accordance with the production requirements in the process manuals that the manufacturer provides. For this paper a prototype is presented of a PID controller of a temperature machine that manufactures water storage tanks with a results obtained from experiments carried out. The transfer function of the system is determined. The system temperature control is implemented and the results are presented.

Anexo 4 Pirómetro digital

DATO GENERAL

- Modelo: GM320

DESCRIPCIÓN:

- Estilo: De mano
- Teoría: Termómetro infrarrojo
- Tipo de pantalla: Digital
- Uso: Industrial
- Tipo de energía: Batería AAA
- Tamaño de la pantalla: 1.9 Pulgadas y Menos
- Model Number: AR320
- Temperature rango: -32°C~380°C.

ESPECIFICACIONES PRINCIPALES

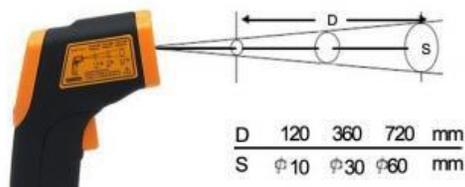
- precisión: $\pm 1.5C/o \pm 5\%$.
- resolución: 0.1C o 0.1F.
- Punto de la distancia Radio: 12:1.
- emisividad: 0.95 (Predeterminado).
- Laser ON/OFF seleccionable.
- 20 segundos Apagado automático.
- Equipado con un láser para apuntar.
- LCD luz de fondo.
- Tiempo y Longitud de Onda: 500 ms y 95% respuesta.
- funcionamiento de la batería de 1.5 V AAA
- la selección del contraluz, le permite considera la exhibición de la temperatura por la noche.

PESO Y TAMAÑO

- Dimensión: 143x93x88mm
- Peso neto: 137g (sin

CONTENIDOS DEL PAQUETE

- 1 x Termometro digital Laser
- 1 par de baterías.



MAX6675

Cold-Junction-Compensated K-Thermocouple-to-Digital Converter (0°C to +1024°C)

General Description

The MAX6675 performs cold-junction compensation and digitizes the signal from a type-K thermocouple. The data is output in a 12-bit resolution, SPI™-compatible, read-only format.

This converter resolves temperatures to 0.25°C, allows readings as high as +1024°C, and exhibits thermocouple accuracy of 8LSBs for temperatures ranging from 0°C to +700°C.

The MAX6675 is available in a small, 8-pin SO package.

Applications

- Industrial
- Appliances
- HVAC

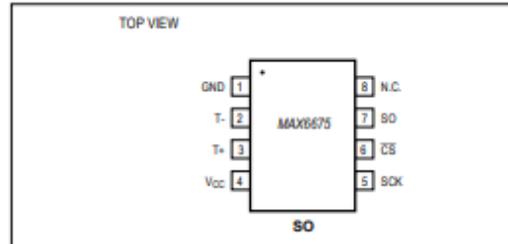
Features

- Direct Digital Conversion of Type -K Thermocouple Output
- Cold-Junction Compensation
- Simple SPI-Compatible Serial Interface
- 12-Bit, 0.25°C Resolution
- Open Thermocouple Detection

Ordering Information

PART	TEMP RANGE	PIN-PACKAGE
MAX6675ISA	-20°C to +85°C	8 SO

Pin Configuration



SPI is a trademark of Motorola, Inc.

Typical Application Circuit

